

# AVANCE Y PERSPECTIVA

órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional  
núm. 39 julio-septiembre 1989

México ISSN 0185-1411

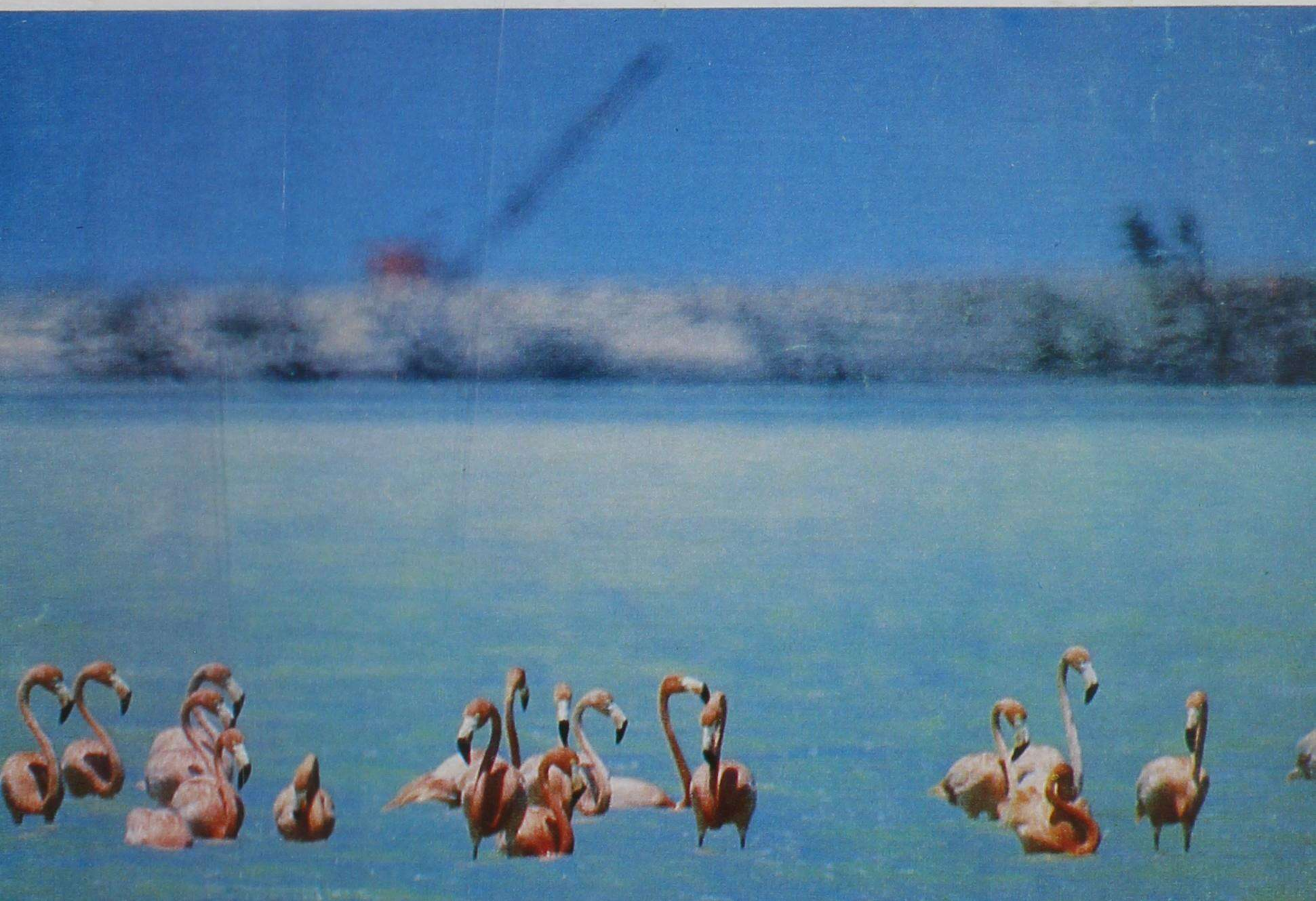
Distribución gratuita

## Microscopía de tunelamiento

**La Ría de Lagartos: Un estudio interdisciplinario**

**Compuestos de estaño como agentes antitumorales**

**Pablo Rudomín: Mis segundos 25 años en el Centro**







CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN

Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Sección de Computación

## SEGUNDO CURSO INTERNACIONAL DE SISTEMAS EXPERTOS

Noviembre 6—10, 1989

### TEMARIO

#### Sistemas Basados en Conocimiento

- De propósito general
- Para enseñanza de ingeniería
- Para diseño de ingeniería

#### Sistemas de Planeación

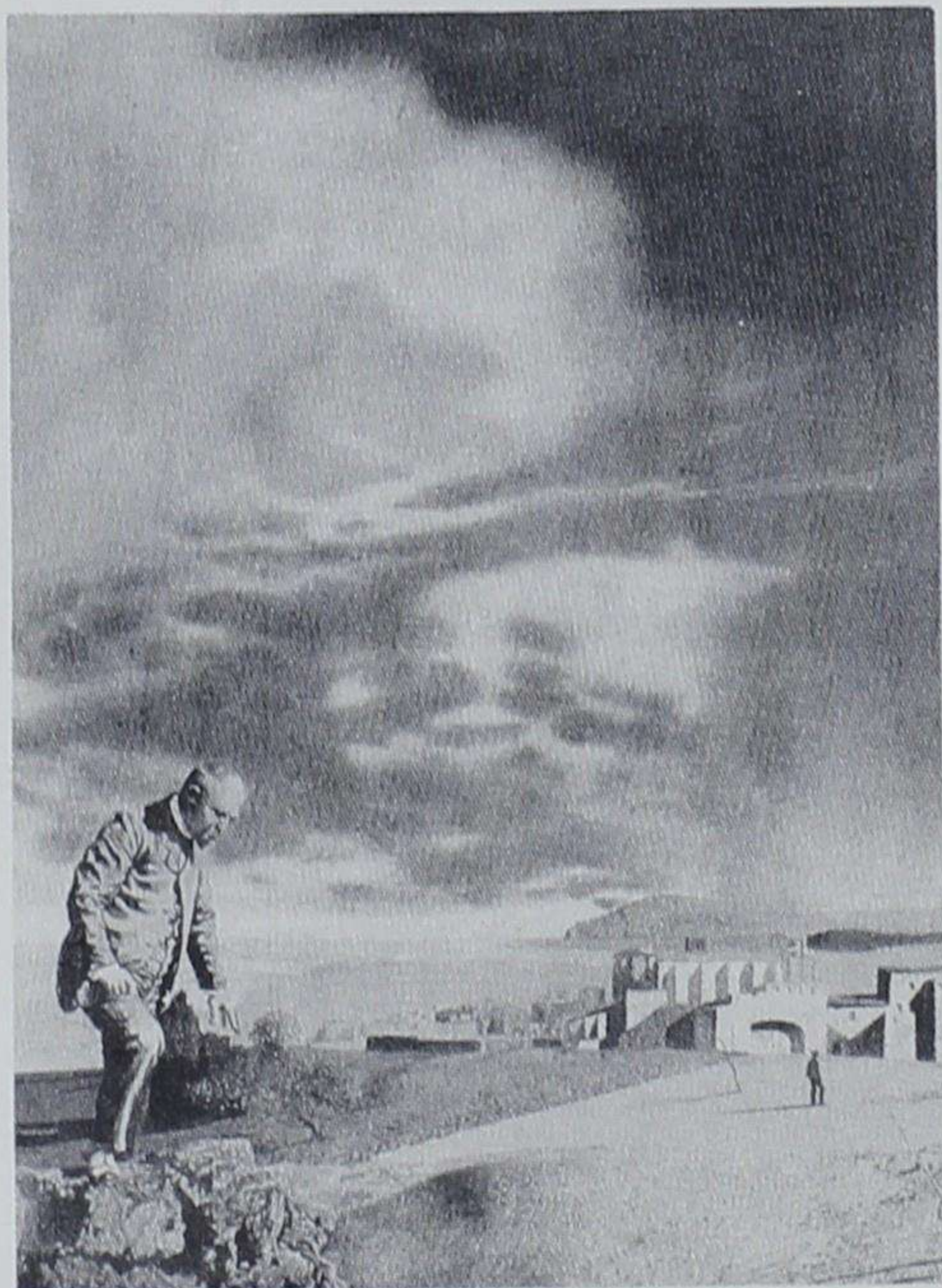
#### Modelación Cualitativa

#### Propagación de Incertidumbre

#### Procesamiento de Lenguaje Natural

### PROFESORES PARTICIPANTES

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| Hojjat ADELI            | EUA                |
| René BAÑARES            | México             |
| Gerhard BREWKA          | Rep. Fed. Alemana  |
| Oswaldo CAIRO           | Argentina y México |
| Silvia GUARDATI         | Argentina y México |
| Adolfo GUZMAN           | México y EUA       |
| Tadeuz IWINSKI          | Polonia            |
| Ramón LOPEZ DE MANTARAS | España             |
| Guillermo MORALES—LUNA  | México             |
| Serafín RUIZ DE ZARATE  | Cuba               |
| Josef SCHNEEBERGER      | Rep. Fed. Alemana  |
| Carlos SIERRA           | España             |
| David SPIEGELHALTER     | Inglaterra         |
| Peter WHITELOCK         | Escocia            |
| Zdenek ZDRAHAL          | Checoslovaquia     |
| Carlos ZOZAYA           | México             |



### COMPOSICION

El Curso tendrá una duración de 40 horas. Constará de 10 Conferencias Plenarias y de 5 Cursos Tutoriales o Talleres. Se recomienda que los asistentes posean conocimientos de PROLOG, LISP, o de algún esqueleto de Sistemas Expertos, bien que esto no sea un requisito indispensable.

### COSTOS DE INSCRIPCION:

Estudiantes o Profesores de Universidades o Escuelas Superiores: \$ 300,000 MN  
Público en General: \$ 550,000 MN  
(o sus equivalentes respectivos: \$ 120.00 USD y \$ 220.00 USD).  
Inscripciones anteriores al 15 de septiembre de 1989 tendrán un descuento del 15%.  
El cupo máximo es de 100 asistentes.

Para mayores informes e inscripciones dirigirse al

Dr. Guillermo MORALES—LUNA  
Sección de Computación, CINVESTAV—IPN  
Apartado Postal 14—740  
07000 México, D. F.  
Tels: (915) 754—7797 ó 754—0200 extensión 144  
Telex: 1772826 PPTME  
Fax: (915) 754—8707  
Bitnet: cinves@unamvm1

Patrocinadores:



CINVESTAV

CONACYT

UNESCO



Centro de Investigación  
y de Estudios Avanzados  
del IPN  
Cinvestav

Director: Héctor O. Nava Jaimes  
Secretario Académico: Enrique Campesino Romeo  
Editor: Miguel Angel Pérez Angón  
Editor Asistente: Carlos Chimal

#### Consejo Editorial

*Marcelino Cerejido,*  
Departamento de Fisiología, Biofísica  
y Neurociencias  
*Rosalinda Contreras,*  
Departamento de Química  
*María de Ibarrola,*  
Departamento de Investigaciones  
Educativas  
*Juan Manuel Ibarra,*  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
*Rubén López Revilla,*  
Departamento de Biología Celular  
*Enrique Ramírez de Arellano,*  
Departamento de Matemáticas

Fotografía: Agustín Estrada y Pedro Hiriart  
Negativos: Ricardo Avila, Jaime Ríos y Adrián Ríos  
Captura: Ma. Eugenia López y Rosemary Ovando

*Avance y Perspectiva*, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación trimestral editada por la Secretaría Académica del CINVESTAV. El número 39, volumen 8, se terminó de imprimir en septiembre de 1989. El tiraje consta de 5,000 ejemplares. *Editor Responsable:* Miguel Angel Pérez Angón. Oficinas: Ave. IPN No. 2508, Esq. Ticomán. Apdo. Postal 14-740, 07000 México, D.F. Certificados de licitud de título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de título No. 705-82 otorgada por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro no. 016 0389, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. *Impresión y encuadernación:* CIDESI (Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial) Fracc. Habitacional Sn. Pablo s. n., Querétaro, Qro. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos escritos por miembros de la comunidad del CINVESTAV. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el primer número de cada volumen (enero-marzo). Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre y cuando se cite la fuente.

## Sumario

### Microscopía de tunelamiento electrónico de barrido

*Rigoberto García Cantú y Miguel Angel Huerta Garnica* 3

### Estudio interdisciplinario de la Ría de Lagartos

*R. Murguía, J. Correa, E. Batllori, E. Boege y G. de la Cruz* 13

### Los compuestos de estaño como agentes antitumorales

*Teresa Mancilla Percino* 25

Avances de Ciencia y Tecnología

### Fusión nuclear fría

*Jesús González Hernández* 31

Perfiles de Investigación

### Pablo Rudomín: Mis segundos 25 años en el Centro

*Carlos Chimal y Rubén López Revilla* 36

Perspectivas

### La evaluación del trabajo académico en Matemática Educativa

*Guillermina Waldegg* 53

Noticias del Centro 57

Rincón epistemológico

### ¿Para qué sirve la Historia de la Ciencia?

*Rolando García B.* 62

Libros

### Introducción a la estadística en las ciencias biomédicas

*Pedro A. Lehmann F.* 64

Espacio abierto

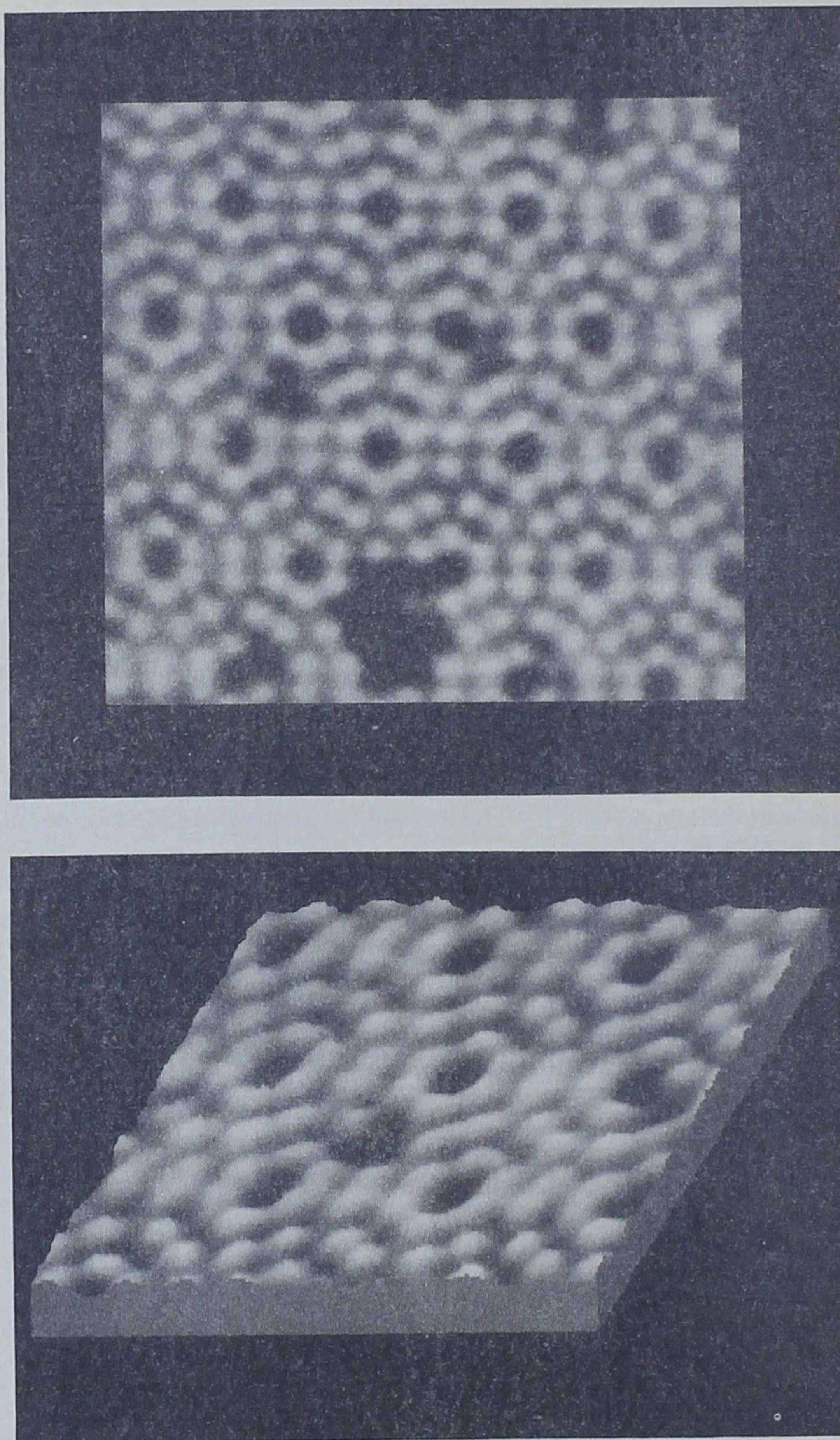
### Newtonismo, reduccionismo y el Supercolisionador

*Steven Weinberg* 66

Portada

Flamencos en la Ría de Lagartos  
Fotografía de Agustín Estrada





*Reconstrucción de una superficie de Si(111) 7 x 7 preparada en el STM 2000 (microscopio de tunelamiento electrónico de barrido ®VG Microscopes) . La imagen fue obtenida en 1983 y es una de las más conocidas. Se muestran aquí tanto la representación desde arriba como la seudo 3D.*



# Microscopía de tunelamiento electrónico de barrido

*La microscopía de tunelamiento electrónico de barrido se utiliza ya como herramienta de trabajo por parte de una gran diversidad de grupos de investigación aplicada. En este artículo se presenta el origen y desarrollo de ésta técnica y se muestran resultados obtenidos con un prototipo diseñado en la Sección de Metrología para cubrir las escalas óptica y sub-óptica.*

***Rigoberto García Cantú y Miguel Angel Huerta Garnica***

## Introducción

En los últimos 20 años la demanda por parte de la industria microelectrónica, para caracterizar y producir componentes en una escala menor a  $10^7$  mm, se ha incrementado constantemente debido principalmente a la disminución de las dimensiones de las componentes de integración en gran escala (LSI, VLSI), lo que a su vez ha dado como consecuencia la necesidad de una mayor exactitud en el maquinado y manufactura.

En la industria mecánica y óptica la demanda para una mayor exactitud a pequeña escala ha dado origen a una nueva generación de artefactos de alta exactitud, tales como: sistemas de microposicionamiento en tres coordenadas, sistemas de microdetección y micromanipulación, lentes de Fresnel, rejillas de difracción y videodiscos, así como sistemas de micromaquinado y microlitografía.

Para satisfacer la demanda actual en metrología dimensional y la esperada en un futuro inmediato, instituciones como el National Bureau of Standards (NBS, actualmente NIST) desarrollan proyectos para construir instrumentos de medición dimensional capaces de proporcionar una alta resolución espacial. Desde este punto de vista no resulta extraño que, precisamente en esta institución haya tenido su origen el microscopio de tunelamiento.

En 1966, Russell D. Young desarrolla un instrumento denominado "Ultramicrometro" basado en emisión de campo. Esencialmente se trataba de un distanciómetro con capacidad de medición en el intervalo de  $10^{-5}$  m a  $10^{-8}$  m con una incertidumbre de una parte en  $10^5$ . La resolución de este instrumento depende de la separación del punto de medición y tiene la notable propiedad de que se incrementa en varios ordenes de magnitud conforme se reduce la separación.<sup>1</sup>

Para 1971, Young<sup>2</sup> reporta las primeras observaciones de las características de la corriente túnel contra diferencia de potencial para diferentes separaciones en una unión metal-vacío-metal

El M. en C. Rigoberto García Cantú es profesor titular y jefe de la sección de Metrología del Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV. El M. en C. Miguel Angel Huerta Garnica es profesor adjunto de dicha sección. Parte de su trabajo de tesis doctoral, que será presentada próximamente en el Departamento de Física, es el tema de este artículo.



(MVM), realizadas utilizando un instrumento diseñado para medir la microtopografía de una muestra metálica. Este instrumento, denominado *Topografiner*<sup>3</sup>, es el precursor del microscopio de tunelamiento actual; aunque el *Topografiner* funciona en el régimen de emisión de campo, es esencialmente idéntico al microscopio de tunelamiento.

La resolución vertical típica del *Topografiner* es de 30 Å, la resolución horizontal depende del radio de curvatura del emisor y de la separación entre el emisor y la muestra; típicamente puede obtenerse una resolución horizontal de 4000 Å con un radio de curvatura de 2000 Å. Young muestra que es posible obtener mejor resolución vertical y horizontal mediante tunelamiento, sin embargo, no logra realizar esta idea debido principalmente a la influencia de vibraciones.

Finalmente E. Clayton Teague en 1977, trabajando con Young en el NBS, demuestra claramente tunelamiento en una unión MVM obteniendo, junto con las curvas de corriente contra diferencia de potencial, la dependencia exponencial de la corriente túnel con la separación entre los electrodos<sup>4</sup>. Su sistema, diseñado especialmente para esta observación, poseía una excelente estabilidad mecánica, térmica y eléctrica pero desafortunadamente no tenía capacidad de realizar un barrido sobre la muestra. Simultáneamente con Teague, William Thompson en IBM realiza observaciones de tunelamiento MVM mediante el uso de expansión térmica para mover los electrodos<sup>5</sup>. Independientemente de las observaciones realizadas por R. Young y E. C. Teague, Gerd Binnig y Henrich Rohrer en IBM Zurich

inician, a finales de 1978, investigaciones para demostrar el efecto de tunelamiento a través de vacío con la idea de capitalizar sus observaciones mediante espectroscopía. En un principio pensaron que podrían obtener un buen sensor mediante una unión MVM, en donde uno de los electrodos fuera una punta para realizar espectroscopía local en un área menor a 100 Å de diámetro<sup>6</sup>. Por estas fechas, John Moreland y Paul Hansma realizan observaciones de tunelamiento a través de gas, líquido y sólido mediante presión controlada sobre sustratos flexibles<sup>7</sup>.

En marzo de 1981 Binnig y Rohrer obtienen la dependencia exponencial entre corriente túnel y la separación entre electrodos, meses después llegan a obtener no sólo espectroscopía local sino también, debido al barrido, imágenes topográficas de escalones atómicos y con ello un nuevo tipo de microscopía<sup>8</sup>.

En 1983 obtienen la ya clásica imagen tridimensional de la superficie de Si(111)7x7<sup>9</sup>. Desde la aparición de estos resultados una intensa actividad ha sido característica de los grupos que se han incorporado a las investigaciones en microscopía de tunelamiento no solo en la determinación de la topografía de superficies sino también en espectroscopía electrónica de superficies y en un gran número de aplicaciones. Dentro de las aplicaciones que se han realizado mencionaremos, entre otras: observación de difusión atómica<sup>10</sup>, determinación de la estructura electrónica<sup>11</sup>, adsorción de átomos y moléculas<sup>12</sup>, modificación inducida de superficies<sup>13</sup>, microlitografía<sup>14</sup>, observación de material biológico<sup>15</sup>, espectroscopía vibracional de moléculas<sup>16</sup>, manipulación mecánica de moléculas<sup>17</sup>, además del microscopio de fuerza atómica<sup>18</sup>, desarrollado a partir del microscopio de tunelamiento con el que se han logrado obtener imágenes con resolución atómica de superficies no conductoras.

En julio de 1986 en Santiago de Compostela, España, se realizó la primera conferencia internacional de microscopía de tunelamiento (4STM'86). Más de 200 participantes y más de 60 trabajos marcaron definitivamente la nueva era del microscopio de tunelamiento<sup>19</sup>. Esta conferencia se ha mantenido desde entonces cada año. Ese mismo, año G. Binnig y H. Rohrer reciben el Premio Nobel de Física por su diseño del microscopio de tunelamiento.

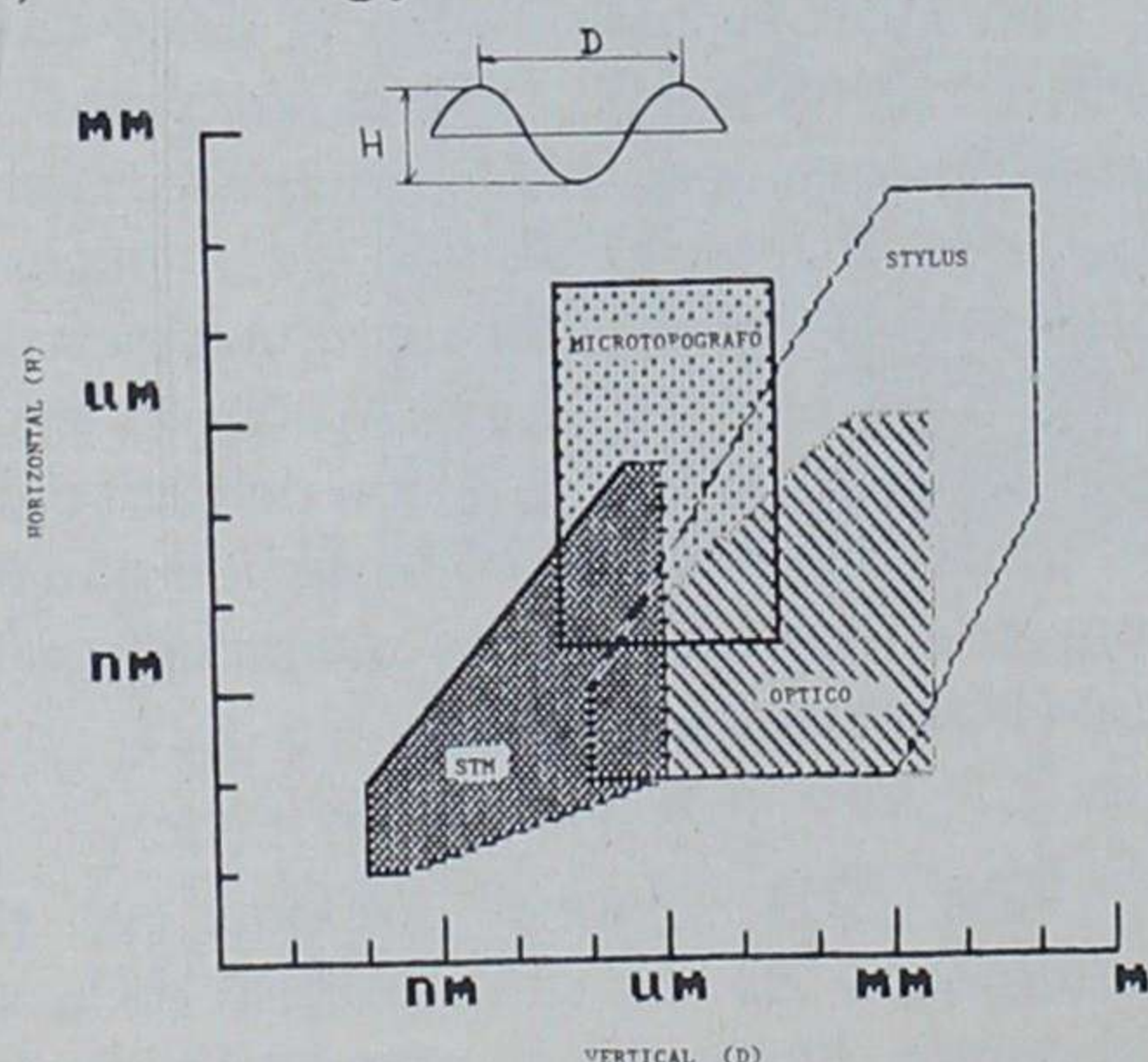


Figura 1. Regiones estimadas de operación de diferentes técnicas.



Tabla I. Resoluciones típicas de instrumentos para caracterizar la microtopografía de superficies

| Instrumento                                             | Resolución ( Å) |         |
|---------------------------------------------------------|-----------------|---------|
|                                                         | Vertical        | Lateral |
| Microscopio Optico (O)                                  | 5 000           | 2 000   |
| Microscopio de Transmisión TEM. (E)                     | 1 500           | 50      |
| Microscopio Electrónico de Barrido. SEM. (E)            | 1 500           | 100     |
| Interferencia Optica (O)                                | 5               | 25 000  |
| Perfilómetro de punta de Diamante (Stylus) (M)          | 25              | 10 000  |
| Topografiner (E)                                        | 30              | 4 000   |
| Microscopio de Tunelamiento Electrónico de Barrido. (E) | 0.1             | 1       |
| Microtopógrafo-CINVESTAV (E)                            | 30              | 100     |
| Microscopio de Fuerza Atómica. AFM. (M)                 | 0.1             | 1       |
| Perfilómetro Térmico de Barrido. STP. (T)               | 100             | 100     |
| Microscopio de Capacitancia <sup>21</sup> (E)           | 3               | 1 000   |
| Microscopio de Barrido de Campo Cercano. NFSM. (O)      | 1               | 200     |
| Perfilómetro Heterodino <sup>22</sup> (O)               | 0.1             | 10 000  |
| Microscopio Acústico. SAM <sup>23</sup>                 | 100             | 100     |

(E) Eléctrico; (M) Mecánico; (O) Óptico; (T) Térmico.

Dependiendo de la aplicación deseada, existen actualmente una gran variedad de técnicas de microscopía; cada una de ellas resulta ser más conveniente bajo determinadas condiciones de operación dependiendo del tipo y preparación de la muestra, medio ambiente en que se realiza el análisis, resolución y profundidad de campo. Para un gran número de aplicaciones la resolución es uno de los principales parámetros a considerar; para otras aplicaciones, en especial aquellas relacionadas con la ingeniería de precisión, el volumen total de medición es igualmente importante. En la tabla I se muestran las resoluciones de las diferentes técnicas para caracterizar la microtopografía de superficies.

Para dar una idea de las tendencias actuales del desarrollo de la microscopía de tunelamiento en la figura 1 mostramos una gráfica en donde se ilustran las regiones estimadas de operación, así como las resoluciones como caso extremo para varias técnicas<sup>20</sup>. En esta gráfica H representa la altura pico a pico de un supuesto perfil sinusoidal que se grafica contra la distancia entre dos máximos (D). Se puede apreciar el lugar que ocupa la microscopía de tunelamiento respecto a otras técnicas. A la fecha, la mayoría de

los desarrollos han intentado obtener resolución atómica en cada eje, con volúmenes de medición pequeños, típicamente no mayores que  $1.0 \times 1.0 \times 0.1 \mu\text{m}^3$ . La tendencia actual es extender el volumen de medición manteniendo al máximo la resolución característica de ésta técnica.

Sin duda la microscopía de tunelamiento y las técnicas derivadas de ésta tendrán en pocos años una gran demanda en el campo tecnológico y científico tal como en su oportunidad ocurrió con el microscopio electrónico de barrido.

## Descripción del microtopógrafo

Un microscopio de tunelamiento consiste esencialmente de una unión túnel, un circuito de control eléctrico, un sistema generador de movimiento tridimensional entre los electrodos de la unión túnel, un sistema de aislamiento de vibraciones y una estructura mecánica que soporta los electrodos de la unión túnel.

La unión túnel está formada por una punta de tungsteno (oro, platino o PtIr) y la muestra a ser estudiada, la cual debe ser conductora. La mayoría de los grupos de investigación utilizan una unión del tipo metal-vacío-metal y trabajan a presiones de  $10^{-10}$  torr, aunque se ha mostrado que se pueden obtener imágenes de resolución atómica a presión atmosférica y aun en líquidos tales como aceite y agua.

En operación, la unión túnel mantiene una separación entre electrodos de 10 a 30 Å. Esta separación debe alcanzarse, partiendo de una escala macroscópica (mm), hasta producir desplazamientos del orden de cientos de angstroms y tener capacidad de ajuste de hasta unos cuantos angstroms. Esto plantea la necesidad de contar con un sistema de aproximación gruesa y fina además de poseer una excelente estabilidad térmica mecánica y eléctrica.

Una diferencia de potencial (1 mV -2 V) se aplica entre punta y muestra de modo que, cuando la punta se aproxima a la superficie, los electrones tendrán oportunidad de pasar a través de la unión por efecto túnel. La dependencia de la corriente túnel con la separación es de tipo exponencial similar a la de uniones túnel de placas paralelas<sup>24</sup>.

El circuito de control se utiliza para registrar la corriente túnel y mantener la separación constante



entre punta y muestra en el modo de corriente constante, o bien para detectar las variaciones de corriente túnel, en el modo de altura constante, mientras se realiza un barrido sobre la superficie de la muestra.

Para producir una imagen es necesario que la punta o la muestra tengan capacidad de movimiento tridimensional. Esto normalmente se logra mediante estructuras fabricadas de materiales piezoeléctricos, de manera que cada eje de movimiento se controla mediante la aplicación de voltajes a los mismos. Así, la señal de control se retroalimenta para controlar la posición de la punta normal a la superficie ( $z$ ), mientras se realiza un barrido lateral ( $x, y$ ). La señal  $z(x, y)$  es una especie de réplica de la superficie de la muestra, figura 2.

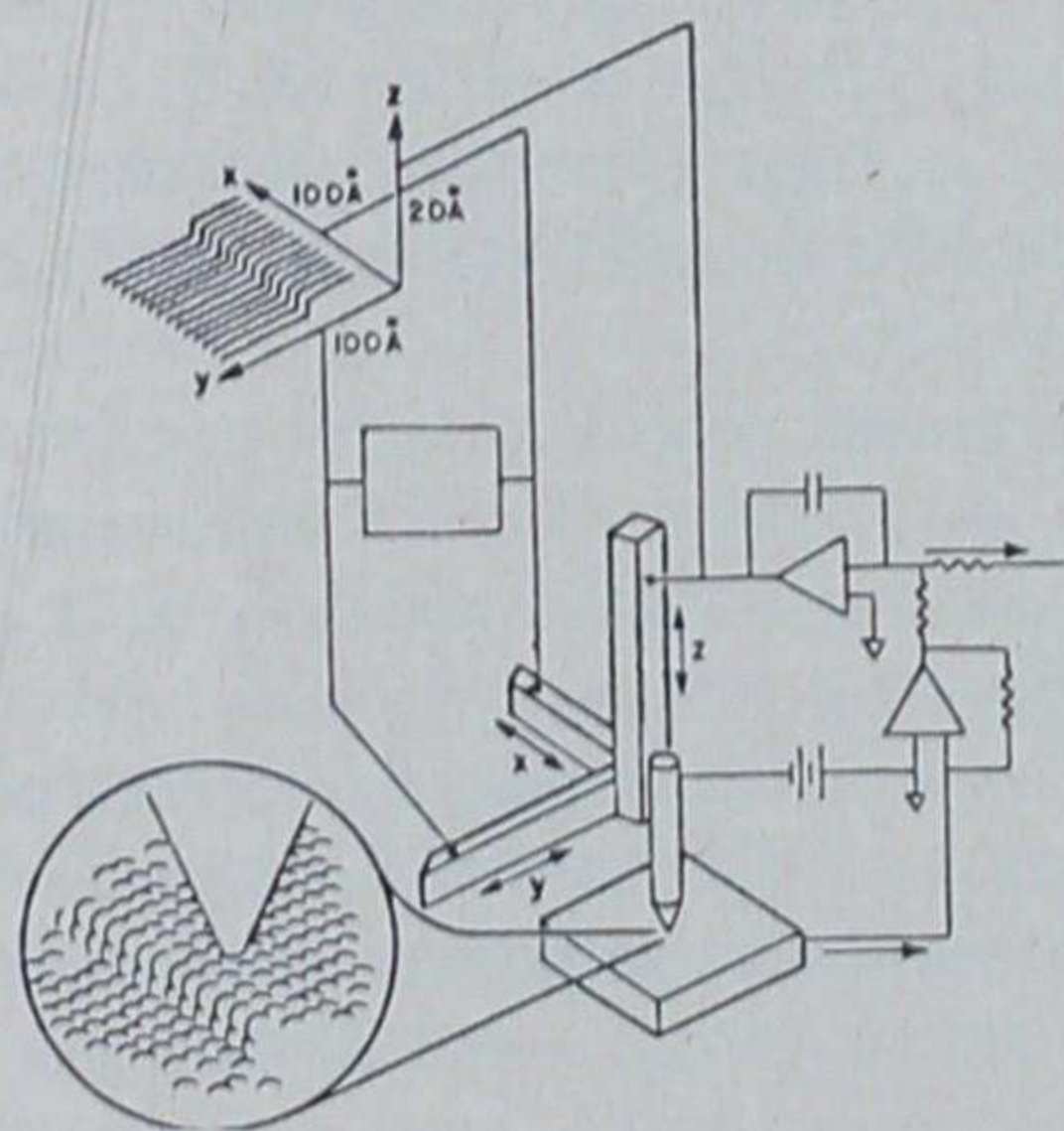


Figura 2. Ilustración esquemática del microscopio de tunelamiento.

La alta resolución vertical de un microscopio de tunelamiento proviene de la dependencia exponencial entre corriente túnel ( $I$ ) y la separación entre electrodos ( $s$ ), ya que un cambio de 1 Å en la separación da lugar a un cambio en la corriente de un orden de magnitud para una función de trabajo típica y en operación en vacío.

Entre las múltiples observaciones de tunelamiento metal-vacío-metal que se han realizado, todas ellas indican que la dependencia entre corriente túnel y la separación es de la forma:

$$I = GV e^{-A\phi \frac{1}{2}s}$$

en donde  $\phi$  es la función de trabajo promedio entre punta y muestra,  $V$  es la diferencia de potencial aplicada,  $G$  es un factor que depende de la geometría del sistema ( $\Omega^{-1}$ ) y  $A$  es una constante que depende del sistema de unidades, ( $A = \frac{4\pi}{h}(2m)^{\frac{1}{2}}$ ); en particular, cuando  $s$  está dado en Å y  $\phi$  en eV,  $A = 1.025$  (eV) $^{-1/2}$  Å $^{-1}$  (2,4,25).

Como puede observarse de la ecuación (1), variaciones en la función de trabajo promedio pueden producir variaciones de la corriente túnel induciendo topografía aparente de la superficie cuando se realiza un barrido. Es decir, la técnica es sensible a la composición química; esto es particularmente importante para la operación con resolución atómica. Esta topografía aparente puede eliminarse determinando simultáneamente la función de trabajo de la muestra mediante modulación de la posición de la punta, como se hace en el caso de espectroscopía, obteniéndose, además de la información topográfica, información acerca de la composición química de la superficie de la muestra.

Dado que la mayoría de los microscopios de tunelamiento trabajan en intervalos relativamente pequeños ( $< 1 \mu\text{m}$ ), nuestro interés inicial se centró en diseñar y construir un instrumento capaz de realizar barridos de hasta  $100 \mu\text{m}$ , es decir, cubrir escalas ópticas y sub-ópticas mediante un instrumento basado en efecto túnel de electrones<sup>26</sup>.

Un instrumento de tales características requiere una aproximación diferente de aquellos sistemas donde los barridos son menores que  $1 \mu\text{m}$ , ya que es conveniente que los ejes de movimiento estén desacoplados. Esto implica que las frecuencias de resonancia, de los elementos que producen el movimiento, sean menores que aquellos de bajos barridos. Esto a su vez requiere de menores velocidades de barrido y de una mayor estabilidad del sistema.

A continuación describimos las partes que componen el instrumento al que hemos llamado *microtopógrafo de tunelamiento electrónico de barrido*. El sistema de amortiguamiento de vibraciones está constituido por una mesa óptica de una tonelada de peso montada en cuatro pistones neumáticos que mantienen la mesa flotando mediante un control de la presión de los pistones; la



frecuencia de resonancia de esta mesa es de 1.8 Hz de acuerdo con las especificaciones del fabricante, (Newport modelo RS-41212).

Se modificó la estructura de un microscopio óptico, de tipo metalográfico, para contener los electrodos de la unión túnel (ver figura 3). El desplazamiento de cada eje de movimiento está desacoplado de tal manera que se pueden realizar desplazamientos grandes en cada eje; el movimiento en el plano de la muestra, (x,y), se realiza mediante materiales piezoeléctricos de tipo comercial comandados por fuentes de alto voltaje (Burleigh PZ-44). El desplazamiento en la dirección normal a la superficie se realiza mediante un sistema a base de bobinas diseñado especialmente para este instrumento.

El circuito de retroalimentación está constituido por un convertidor corriente/voltaje comercial, (PARC modelo 181), que proporciona a su salida una señal manejable y de bajo ruido, ( $10^{-9}$  A/V). Esta señal se compara con un nivel de referencia que corresponde a la corriente túnel que se desea mantener constante, un amplificador logarítmico seguido de un integrador y finalmente un convertidor de voltaje/corriente que retroalimenta la señal al sistema que mueve la punta. La figura 4 es un diagrama de bloques del circuito de retroalimentación.

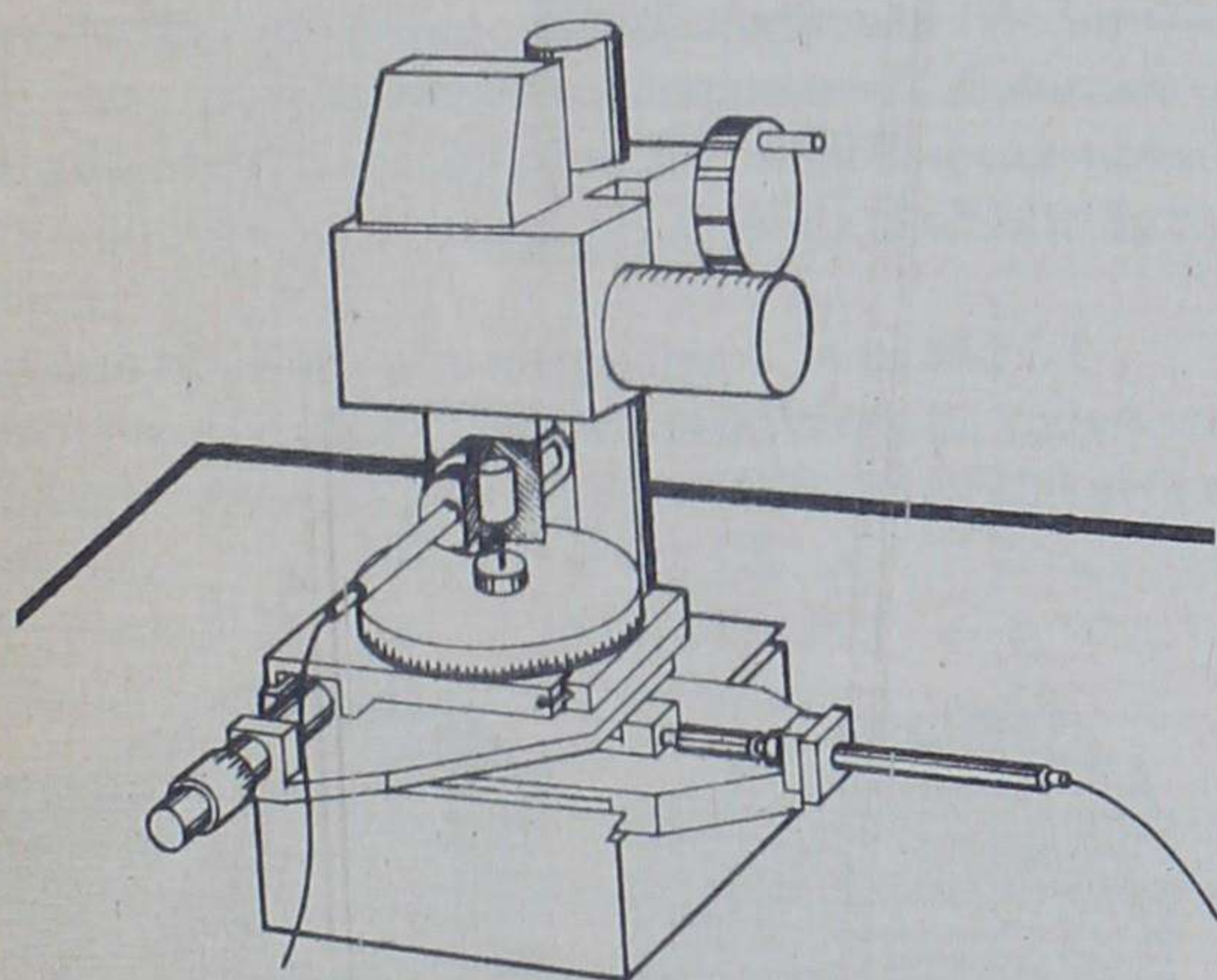


Figura 3. Montaje del microtopógrafo de tunelamiento electrónico

Una imagen del microscopio se forma de la superposición de un conjunto de perfiles que se obtienen en una serie de barridos sucesivos. La obtención de imágenes puede hacerse mediante la digitalización de

los desplazamientos (x,y,z) y procesarse en una computadora mediante paquetes comerciales de adquisición de datos y formación de imágenes tridimensionales; puede utilizarse también un osciloscopio de memoria o bien la graficación directa de la señal  $z(x,y)$  en un graficador x-y.

Esta última opción es la que mejor se adaptó a nuestras necesidades debido principalmente a que no existen en el mercado paquetes capaces de manejar la cantidad de información que se obtiene en barridos grandes.

En cualquier caso, la automatización del sistema se hace conveniente y muy útil particularmente para barridos en donde el tiempo de adquisición de una imagen es demasiado largo. La figura 4 ilustra nuestra situación en la cual un graficador x-y ha sido adaptado para obtener de manera automática una imagen tridimensional.

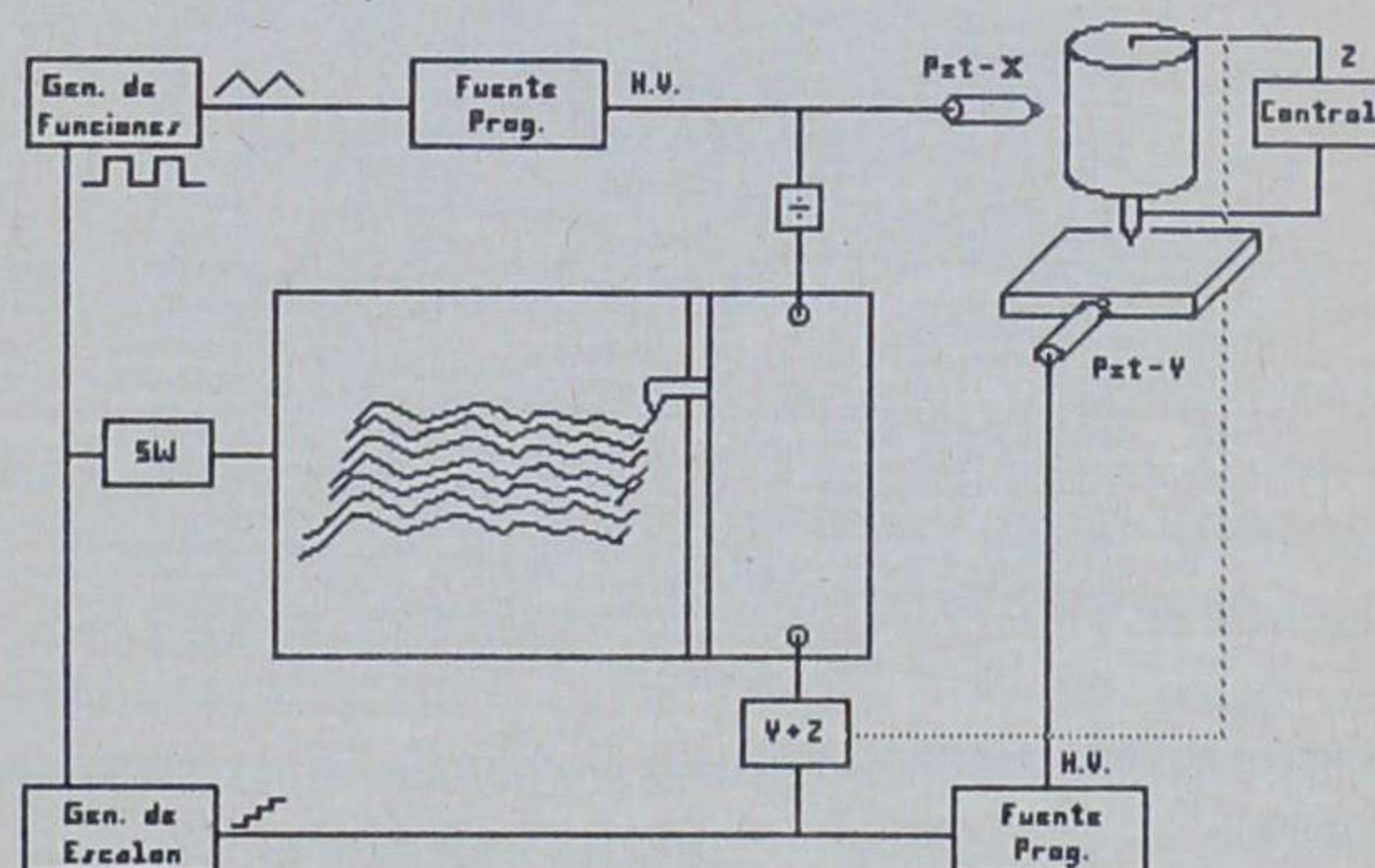


Figura 4. Diagrama de bloques. Automatización.

## Resultados

Los resultados presentados a continuación fueron obtenidos a presión atmosférica mediante el Microtopógrafo. Los resultados se presentan en orden cronológico; las investigaciones realizadas en la sección de Metrología sobre microscopía de tunelamiento han tenido una duración de cuatro años.

### A. Cobre

La figura 5 muestra una superficie de cobre pulida con esmeril; el área cubierta en esta imagen tridimensional



es de  $12 \times 36 \mu\text{m}$ , la escala en la dirección normal a la superficie está indicada al lado de la figura ( $1 \mu\text{m}/\text{Div}$ ).

La figura 6 es una imagen tridimensional de una muestra de cobre (OFHC) maquinado con punta de diamante. Esta muestra fue proporcionada por el NBS; el maquinado se realizó en un torno especialmente diseñado para usar como herramienta de corte una punta de diamante (Diamond Turned).

El acabado de esta superficie es uno de los mejores que se pueden lograr y es utilizado principalmente para producir superficies ópticas. Esta imagen cubre un área de  $25 \times 26 \mu\text{m}$  y tiene una amplificación vertical de 100 000 X. Como puede observarse existen poros en la superficie así como estructuras alargadas probablemente debidas al maquinado.

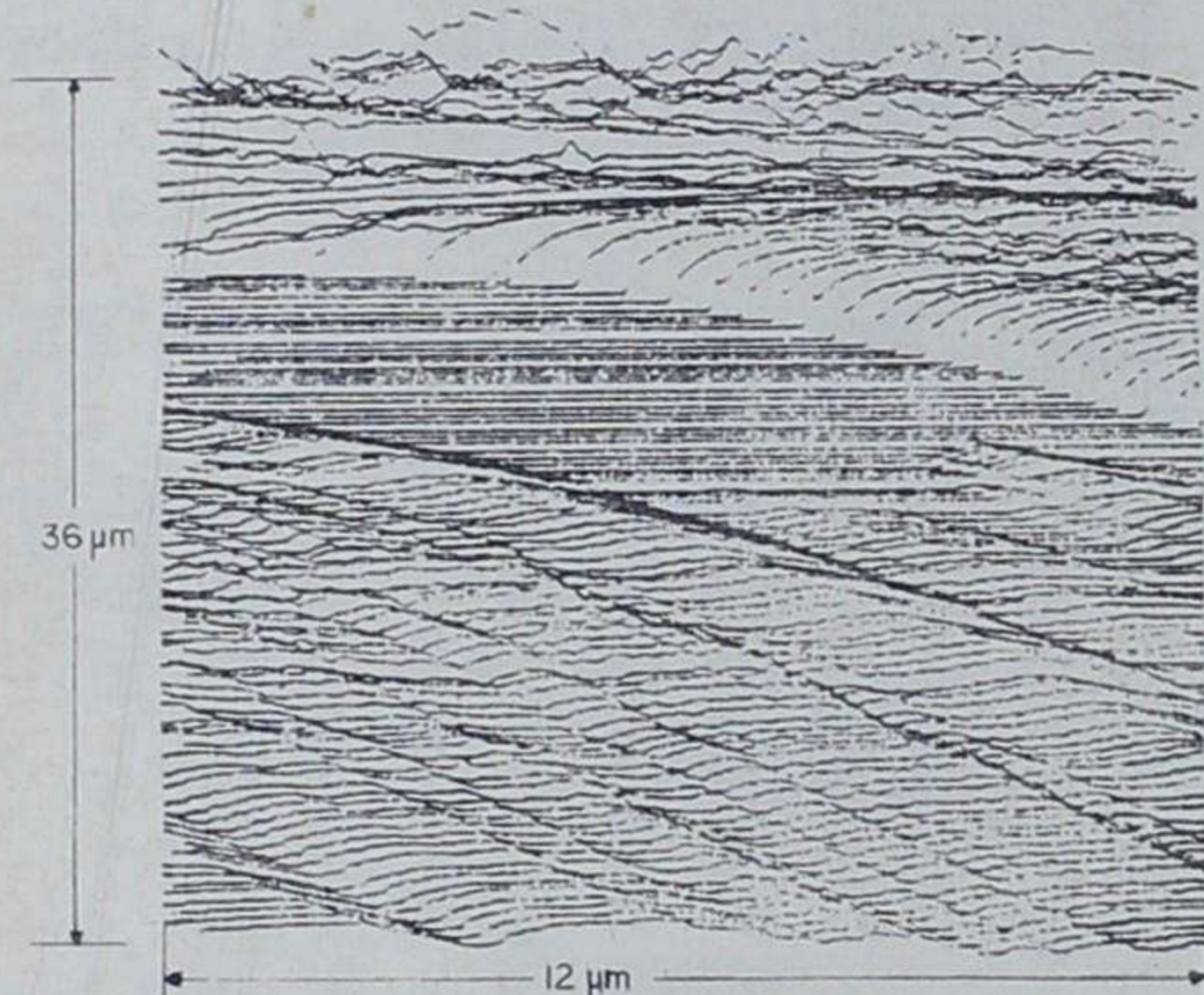


Figura 5. Microtopografía de una muestra de cobre pulido con esmeril.

### B. Bisturíes

La calidad del filo del bisturí no está claramente determinada en términos de una norma, hasta donde sabemos, no hay información sobre la caracterización del filo. Con objeto de determinar diferentes calidades de filos y como una prueba de las capacidades de nuestro instrumento nos dimos a la tarea de estudiar el filo de bisturíes de fabricación nacional.

En la figura 7 se presentan los filos de dos bisturíes de diferente calidad con la misma amplificación ( $10\,000\times$ ) y cubriendo la misma área ( $8.8 \times 16.4 \mu\text{m}$ ). Obsérvese la clara diferencia en la estructura del filo, la imagen de la derecha corresponde al bisturí que el fabricante asegura ser de mejor calidad y la cual muestra estructura sobre el filo del orden de  $1 \mu\text{m}$ .

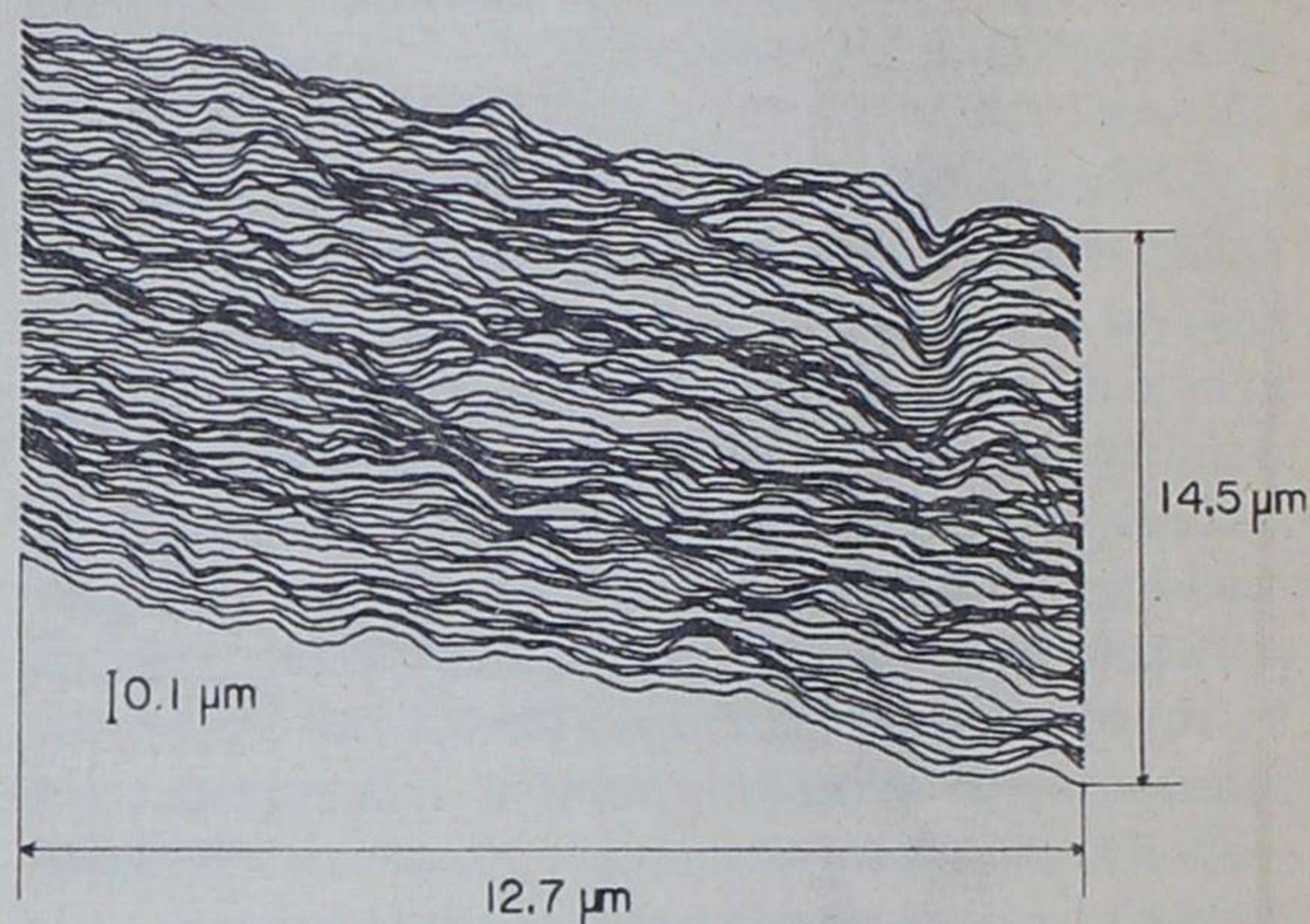


Figura 6. Cobre (OFHC) maquinado con punta de diamante.

### C. Microdureza Vickers

La prueba de dureza Vickers es una de las pruebas mecánicas más comunes en el estudio de materiales. Esta prueba consiste en deformar plásticamente la superficie del material bajo estudio mediante la penetración de una punta de diamante<sup>27</sup>. En esta prueba, la punta de diamante que se usa como indentador tiene una forma piramidal de base cuadrada. En el caso particular de microdureza, la huella producida tiene una longitud de hasta  $15 \mu\text{m}$  en el lado de la base.

Inicialmente, el estudio de una huella de dureza se realizó en un bloque patrón de acero inoxidable, en huellas de  $100 \mu\text{m}$  de lado; posteriormente

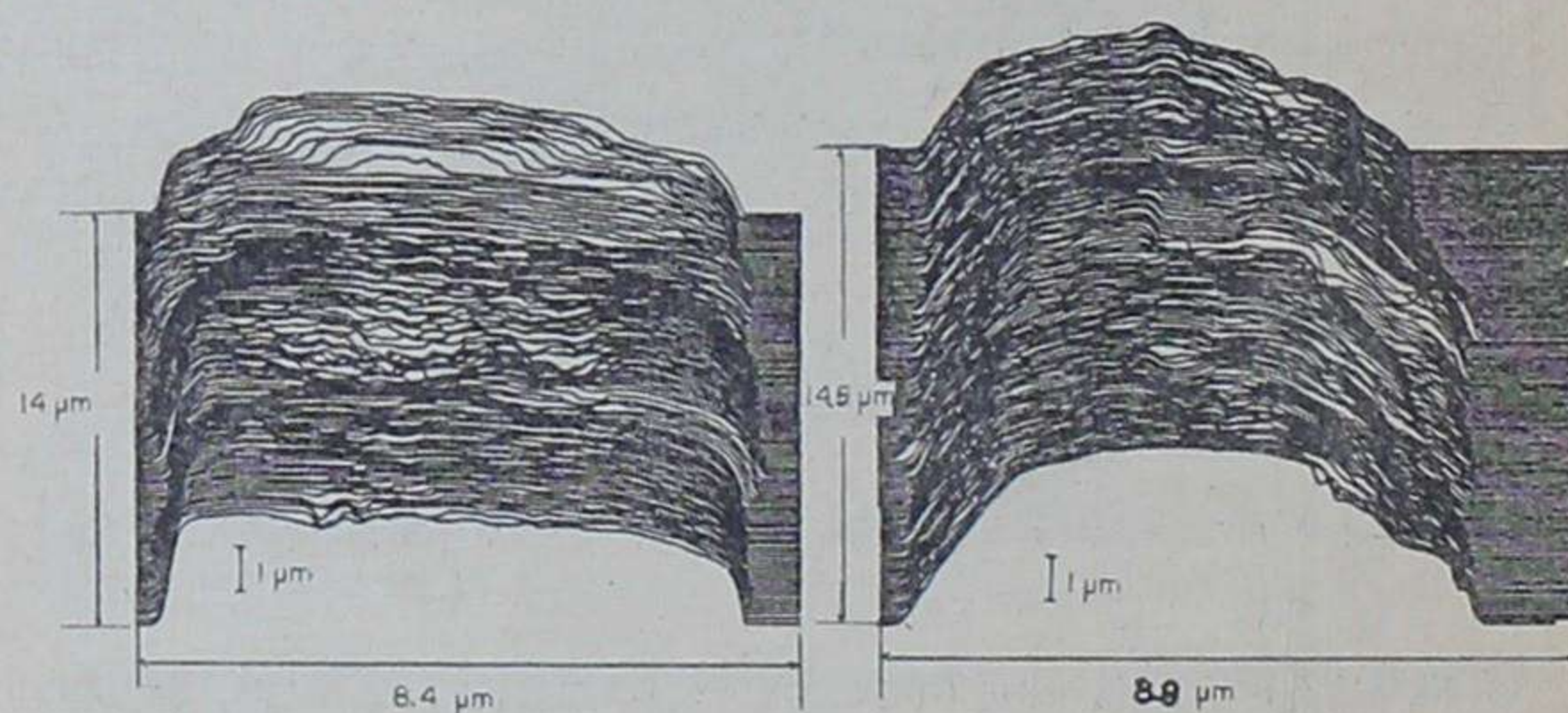


Figura 7. Filo de dos bisturíes de diferente calidad.



enfocamos nuestra atención en un patrón de microdureza con huellas de tamaños entre 10 y 15  $\mu\text{m}$  de lado.

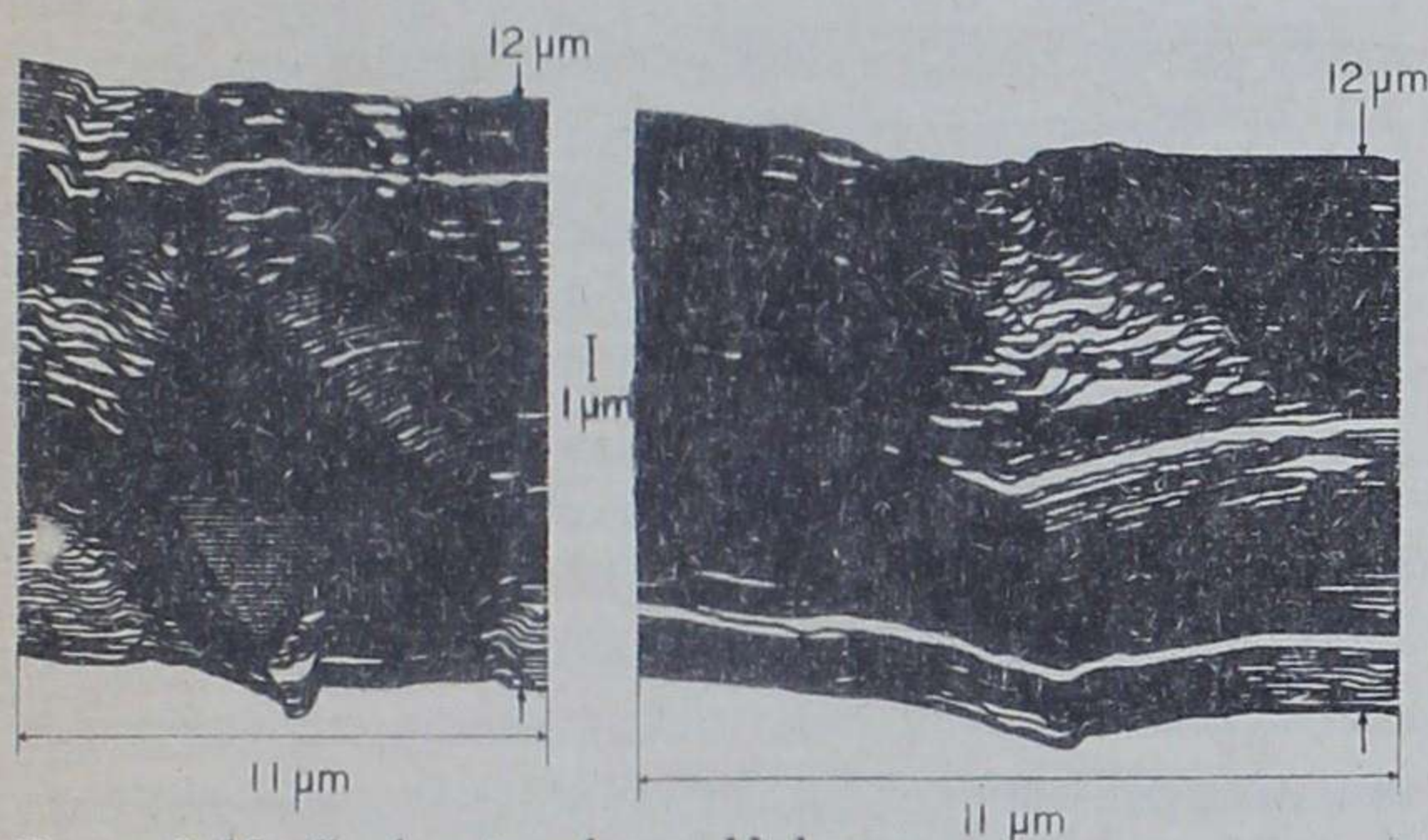


Figura 8. Huella de microdureza Vickers.

La figura 8 muestra la imagen de una huella de microdureza. la amplificación vertical es 10 000 X y el área cubierta por esta imagen es de 22 x 24  $\mu\text{m}$ . En esta figura, se aprecia que la deformación no es totalmente plástica y que existe recuperación elástica del material tanto en los bordes como en el interior de la huella así como fracturas a lo largo de las diagonales. Dichos efectos han sido observados mediante microscopía óptica, acústica y electrónica. En particular, la recuperación del borde, que es evidente en esta figura, ha sido predicha por Jaramillo<sup>26</sup>, quien realizó un modelo por elementos finitos de dicha deformación.

Sobre la recuperación en el borde se han escrito diversos trabajos que muestran una relación entre el esfuerzo de tensión y la altura del borde; actualmente la relación entre dureza y esfuerzo de tensión se hace de manera empírica.

#### D. Determinación de la estructura de una punta de tungsteno

Una de las partes más críticas para el funcionamiento y comprensión del microscopio de tunelamiento es la referente a la punta utilizada. La determinación de la estructura de la punta se ha llevado a cabo mediante técnicas de microscopía electrónica de barrido, de transmisión, de emisión de campo y óptica. Sin

embargo, y aun cuando parece evidente que la microscopía de efecto túnel es el candidato ideal para la observación directa de una de estas puntas, la única información que se tiene es la que se obtuvo produciendo una indentación con la punta en la superficie de un metal blando como oro o plata<sup>27</sup>. La figura 9 muestra la primer observación directa de la topografía de una punta de tungsteno mediante microscopía túnel<sup>28</sup>.

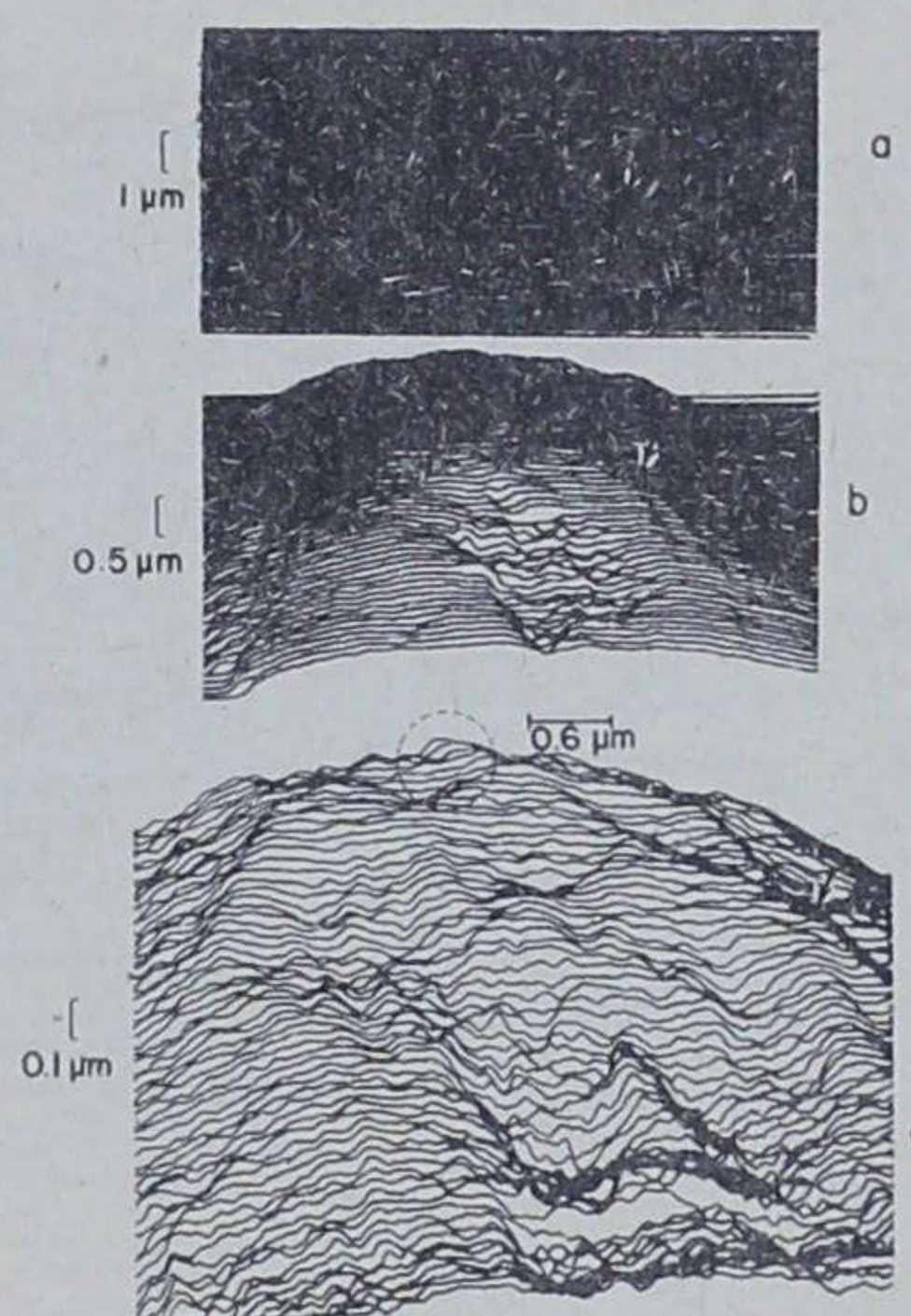


Figura 9. Observación de la estructura de una punta de tungsteno.

La punta fue afilada electroquímicamente en una solución de 2N NaOH y aplicando una diferencia de potencial de 12 VAC a. c.; esta punta se fabricó a partir de un alambre de 0.5 mm. Para realizar esta observación se efectuaron barridos sobre la vecindad del extremo de la punta para asegurarse que ésta era realmente la punta efectiva. Para esta observación se utilizó una punta afilada de manera similar a la punta que sirvió de objeto, sólo que fue afilada a partir de un alambre de 80  $\mu\text{m}$  de diámetro. La figura 9 muestra tres observaciones consecutivas de la punta en diferentes condiciones. En a) la observación se hace con baja amplificación vertical (10 000 X) y barriendo un área de 8.8 x 5.4  $\mu\text{m}$ . En b) se muestra una imagen con mayor profundidad de la misma región pero la amplificación vertical se ha duplicado, el círculo en la figura muestra el punto aparentemente más alto. En c) con una amplificación de 100 000 X puede apreciarse una estructura superficial evidente en a), el área cubierta es 5.7 x 3.8  $\mu\text{m}$ . En cada figura se muestra la calibración vertical y mediante una flecha se ha indicado el mismo detalle estructural.



La figura 10 es una imagen obtenida con un barrido muy lento para obtener una mejor caracterización de la punta, como puede apreciarse existe una alta corrugación y cúspides sobre toda la punta. Estructuras similares han sido reportadas mediante observaciones de microscopio electrónico de barrido.

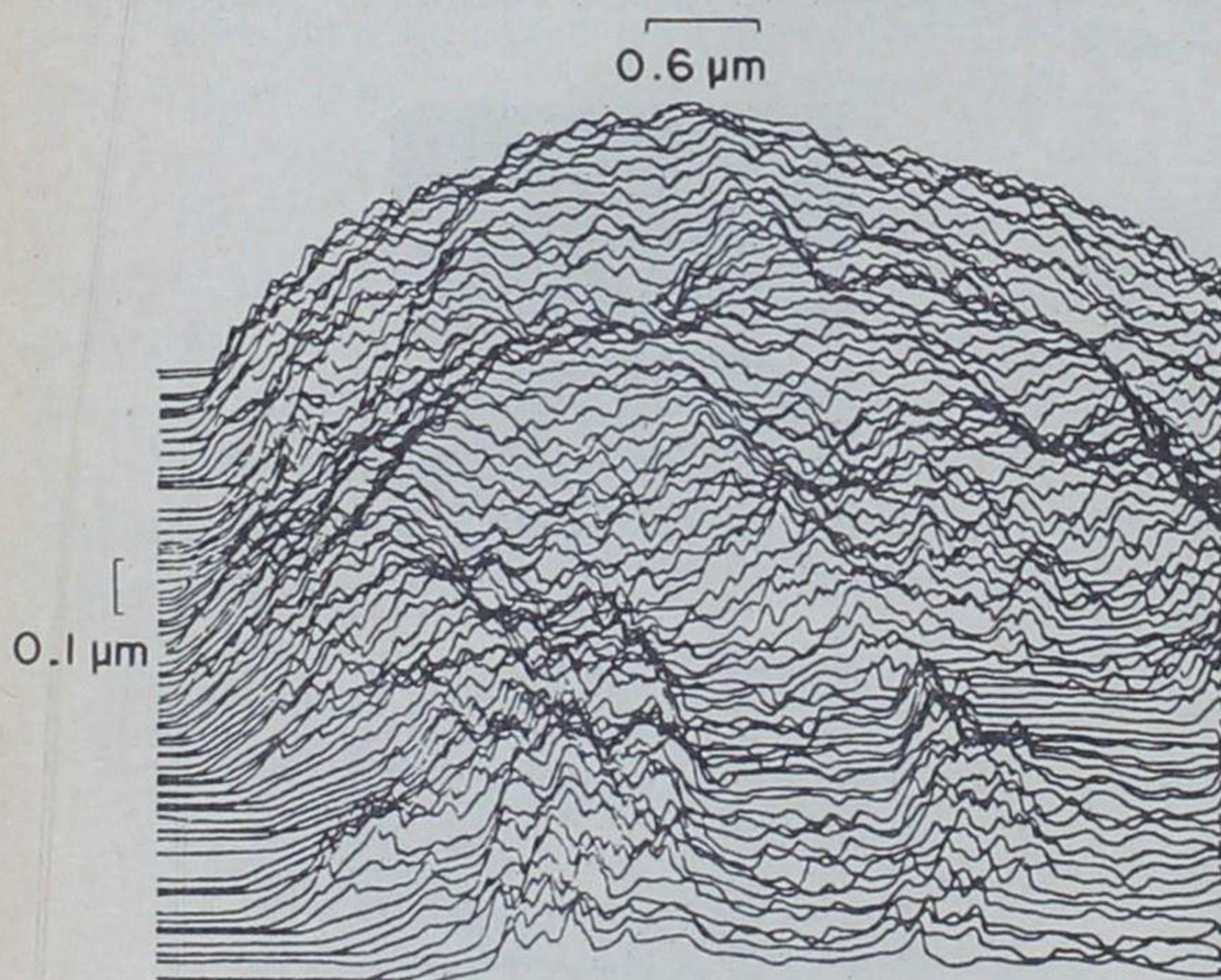


Figura 10. Observación de una punta de tungsteno con un barrido muy lento.

### E. Acero austenítico

Los aceros austeníticos son de gran interés para la industria energética, debido a sus características de formabilidad, soldabilidad y resistencia a la corrosión. Son usados en soldadura de tuberías de seguridad nuclear. Sin embargo, cuando el acero austenítico es soldado con el mismo material de aporte se ha observado que en zonas adyacentes a la soldadura se presenta el fenómeno de corrosión intergranular bajo esfuerzo<sup>29</sup>. A continuación presentamos los resultados de un estudio realizado para caracterizar la microestructura de soldaduras de acero austenítico 316L.

La unión soldada de dos placas de acero austenítico 316L producida con el mismo material de aporte mediante el proceso TIG (Tungsten Inert Gas) se caracterizó estudiando una probeta de la unión de tres cordones de soldadura. Las probeta se elaboró de acuerdo con la norma ASTM-E8. La muestra particular que se estudió contiene material del primero, segundo y tercer cordón de soldadura. El proceso de

solidificación de la muestra contiene entonces información de la solidificación de cada cordón así como del recalentamiento debido al segundo y tercer cordón con un consecuente refinamiento del tamaño de grano. Este estudio muestra la forma de solidificación en la zona fundida.

La figura 11 es una composición de dos imágenes sucesivas de nuestro instrumento desplazadas ligeramente, donde pueden observarse estructuras vermiciformes que sobresalen de la matriz austenítica. Las diferencias de altura en la topografía se pueden asociar con el modo de solidificación.

La figura 12 muestra la matriz austenítica que mayoritariamente debe estar presente en la muestra. En el extremo superior derecho de esta figura puede apreciarse un borde bien diferenciado del resto de la matriz austenítica, presumiblemente asociado con ferrita fase  $\delta$ .

### Perspectivas

Con el antecedente de la construcción del Microtopógrafo, para el cual se deberían resolver problemas electrónicos de control más complicados que en diseños convencionales, es relativamente simple pasar a la construcción de un microscopio con resolución atómica. En diciembre de 1987 participamos en la construcción de un aparato similar en Buenos Aires, Argentina<sup>30</sup> y en mayo de este año hemos iniciado la construcción de un microscopio de resolución atómica que incorpora la técnica de control desarrollada. Se ha construido una primera versión

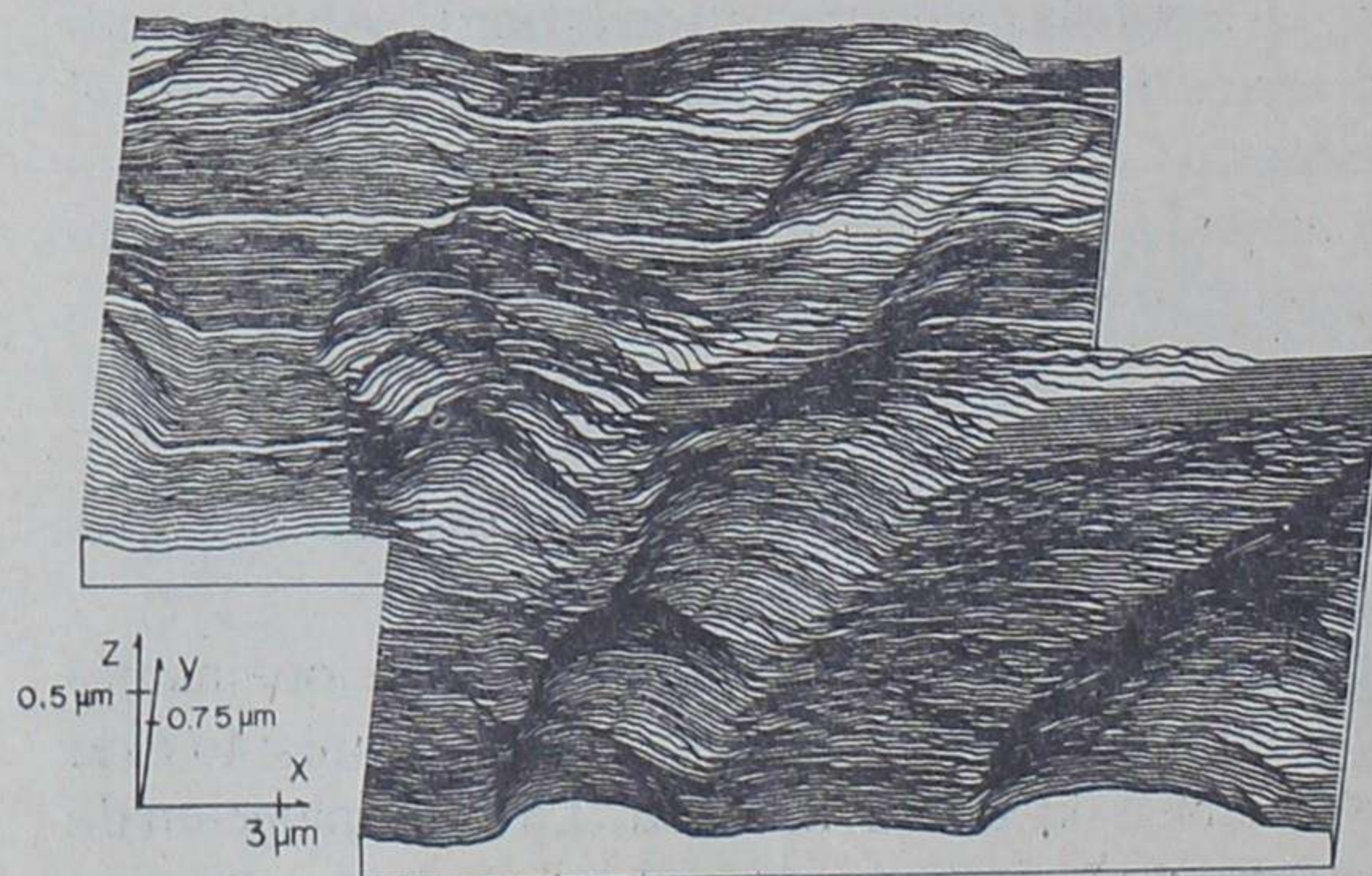


Figura 11. Dos zonas adyacentes de una muestra de acero austenítico.



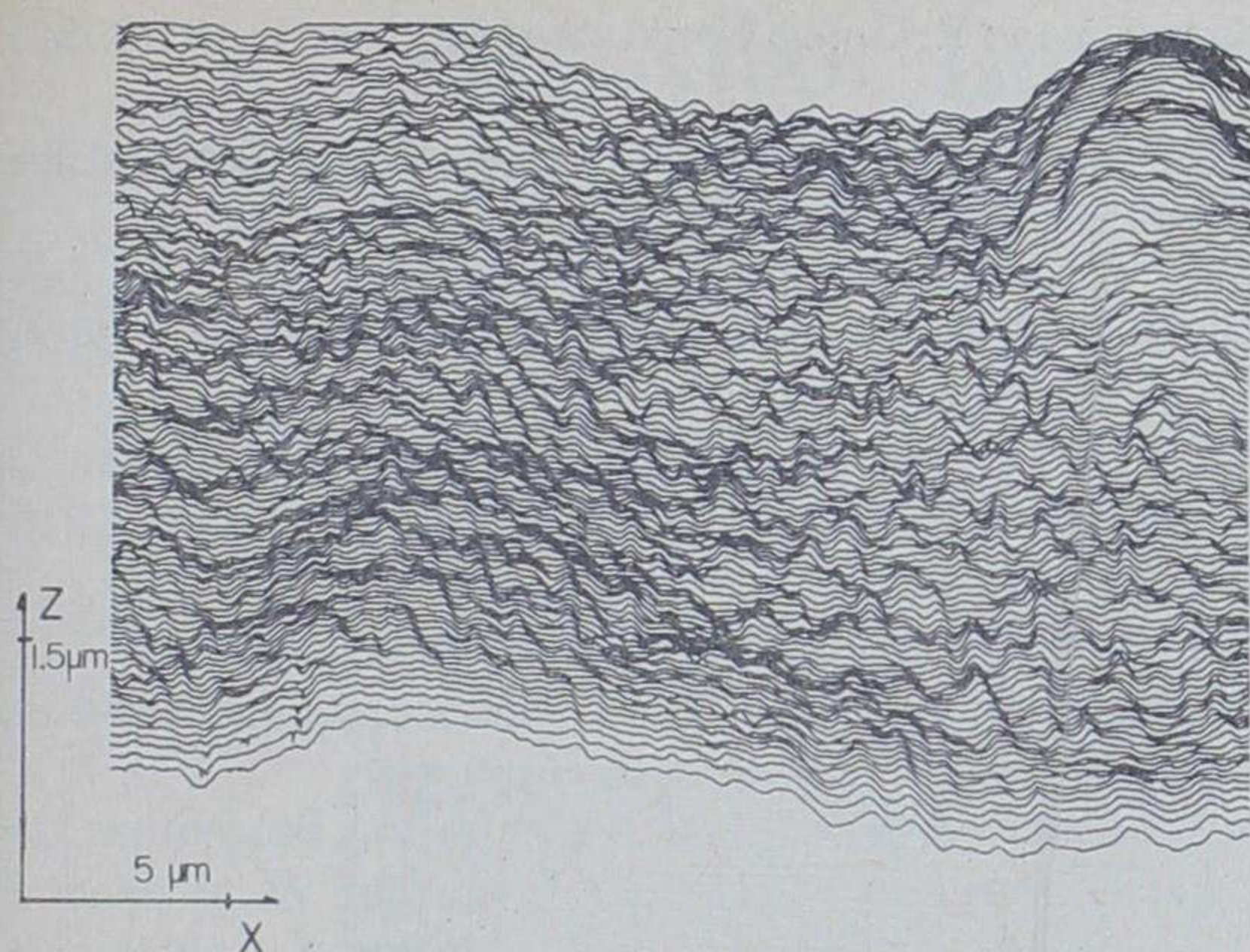


Figura 12. Imagen 3-D de la matriz austenítica.

del sistema de aproximación gruesa y fina entre punta y muestra así como el sistema de movimiento en los tres ejes completamente desacoplados. Diseñado para trabajar a presión atmosférica, podría adaptarse para ultra-alto vacío con modificaciones. Utiliza un anillo de medición lineal que proporcionará datos de dilatación térmica de la muestra.

Por otra parte, las variantes que ofrece la microscopía de tunelamiento electrónico de barrido tales como: operación al aire, en líquidos, al alto vacío, en material biológico, en materiales superconductores a temperatura de helio líquido, en barridos cortos y largos, etc., así como las diferentes técnicas de microscopía desarrolladas a partir de la de tunelamiento tales como: microscopía de fuerza atómica, de perfiles térmicos, óptica de campo cercano y el microscopio de capacitancia eléctrica, están configurando un esquema en el cual existiría una parte común a todas las técnicas mencionadas. La parte común estaría formada por el sistema de adquisición de datos, almacenamiento de la información, la programación para el procesamiento de imágenes y por los sistemas electrónicos de barrido. Estos sistemas deberían poderse adaptar a las diferentes configuraciones de microscopio que se desee operar. Sería muy recomendable que, en el CINVESTAV, se adquiriera una unidad comercial para estudios de material biológico y otra para física de superficies al alto vacío que tomaran en cuenta la versatilidad necesarias para las partes comunes mencionadas.

En la figura 13, se muestra una imagen obtenida con un microscopio comercial capaz de realizar observaciones en material biológico, operado al aire y con un mínimo de preparación de la muestra.

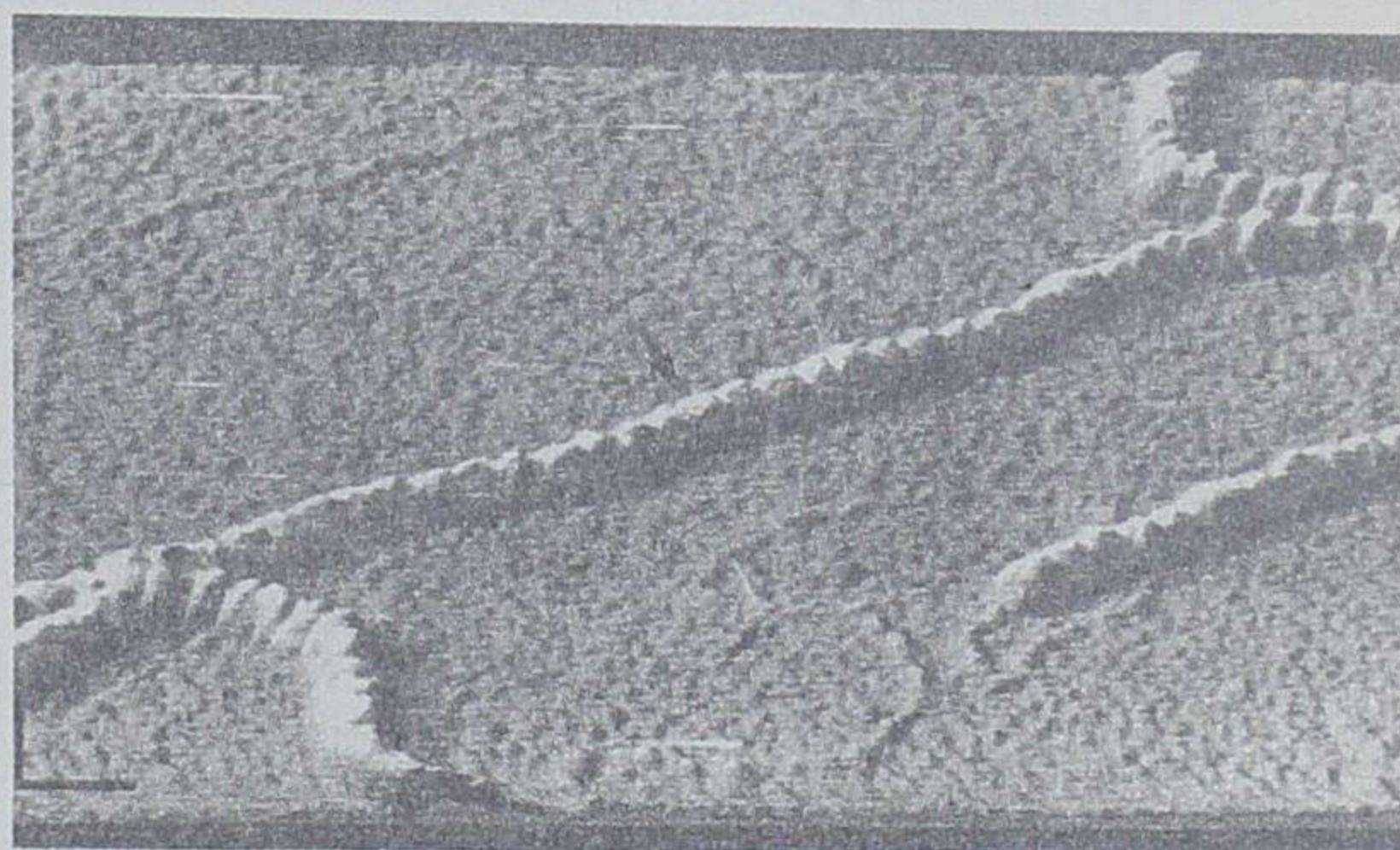


Figura 13. RecA-DNA recubierta con una película conductora.

## Conclusiones

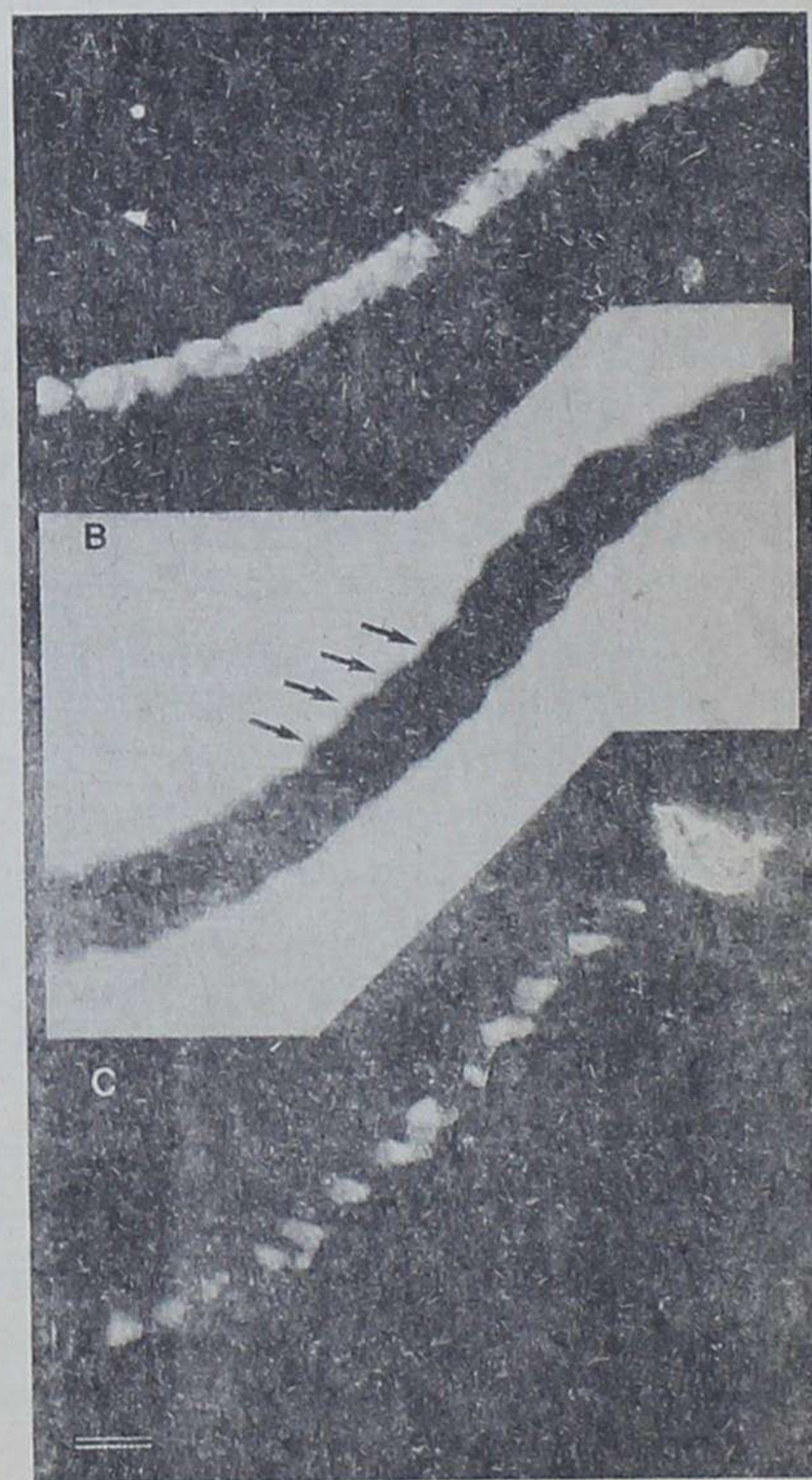
La construcción de microscopios de tunelamiento electrónico de barrido es un reto tecnológico que es posible enfrentar con una infraestructura material relativamente modesta. Es, por otra parte, una tecnología de frontera que ofrece un amplio campo de trabajo para investigadores teóricos y experimentales. La microscopía de tunelamiento fue una tecnología de punta hace aproximadamente cuatro años y será una tecnología de uso común en centros de investigación en otros cuatro años.

## Referencias

1. "Field Emission Ultramicrometer". Russell D. Young. *Rev. Sci. Instr.* **37**(3) p. 275 (1966).
2. "Observation of Metal-Vacuum-Metal Tunneling, Field Emission, and the Transition Region". R. D. Young, John Ward and Fred Scire. *Phys. Rev. Lett.* **27**(14) p. 922 (1971).
3. "The Topografiner: An Instrument for Measuring Surface Microtopography". R. D. Young, J. Ward and F. Scire. *Rev. Sci. Instr.* **B43**(7) p. 999 (1972).
4. "Room Temperature Gold-Vacuum-Gold Tunneling Experiments". E. Clayton Teague. *Bulletin Am. Phys.*



- Society* 31 p. 289 (1986) y *Journal of Res. N. B. S.* 91(4) p. 171 (1986).
5. "Thermal Drive Apparatus for Direct Vacuum Tunneling Experiments". W. A. Thompson and S. F. Hanrahan. *Rev. Sci. Instr.* 47(10) p. 1303 (1976).
  6. "STM from Birth to Adolescence". Gerd Binnig and Henrich Rohrer. *Rev. Mod. Phys.* 59 p. 615 (1987).
  7. "Electromagnetic Squeezer for Compressing Squeezable Electron Tunneling Junctions". J. Moreland and P. K. Hansma. *Rev. Sci. Instr.* 55(3) p. 399 (1984).
  8. "Tunneling Through a Controllable Vacuum Gap". G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber and E. Weibel. *Appl. Phys. Lett.* 40(2) p. 178 (1982).
  9. "The Scanning Tunneling Microscope". G. Binnig and H. Rohrer. *Helv. Phys. Acta* 55 p. 726 (1982).
  10. "Scanning Tunneling Microscope Observation of Surface Diffusion on an Atomic Scale: Au on Au(111)". R. C. Jaklevic and E. Elie. *Phys. Rev. Lett.* 60(2) p. 120 (1988).
  11. "Surface Electronic Structure of Si(111)7x7 Resolved in Real Space" R. J. Hamers, R. M. Tromp and J. E. Demuth. *Phys. Rev. Lett.* 56(18) p. 1972 (1986).
  12. "Observation of Individual Organic Molecules at a Crystal Surface with use of a Scanning Tunneling Microscope". T. Sleator and R. Tycko. *Phys. Rev. Lett.* 60(14) p. 1418 (1988).
  13. "Surface Modification with the STM". D. W. Abraham, H. J. Mamin, E. Ganz and J. Clarke. *IBM J. Res. Dev.* 30(5) p. 492 (1986).
  14. "Nanometer Lithography with the STM". M. Ringger, H. R. Hidber, R. Schlogl, P. Oelhafen and H. J. Guntherodt. *Appl. Phys. Lett.* 46(9) p. 832 (1985).
  15. "Scanning Tunneling Microscopy in Biological Matter". G. Travaglini, H. Rohrer, M. Amrein and H. Gross. *Surface Science* 181 p.380 (1987).
  16. "Molecular Images and Vibrational Spectroscopy of Sorbic Acid with the STM". D. P. Smith, M. D. Kirk and C. F. Quate. *Journal of Chemical Physics* 86(11) p. 6034 (1987).
  17. "Micromanipulation by Tunneling Microscopy". J. S. Foster, J. E. Frommer and P. C. Arnett. *Nature* 331(3164) p.324 (1988).
  18. "Atomic Force Microscope". G. Binnig, C. F. Quate and Ch. Gerber. *Phys. Rev. Letters* 56(9) p. 1164 (1986).
  19. "1st International Conference on Scanning Tunneling Microscopy", 4STM'86. *Surface Science* 181 (1987).
  20. "Scanning Capacitance Microscopy". J. R. Matey and J. Blanc. *J. Appl. Phys.* 57(5) p. 1437 (1985).
  21. "Optical Heterodyne Profilometer. C. C. Huang. *Optical Engineering* 23(4) p. 365 (1984).
  22. "Acoustic Microscopy". Calvin F. Quate. *Phys. Today* 39(8)1985 p.34.
  23. "Generalized Formula for the Electric Tunnel Effect between Similar Electrodes". J. G. Simmons. *J. Appl. Phys.* 34 p. 1793 (1963).
  24. "Inductoscanner Tunneling Microscope". M. A. Huerta Garnica and R. García Cantú. *Surface Science* 181(1987) p.216.
  25. "Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials" ASTM E 92-72 (77)
  26. "A Continuous Indentation Test for Metals". D. Jaramillo V., S. Kuriyama and M. A. Meyers. *Acta Metall.* 34(2) p. 313 (1986).
  27. "Tip Structure Determination by STM". G. F. A. van de Walle, H. van Kempen and P. Wyder. *Surf. Sci.* 167p. L219 (1986).
  28. "Direct Tip Structures Determination by STM". R. García Cantú and M. A. Huerta Garnica. A presentarse en IFES'89 Oxford, U.K.
  29. "Caracterización Microestructural de Soldaduras de Acero Austenítico 316L". L. M. Carrera, M. A. Huerta Garnica, R. García Cantú y O. Guzman. X Conferencia Interamericana en Tecnología de Materiales. San Antonio, Texas. 1989.
  30. "Battery Operated STM". J. Valdes, J. Kohanoff, E. Lobbe, R. Bancalary, M. E. Porfiri and R. Garcia Cantú. *J. of Microscopy* 152 (1988).
  31. "Scanning Tunneling Microscopy of recA-DNA Complexes Coated with a Conducting Film". M. Amrein, A. Stasiak, H. Gross, E. Stoll and G. Travaglini. *Science* 240 (1988) p. 514.





# Estudio interdisciplinario de la Ría de Lagartos

*En la Unidad Mérida del CINVESTAV se ha integrado un equipo interdisciplinario para estudiar el ecosistema costero de la Ría de Lagartos. En este ensayo se presentan algunos fundamentos de la propuesta metodológica para elaborar un plan sobre el control y uso de sus recursos naturales.*

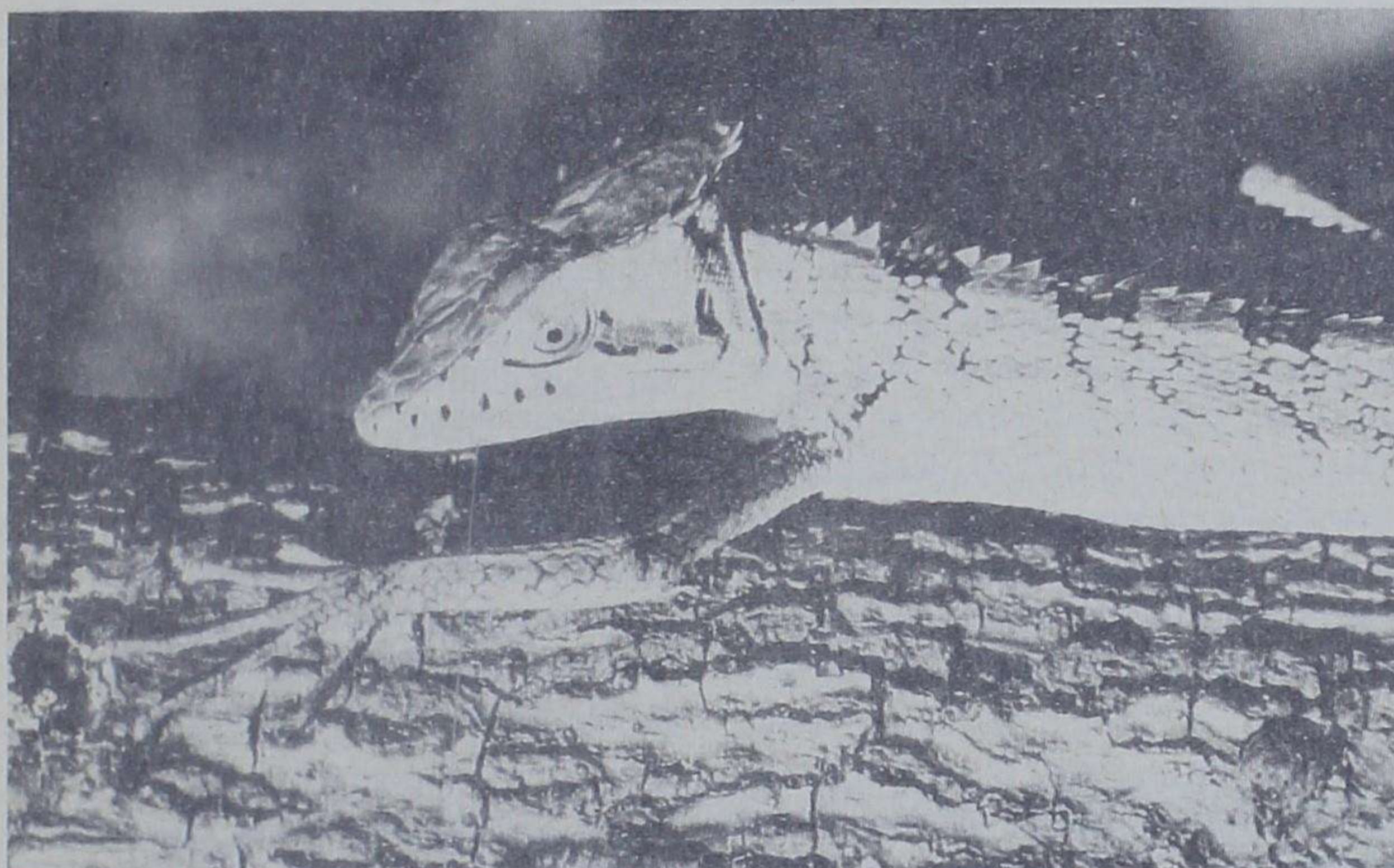


Foto de Jesús García Barrón

***Raúl E. Murguía, Jorge Correa, Eduardo Batllori, Eckart Boege y Gustavo de la Cruz***

## La relación hombre-naturaleza

Los procesos involucrados en la existencia y devenir de los ecosistemas van más allá de los ciclos naturales y biodinámicos: el reemplazo de ecosistemas naturales por ecosistemas modificados o creados por el hombre se extiende ya sobre la

mayor parte del planeta; lo llamado natural adquiere carácter social en este momento histórico. Develar la especificidad de la relación hombre-naturaleza es un ejercicio complejo que requiere de la participación tanto de las ciencias naturales como sociales. Requiere también de un marco conceptual y metodológico que permita su conocimiento y sistematización mediante una acción unitaria, totalizadora, donde cada ciencia reoriente su enfoque en función del esclarecimiento de la cuestión planteada.

La relación hombre-naturaleza tiene una dinámica diferente en distintos momentos históricos. Cada grupo social se relaciona con la natu-

Raúl E. Murguía, Jorge Correa y Eduardo Batllori son profesores e investigadores de la Sección de Ecología Humana, y Gustavo de la Cruz es profesor e investigador de la Sección de Ecología Marina, ambas secciones de la Unidad Mérida del CINVESTAV. Eckart Boege es investigador de la Unidad Jalapa de Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS).



raleza de diferente forma, con diversos conocimientos y actitudes. Por tanto, incorporar la dimensión histórica hace posible alcanzar una visión dinámica de la relación hombre-naturaleza, permitiendo superar el enfoque sincrónico al que están expuestos los estudios de los ecosistemas que hacen abstracción del factor humano. En nuestro país es indispensable considerar en el estudio de la relación hombre-naturaleza la confluencia conflictiva, en un espacio concreto, de dos sistemas de distinta esencia: el choque entre la extraordinaria diversidad biológica de México<sup>1</sup> --cuyo conocimiento sustentó una tradición mesoamericana de aproximación múltiple a la naturaleza-- con los procesos de incorporación de nuestro territorio, y sus recursos, a la satisfacción de las necesidades de materias primas requeridas por la economía nacional y mundial, que la mayor parte de las veces reviste el carácter de relaciones de saqueo colonial. La demanda masiva de ciertos productos impulsa la creación de ecosistemas transformados; se tiende a sustituir la diversidad y complejidad biológica, históricamente manejada por las poblaciones autóctonas, con monocultivos; se privilegia la producción de la proteína animal destinada al consumo de una minoría de la sociedad y a la exportación.

La comprensión del fenómeno anterior ha generado lentamente una línea de investigación sobre la relación hombre-naturaleza en la cual se intenta rescatar la experiencia histórica de Mesoamérica. Curiosamente, en México han sido los biólogos y agrónomos, y no los antropólogos, quienes llaman la atención sobre estos temas y quienes desarrollan, partiendo de enfoques biológicos, antropológicos y económicos, una teoría coherente sobre la relación hombre-naturaleza. Es en la reflexión sobre dicha relación donde se enfatiza el intercambio ecológico y económico en el proceso productivo primario; se impulsa, además, la crítica al modelo de desarrollo dominante en la agricultura mexicana, proponiendo caminos distintos<sup>1-3</sup> para la autosuficiencia alimentaria y el desarrollo, basados en el sostenimiento de la diversidad biológica.

El conocimiento de la propuesta teórica antes mencionada, el contacto con la Sección de Metodología de la Ciencia de CINVESTAV y la interacción entre las secciones de Ecología Humana y Ecología Marina de la Unidad Mérida del CINVESTAV nos ha permitido proponer una concepción teórica alejada de la especificidad disciplinaria y tendiente a la búsqueda de usos sociales sostenidos



Foto de Agustín Estrada



de los ecosistemas que permitan la permanencia de la diversidad biológica. Nuestra relación con los usuarios de los ecosistemas nos ha permitido, además, conocer en su realidad social las contradicciones que rigen la vinculación humana con el medio ambiente.

## Multidisciplina vs Interdisciplina

La pretensión de nuestro grupo es conocer los fenómenos que rigen la existencia de estados estacionarios en el sistema de la Ría de Lagartos, a fin de elaborar un plan de manejo de sus recursos naturales que permita su uso sostenido a largo plazo. Esta orientación general puede expresarse interrogativamente: ¿Qué tipo de relación, entre los procesos que determinan la existencia y desarrollo de los fenómenos bióticos, abióticos y sociales (metaprocesos<sup>4</sup>) del sistema de la Ría de Lagartos, es necesaria para alcanzar un estado estacionario tal que permita su supervivencia? La peculiar intencionalidad de nuestro trabajo determina un marco teórico y metodológico que define la investigación (límites del sistema, elementos constitutivos, forma de aproximación sucesiva a su estructura y niveles de análisis) y la naturaleza del equipo humano destinado a la realización del proyecto. Nuestro estudio privilegia el conocimiento de las relaciones interactivas entre fenómenos que pertenecen a dominios diversos: condiciones bióticas y abióticas, producción económica y organización social. Es decir, privilegiamos el conocimiento de la dinámica de la estructura respecto al conocimiento de los elementos que la constituyen. Esto no significa abandonar el estudio de lo que cambia, se mueve y se concatena, ya que constituye el nivel básico del conocimiento del sistema.

El estudio de las interacciones entre los elementos constitutivos de un sistema implica la construcción de relaciones análogas en el grupo de investigadores. Estas interacciones en el equipo humano presuponen la presencia de especialistas cuya tarea es percibir dentro de la lógica de su disciplina, y con las herramientas que le son propias, los momentos básicos de existencia del objeto estudiado, preservando en el saber producido su integridad y complejidad, abandonando la mirada

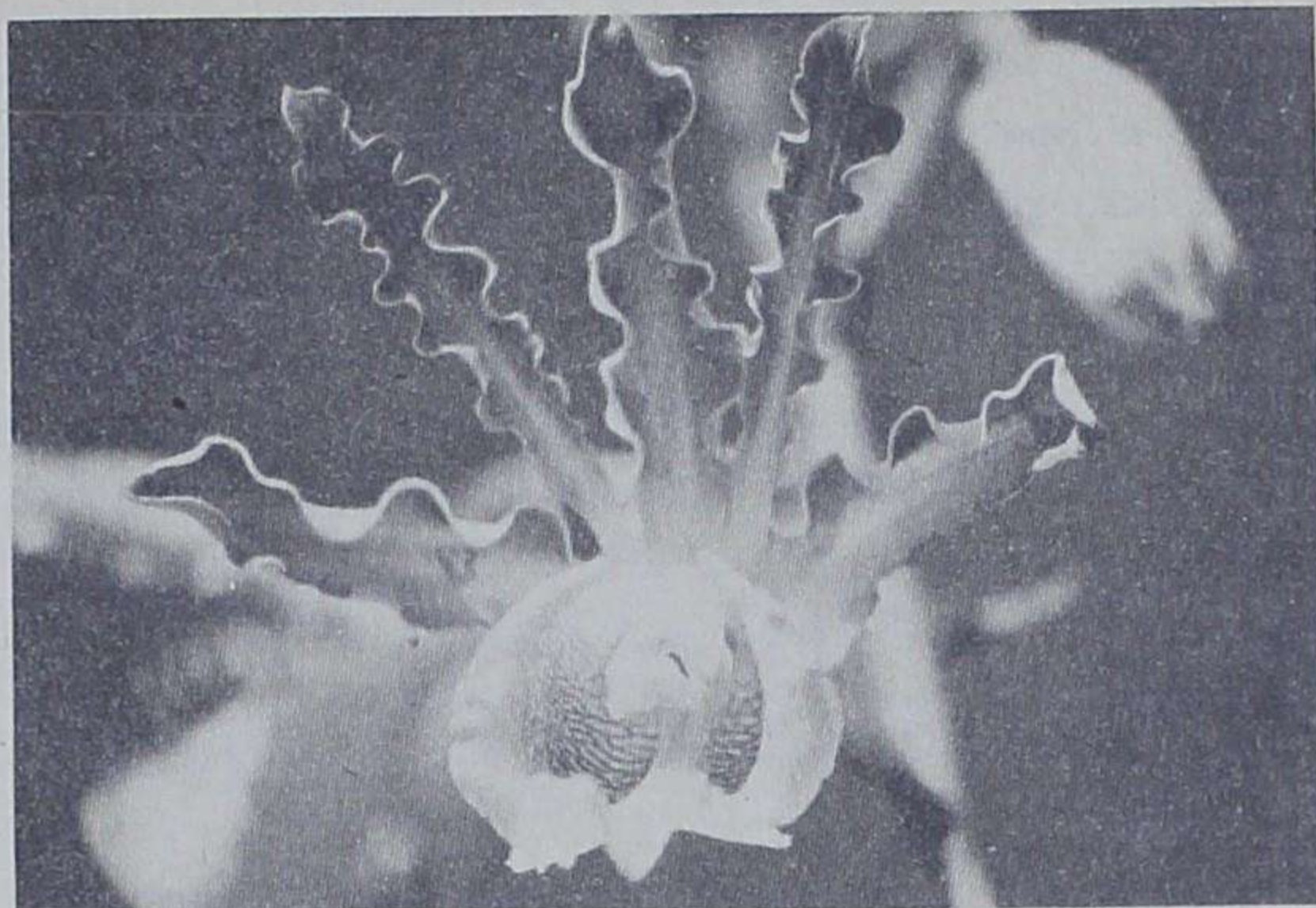


Foto de Jesús García Barrón

del especialista y tomando la perspectiva del sistema. El saber interdisciplinario está referido a los nexos existentes entre los elementos estructurados. Requiere, por tanto, de una concepción teórico-metodológica común que permita la articulación de ciencias disímiles y de una práctica integradora. Se debe manifestar el conocimiento de los elementos y procesos y sus relaciones, a través del trabajo de campo y gabinete, en un discurso explicativo coherente. Significa que el nivel de integración del equipo avanza conforme cada uno de los saberes particulares se integra, en una totalidad conceptual, aportando la forma de relación existente tanto entre los elementos básicos, como entre estos y los metaprocesos identificados.

El trabajo interdisciplinario requiere del especialista, del mayor rigor científico en la investigación así como de la capacidad para abandonar la óptica estrecha de su propio campo, enfocando el problema desde nuevos ángulos. La relación análoga aparece en el momento en que el especialista trasciende su propio campo y es capaz de ofrecer propuestas explicativas de la dinámica del sistema, utilizando el saber producido por los otros especialistas del equipo y planteando nuevas alternativas metodológicas y conceptuales. La constitución del equipo en un sistema conceptualmente análogo al estudiado permite eludir los planteamientos hipotéticos, las generalidades vacuas y la fragmentación. La concepción de la interdisciplina difiere radicalmente del enunciado multidisciplinario, de carácter neo-



positivista, que pretende alcanzar la objetividad mediante el conocimiento de los *hechos* y que mediante la suma de los conocimientos parciales intenta describir la existencia de un sistema. La multidisciplinaria al rechazar, o ignorar, la necesidad de una base teórico-metodológica que produzca una totalidad conceptual ricamente articulada, se reduce a reunir las aportaciones de los especialistas en un discurso descriptivo, generalmente inconexo y fragmentado.

## Comprehensividad vs totalidad

Al ampliar el concepto de totalidad, el pensamiento filosófico contemporáneo ha superado las restricciones dogmáticas y sectarias; incorporar la estructura que define las relaciones e interacciones entre las partes y el todo y la acción interactiva entre totalidades que corresponden a niveles de existencia y teorización diferentes. La estructura no es entendida ya como un inmanente pasivo, sino como una condición histórica de existencia momentánea, que tiene una dinámica peculiar.

El aporte de nuevos y más poderosos conceptos para el análisis<sup>4</sup>, derivados de la reflexión acerca de la práctica científica, nos permite expresar la totalidad en términos de los sistemas que la constituyen, de los elementos que los forman y de la dinámica dialéctica de las relaciones que los estructuran, o desestructuran, convirtiéndolos en eventos históricos. El estudio sistemático de la totalidad es, esencialmente, la investigación de los procesos de cambio.

Por su parte, la comprehensividad está referida a la ampliación del número de disciplinas. Lejos de partir de una concepción dialéctica, se regodea en un esquema mecanicista de la realidad. Fuera de la lógica de la totalidad dinámica y estructurada, la comprehensividad rechaza la teoría de la unidad de lo diverso para crear un *amplio* panorama de *hechos* diversos, percibidos y enunciados fragmentariamente. Es en su más profunda esencia la moderna expresión de la metafísica que destruye en el pensamiento la objetiva unidad de lo diverso. Terminando aquí con los deslindes conceptuales, iniciamos la exposición de nuestro trabajo, que materializa las propuestas antes enunciadas.

## ¿Por qué estudiar ecosistemas costeros?

El ámbito de nuestra actividad en la Unidad Mérida está limitado por ciertos criterios geográficos, biológicos y socioeconómicos. El trabajo en la Península de Yucatán parte de considerar la biogénesis de su plataforma, que emerge del mar creando una peculiar sucesión de ecosistemas. El predominio del carácter peninsular otorga a las costas una importancia singular, ya que sus condiciones extremas han impuesto el desarrollo de una flora y fauna con alto índice endémico. Las condiciones geológicas y geográficas hacen que en la región se desarrollen ecosistemas capaces de sostener una biomasa considerable pero que son en extremo frágiles y que requieren, para su conservación, de un manejo adecuado. Si bien el ámbito de nuestra actividad es la Península de Yucatán, es imposible estudiar simultáneamente todas sus regiones o todos los ecosistemas en ellas involucrados. Tanto por razones económicas como académicas, es preciso priorizar el estudio de ciertos ecosistemas atendiendo a su importancia, fragilidad o riesgo. Hemos iniciado los estudios de los humedales costeros, tanto por las peculiaridades académicas de la Unidad Mérida, como por la importancia de los ecosistemas lagunares costeros de la Península de Yucatán y por el notable flujo de población y capitales hacia las costas a fin de explotar sus recursos naturales.

Las lagunas costeras de las regiones tropicales del planeta son áreas de gran productividad biológica y refugio de especies vegetales y animales, en ocasiones endémicas. En general, su importancia rebasa el marco regional para convertirse en ecosistemas cuya protección reviste interés mundial, en virtud de que múltiples especies marinas utilizan sus aguas para la reproducción y que un gran número de especies vegetales requieren de sus condiciones ambientales para propagarse adecuadamente. Las lagunas costeras tropicales son numerosas en México; solamente en la Península de Yucatán existen ocho de ellas. Son ecosistemas complejos, altamente productivos en términos de biomasa, inestables, y desde el punto de vista socioeconómico, potencialmente muy valiosos. Estas características los colocan en una



situación de alto riesgo de deterioro, pues su productividad impulsa a la sociedad a apropiarse de ellos; a su vez, su inestabilidad convierte a las acciones sociales en gran escala en alteradoras profundas y radicales del ecosistema.

El conocimiento científico riguroso, con perspectivas de aplicación inmediata, sobre las lagunas costeras tropicales es una tarea urgente. Es necesario establecer de inmediato los procesos y las interrelaciones que determinan y condicionan su existencia y desarrollo. Es decir: su estructura y dinámica. Los ecosistemas lagunares costeros de la Península de Yucatán son particularmente importantes, por su especificidad, tamaño y productividad, requiriéndose la elaboración de normas científicas para el manejo de sus recursos, de tal manera que el crecimiento económico de la región y la atención de la demanda del mercado internacional puedan utilizarlos modificando lo menos posible las condiciones de su complejidad y estabilidad.

### **La Ría de Lagartos: un sistema disipativo**

En el momento presente nuestro grupo está dedicado al estudio del conjunto de ecosistemas coali-

gados, existentes en la región denominada Ría Lagartos, y que ha sido transformado por la acción humana a través de la explotación de sus recursos. La región tiene una vocación definida de refugio faunístico y simultáneamente están presentes la extracción de sal, la pesca, el turismo, los asentamientos humanos y, en menor medida, la agricultura y la ganadería; ofrece un ejemplo típico del uso social, multiple y extenuante, de los recursos renovables y no renovables contenidos en esos ecosistemas.

Los elementos que intervienen en los procesos arriba mencionados, así como sus relaciones sociales, sus interrelaciones e interacciones, constituyen una totalidad estructurada, un sistema complejo<sup>4</sup>. Es decir, los elementos que integran su estructura a la vez que son por sí mismos sistemas, mantienen relaciones e interacciones con otros elementos y sistemas externos a ellos, por lo cual es muy difícil establecer un contorno limitante preciso, tanto en extensión biótica y abiótica, como en su problemática. La estructura determinada por la relación e interacción de sus elementos constitutivos está regida por la acción reguladora de procesos dinámicos que definen estados estacionarios (de equilibrio relativo respecto a ciertas escalas de fenómenos) y son, por tanto, termodinámica y socialmente, abiertos e irreversibles: disipativos.

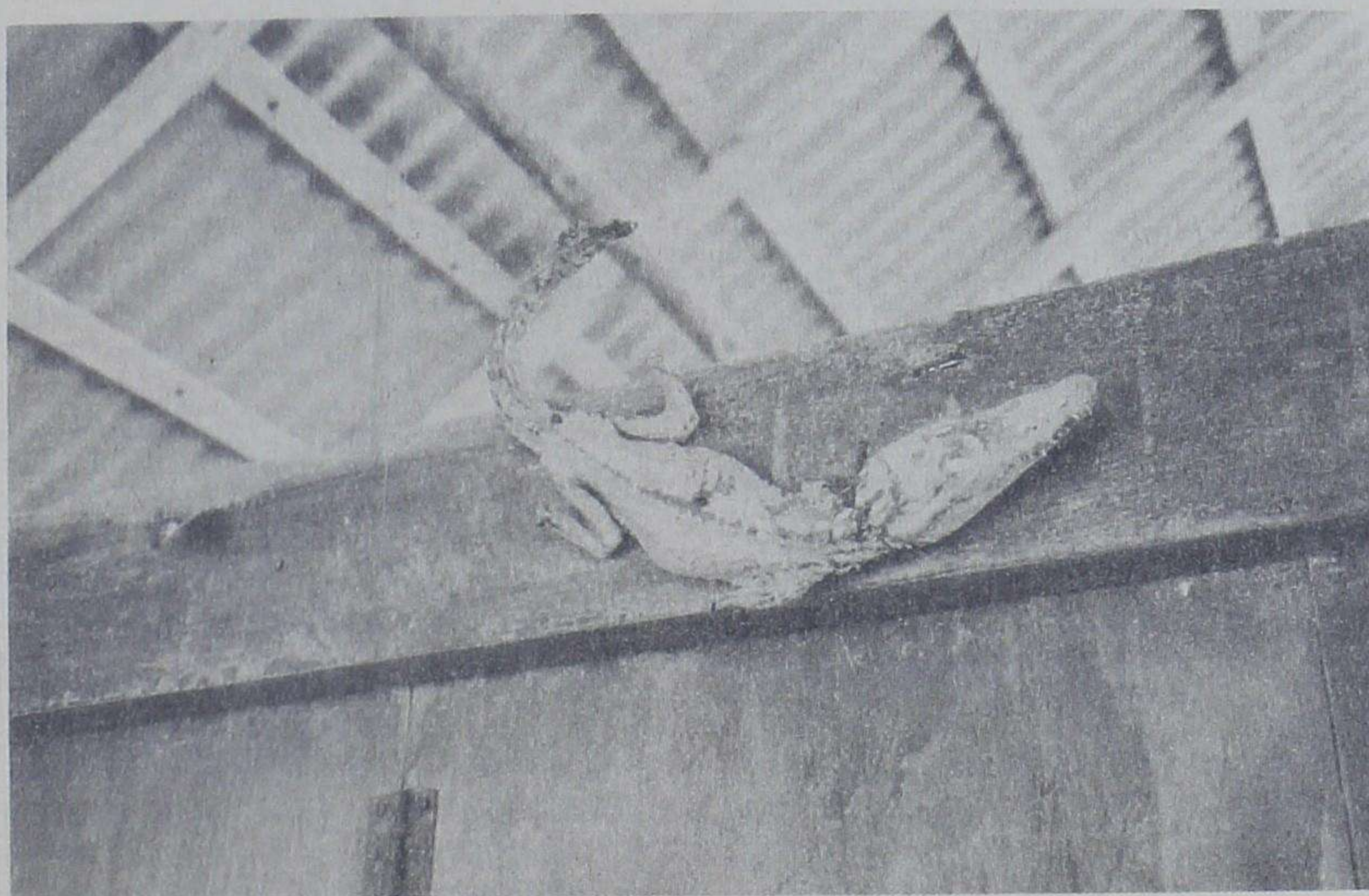


Foto de Agustín Estrada





Foto de Jesús García Barrón

## Descripción general del ecosistema

La laguna costera de Ría de Lagartos se extiende en una superficie de cerca de 13 000 has. entre las coordenadas:  $21^{\circ} 26'$  y  $21^{\circ} 38'$  latitud Norte y  $87^{\circ} 30'$  y  $88^{\circ} 15'$  longitud Oeste, constituyendo parte de la reserva faunística del mismo nombre<sup>5</sup>. Su orientación general es de oeste noroeste-este sudeste, se comunica con el mar abierto de manera natural a través de la Boca de San Felipe y, artificialmente, por un canal abierto frente a la población de Río Lagartos. La acción del huracán Gilberto ocasionó la apertura de bocas temporales que han alterado las características del laguna. Sin embargo, dado que dichas bocas serán cerradas, sea por la acción natural o humana, y las condiciones anteriores reestablecidas, no nos extenderemos al respecto. La longitud del estero es de aproximadamente 80 kilómetros y su borde norte está formado por una clásica *isla de barrera* producto de la depositación sedimentaria provocada, a lo largo del tiempo, por la acción de las olas y de las corrientes marinas asociadas al litoral. El borde sur y el fondo de la laguna están constituidos por el margen de la península, formado por material rocoso de carbonato sometido a procesos cársticos. No existe aporte superficial de agua dulce, pero éste tiene lugar a través del manto freático y de algunas fuentes surgentes en el fondo del estero.

La laguna es, en general, muy somera (1 a 3 m), y su grado de comunicación con el mar, hasta antes del paso del huracán Gilberto era muy restringido, lo cual implicaba una escasa renovación de las aguas internas. Generalmente la onda de tormentas asociada a los huracanes, que eventualmente se presentan en el Golfo de México es relativamente débil, produciendo una elevación del nivel medio del agua dentro en la costa de menos de un metro. La Ría de Lagartos presenta una serie de cuencas: Río Lagartos, Las Coloradas y El Cuyo, comunicadas entre sí por los estrechos naturales de El Puente y La Angostura. Dentro de la cuenca de Las Coloradas se presenta el estrecho de San Fernando, que tiene un papel importante en el flujo de agua dentro de esta cuenca y entre ésta y la de El Cuyo.

La serie de estrechamientos que presenta la laguna entre las cuencas de Río Lagartos y Las Coloradas es de vital importancia para el establecimiento del patrón de circulación de agua en las dos cuencas orientales, pues ahí se amortigua sustancialmente el efecto de las débiles mareas. El escaso intercambio con el agua de mar abierto, y la evaporación que supera a la precipitación, ocasionan que las aguas relativamente inmóviles del estero aumenten su salinidad con el tiempo. En la cuenca de el Cuyo la salinidad alcanza valores



superiores a los 100 gr por kg de agua (100% de salinidad), como lo indican los trabajos de Zamacón<sup>5</sup> y Allen<sup>6</sup>, que reportan valores cercanos a los 180% a la altura del poblado de El Cuyo.

Por su ubicación geográfica, la Ría de Lagartos, como la mayoría de las lagunas costeras tropicales, presenta sólo dos estaciones: la de lluvias, de junio a noviembre, y la de secas, de diciembre a mayo. También es típica la presencia de fuertes vientos provenientes del norte, conocidos precisamente como *nortes*, y que ocurren de noviembre a abril; provocan un mayor flujo de agua menos salina dentro de la laguna, lo que a su vez permite una mayor oxigenación y un enfriamiento relativo del agua, así como un aumento del nivel de ésta en la laguna. Durante los meses de junio a noviembre los huracanes se hacen presentes en la Ría de Lagartos a través de fuerte y abundante precipitación pluvial, intensos vientos e incremento del nivel medio del mar. En ocasiones estos meteoros se desplazan sobre la superficie peninsular, causando graves daños y modificando la línea costera.

La laguna está rodeada por seis principales tipos de vegetación: las dunas costeras, el manglar, la selva baja caducifolia espinosa, los petenes, tulares y marismas<sup>7</sup>. Se calcula que la vegetación que compone estos sistemas es de más de 250 especies, de las cuales la mayoría son de origen mesoamericano y caribeño. Hay varias especies biológicamente importantes por estar restringidas a esta zona.

El área está siendo utilizada de manera múltiple: mediante la pesca se obtienen anualmente 4500 toneladas de diversas especies; la producción salinera alcanza una producción cercana a las 500 toneladas; cuatro poblados con aproximadamente 7000 habitantes están alojados en sus riveras; la diversidad y atractivo del ambiente, la flora y la fauna, son admirados por más de 30,000 turistas al año; la parte sur del Refugio se ve afectada tanto por las actividades agrícolas de la población autóctona, como por el desarrollo ganadero del oriente de la Península de Yucatán. La dinámica demográfica de la región está fuertemente influida por movimientos migratorios dependientes de los cambios en las actividades pro-

ductivas de la parte noroccidental de la Península, principalmente de la actividad henequenera.

## La propuesta metodológica

Los ecosistemas, en tanto que conjunto de elementos estructurados biológicamente y utilizados por la sociedad, configuran un sistema global; sus elementos constitutivos interaccionan y ofrecen una dinámica regida por la lógica de los procesos sociales. La definición de su estructura y dinámica se estableció inicialmente de manera hipotética; se partió del conocimiento entonces existente acerca de los elementos constitutivos y de la propuesta teórica necesaria para conjuntarlos en eventos observables<sup>4</sup>; posteriormente se transformó en no hipotética, en el transcurso de la investigación, produciéndose una totalidad dinámica y estructurada que permitió establecer las instancias de desarrollo del sistema, tanto en las actuales circunstancias, como en el caso de que el manejo científico del ecosistema permita su mejor aprovechamiento.

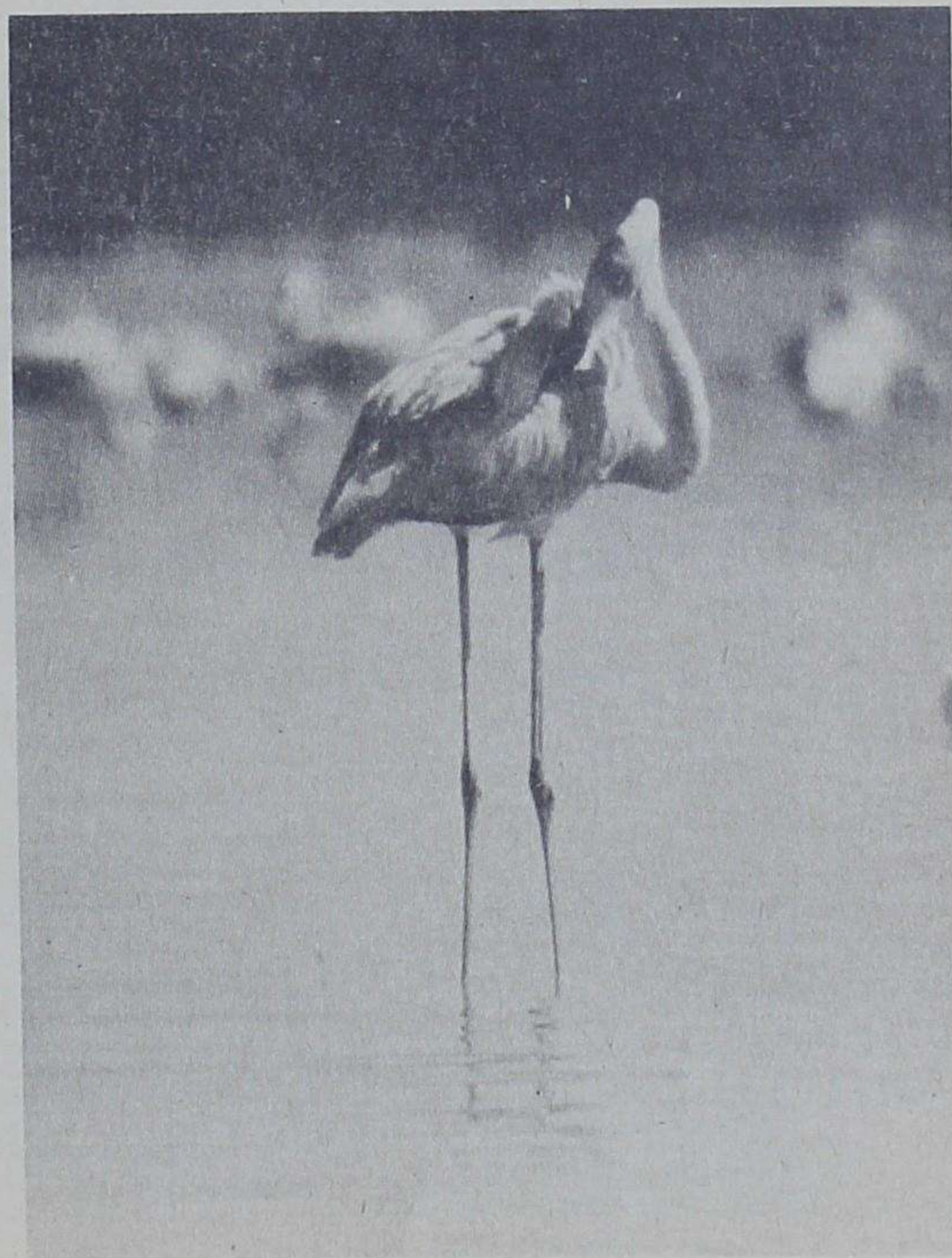


Foto de Jesús García Barrón



La definición del ecosistema de la Ría de Lagartos se dará como resultado del proceso de investigación, ya que sus elementos constitutivos, la lógica de su estructuración y la dinámica de su devenir son posibles de integrarse en una concepción totalizadora, que sea resultado del proceso de conocimiento, y no como punto de partida de éste. Sin embargo, las posibilidades de conocimiento de cada uno de los elementos observables en el ecosistema se deriva de la base teórica con que el estudio se realiza y del conjunto de enunciados paradigmáticos que permiten la aproximación al objeto de estudio a través de la elaboración de una serie de hipótesis. En este sentido, el estudio del ecosistema de Ría de Lagartos incluye el conocimiento de los aspectos físicos, biológicos, geográficos y de los procesos sociales que determinan o condicionan su existencia; su finalidad es diagnosticar el estado actual del sistema, las formas sociales de su utilización y las alternativas de su devenir. Para esto se considera que los elementos constitutivos están estructurados y tienen una dinámica peculiar.

Al ser el ecosistema de la Ría de Lagartos un sistema disipativo, es imposible hacer su definición

precisa. Sin embargo hipotéticamente proponemos la siguiente definición:

1. *Geográfica*: hacia el sur por el borde de la antigua línea forestal subperenifoli; hacia el norte por el área de alcance de las embarcaciones dedicadas a la pesca ribereña, cuya capacidad alcanza las 12 brazas (20 metros de profundidad); hacia el oriente hasta el embalse de Punta Caracol, aproximadamente 18 km. al oriente de El Cuyo y hacia el poniente hasta la boca de la laguna.
2. *Biológica*: Por el conjunto de poblaciones vegetales y animales que lo utilizan transitoria o permanentemente en distintos momentos de su existencia.
3. *Social*: Por el conjunto de relaciones concretas en términos históricos que permiten la realización de cuatro actividades fundamentales: la pesca, la extracción de sal común, el turismo y el asentamiento de poblaciones humanas.

La anterior definición de su frontera se realiza con el fin de especificar el flujo e interacción existentes entre los elementos enunciados. Cabe destacar que el devenir de cada uno de ellos tiene un marco temporal distinto. Por ejemplo, la evolu-

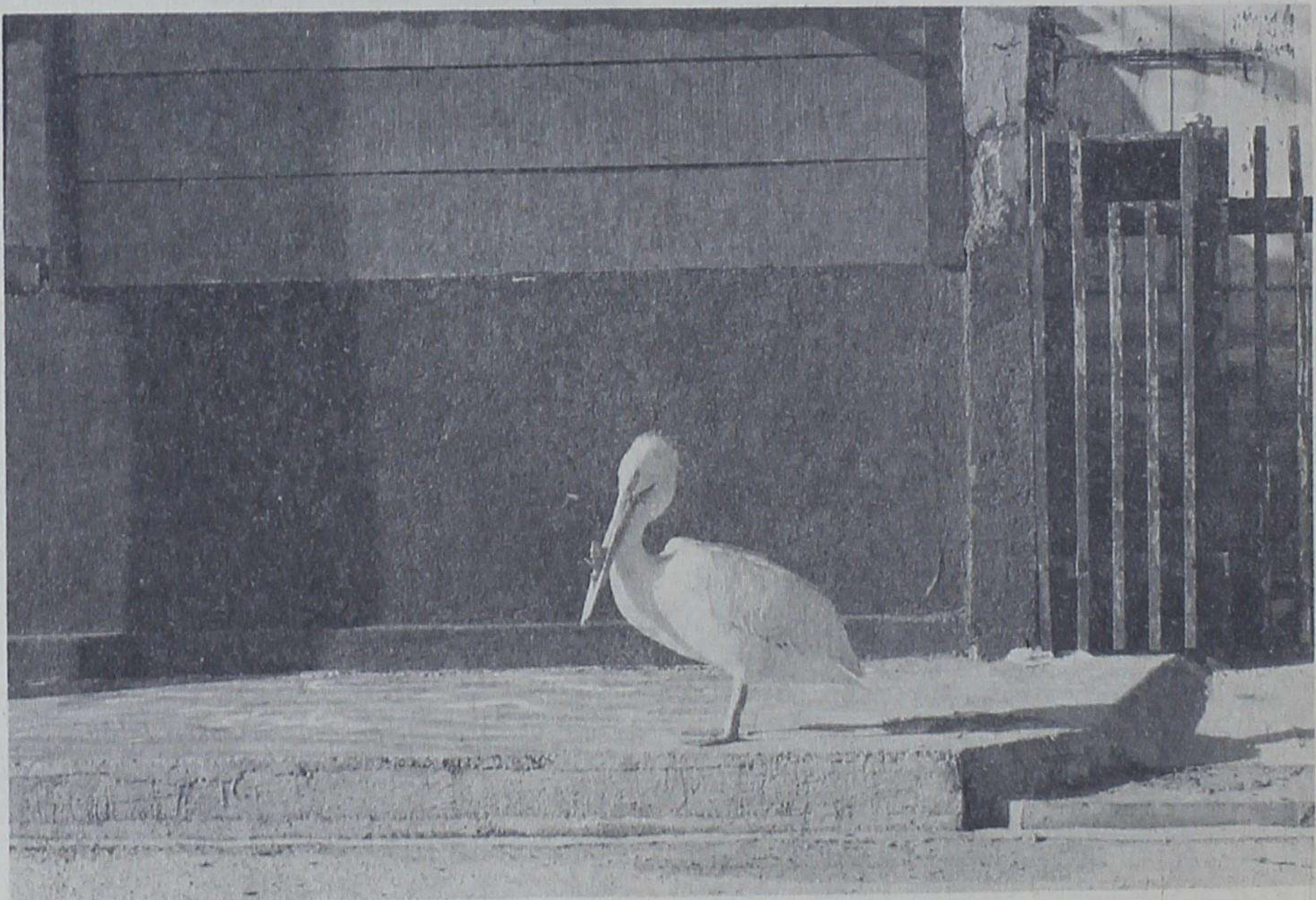


Foto de Agustín Estrada



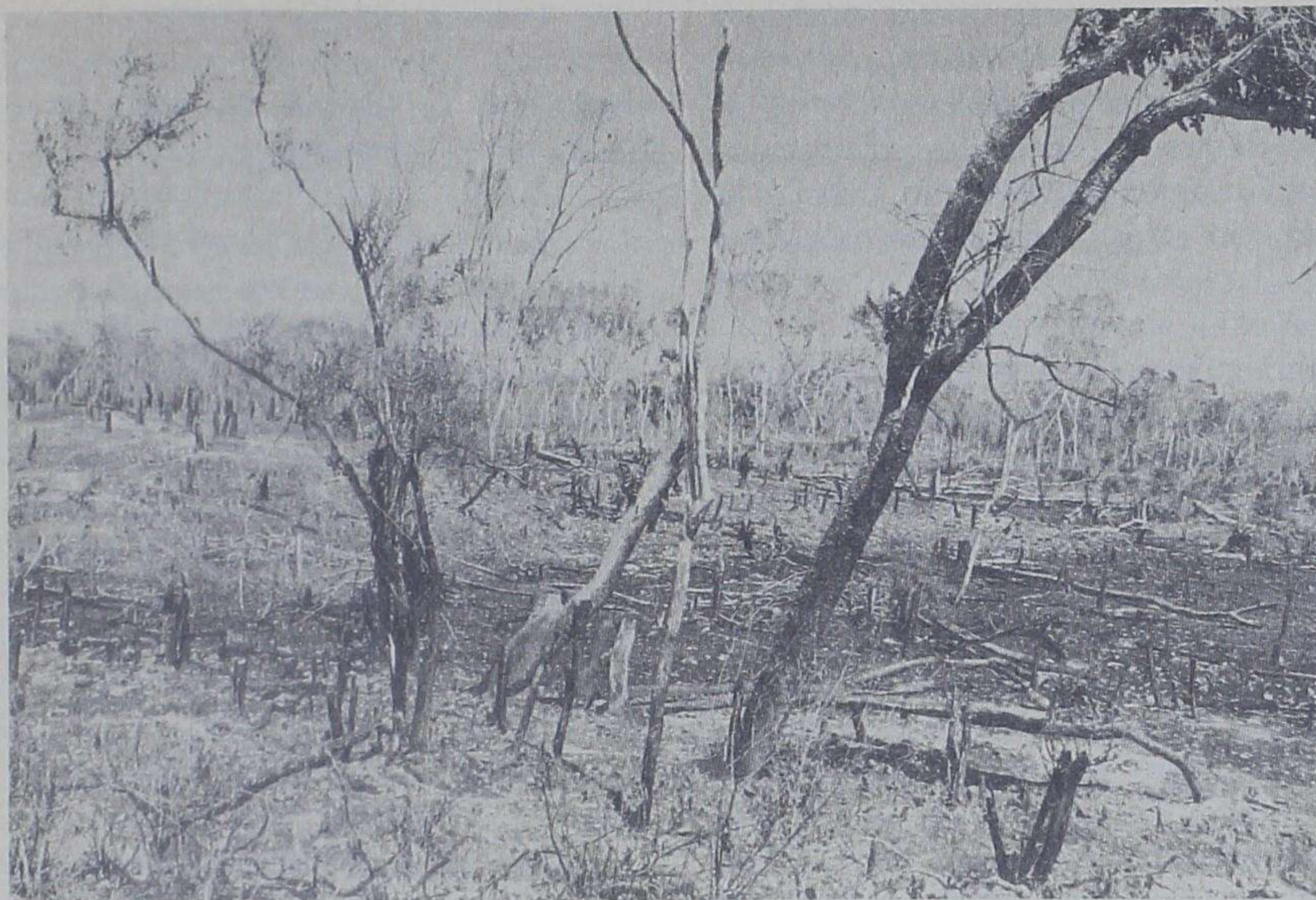


Foto de Agustín Estrada

ción de la laguna ocurre dentro del marco temporal geológico y, desde el punto de vista natural, la laguna tiende a azolvarse y, por lo tanto, a desaparecer. Por otro lado, en un marco temporal completamente diferente, la pesca ribereña (artesanal), dada su baja capacidad de captura, afecta de manera escasa el ciclo reproductivo de las especies, siempre y cuando no se incremente de manera significativa el esfuerzo pesquero, es decir, el número de embarcaciones operando; en esta pesca, el ciclo de reproducción del capital es muy largo. Por el contrario, la extracción de sal es un proceso muy dinámico con alta composición orgánica de capital y ciclos breves. La expansión de la industria salinera implica, de manera necesaria, la reducción del flujo de aguas salobres y la alteración violenta de las condiciones naturales del ecosistema.

Como puede verse, las velocidades de cambio de los distintos elementos que constituyen el sistema son diferentes; por tanto, es necesario estudiar minuciosamente dichas variaciones, las cuales pueden afectar al sistema en su conjunto. Ninguno de los elementos constitutivos del sistema es independiente, por el contrario, está organizado estructuralmente mediante un conjunto de relaciones que definen su existencia y desarrollo. Por

ejemplo: la pesca en la laguna depende tanto del flujo de agua como del esfuerzo pesquero, el flujo de agua afecta la concentración de sal, el incremento de la salinidad afecta la presencia de algunos organismos zooplanctónicos que sirven de alimento a las aves acuáticas que tienen enorme atractivo turístico, estas aves fertilizan con sus heces fecales la laguna e incrementan su productividad primaria, lo cual posibilita el incremento en la variabilidad y el tamaño de las poblaciones marinas, lo cual a su vez redundará en un incremento en las posibilidades de captura.

Cabe señalar que cada uno de los elementos que constituyen el sistema complejo de Ría de Lagartos es también una unidad compleja constituida por elementos interactivos. Regresando al ejemplo de la pesca, tenemos que ésta es una totalidad compleja donde intervienen diversos elementos, como son las diversas poblaciones de pescadores, con distintas características según sea su forma de asociación: cooperativados, libres y ejidales, que tienen acceso a la captura de diferentes especies, participan diferencialmente en el uso de la infraestructura urbana instalada y el capital productivo (fundamentalmente constituido por embarcaciones y artes de pesca). También participan como elementos constitutivos de la pesca, el



tamaño de la población humana, la estacionalidad, las condiciones del mercado, etc. Estos elementos interactúan entre sí, para manifestarse como un proceso unitario dentro de los límites establecidos para el sistema, y sirven también de base a la relación de éste con otros sistemas externos a su delimitación.

No pretendemos abarcar la totalidad de las relaciones o de las condiciones existentes o definidas dentro del ecosistema lagunar costero de Ría de Lagartos, sino solamente aquellos que pueden explicar la dinámica derivada de su dialecticidad. Hemos definido cuatro metaprocesos que regulan los elementos estructurados en el sistema complejo: la pesca, la extracción de sal, el turismo y los asentamientos humanos. En caso de materializarse la vocación definida de Refugio Faunístico, en un plan para su manejo, este sobre-determinaría los anteriores, actuando como interfase entre el nivel básico y los metaprocesos otorgando a la estructura una independencia relativa respecto de otros niveles.

Para su estudio se considera la génesis temporal de cada uno de los metaprocesos y sus tendencias de cambio tratando de establecer su grado de predictibilidad.

En términos de la escala temporal histórica, el año de 1941 representa el inicio del metaproceso de la sal, que es el que orienta y determina el conjunto del sistema. El inicio de los otros tres metaprocesos es posterior, pues si bien las pesquerías de bajo rendimiento tenían lugar desde mucho tiempo atrás y su producción (pescado seco-salado) era expendida fundamentalmente a embarcaciones cubanas o veracruzanas, su desempeño como actividad moderna se produce hace apenas 15 años, cuando la infraestructura carretera permitió la participación del producto fresco en el mercado regional o nacional.

Por su parte, si bien han existido asentamientos humanos en la ribera de la laguna por más de 2000 años, como es el caso de El Cuyo, en donde es posible encontrar depósitos de conchas



Foto de Agustín Estrada



resultantes de asentamientos temporales anteriores al Preclásico Maya, no es sino hasta el gran movimiento migratorio de los años cincuenta cuando los asentamientos humanos manifiestan sus tendencias actuales y comienzan a incidir en la dinámica del ecosistema.

Finalmente, para el turismo, que ha sido una actividad de menor importancia hasta los años recientes, en que la construcción de hoteles y dedicación de navíos a la transportación de visitantes implicó la vinculación de dicho proceso con los antes mencionados, la situación es similar en lo que se refiere al marco temporal. Como puede apreciarse, el uso moderno del ecosistema data de hace apenas 15 años.

Para estudiar la influencia de los metaprocesos en los elementos estructurados del sistema, se estudian tres aspectos básicos:

1. *Sobre el medio físico*; alterando el perfil ribereño de la laguna con el desarrollo urbano de los

asentamientos humanos, con el crecimiento de las áreas de asoleamiento de las salinas y con los embalses e instalaciones portuarias.

2. *Sobre el medio biológico*; con los efectos que se producen por la captura, el desmonte originado tanto por la actividad ganadera como por la expansión de las charcas salineras, la caza y recolección comercial de aves y tortugas marinas así como de sus huevos, la utilización de motores, la contaminación, las restricciones del flujo de agua y el crecimiento de las poblaciones humanas.

3. *Sobre el medio social*; modificando las formas de organización para la producción, la estructura de clase existente, las contradicciones entre los pescadores nativos y los recién llegados, las contradicciones entre pescadores y salineros.

Un segundo nivel del proyecto de investigación estará dedicado al contorno de los metaprocesos, es decir a las relaciones y modificaciones en la pesca, la producción salinera, el turismo y el asen-



Foto de Jorge Correa Sandoval



tamiento de poblaciones humanas que han inducido a cambios significativos en el nivel básico antes mencionado.

El tercer nivel referirá la vinculación de los metaprocesos con las políticas nacionales de desarrollo, las modificaciones del mercado internacional del henequén, la sal, el pescado, la internacionalización de los procesos productivos y la designación, en el proceso internacional de división del trabajo, de papeles específicos de ciertas regiones nacionales, es decir, las determinaciones externas de la dinámica de los metaprocesos.

### La constitución del equipo

Partiendo de nuestro enunciado teórico-metodológico y de la definición del sistema y sus características hemos iniciado la integración del equipo interdisciplinario, incorporando especialistas en hidrodinámica, biología y ecología marinas, antropología social y física, química, botánica, urbanismo, economía, zoología y administración. Para ello hemos establecido un buen número de relaciones interinstitucionales ampliando nuestra perspectiva y utilizando de manera mas eficiente los recursos disponibles para el proyecto.

Nuestro equipo es aún joven y su avance es lento, la organicidad de nuestro trabajo deberá incrementarse con la práctica integrada, la vida cotidiana en el proyecto, la discusión y, pronto, el trabajo de campo. Paulatinamente, conforme cada especialista ha iniciado su labor específica y se genera saber acerca de los elementos básicos, se ha iniciado el proceso de alejamiento de la mirada disciplinaria, sin que esto signifique que se haya alcanzado aun la integración, análoga al sistema, antes mencionada.

Quien menos ha aportado, por falta de comprensión de la base teórica, por deformación profesional o simplemente por el corto tiempo de su incorporación al proyecto, aún conserva la mirada especializada y se mueve con manifiesta independencia. Quienes más han aportado y tratan de explicar la naturaleza de la forma de relación entre su campo y los otros, han iniciado un profundo

proceso de transformación que poco a poco configura un nuevo estilo de trabajo.

Sorprendente ha sido para todos percatarnos que, conforme avanza el proyecto y las propuestas explicativas se integran, el equipo adquiere mayor presencia social y su actividad comienza a definirlo como un metaproceso y, por tanto en parte del objeto de estudio. De continuar esta tendencia, la existencia del sistema Ría de Lagartos quedará sobredeterminada por los resultados del proyecto y nosotros, sujeto colectivo, seremos transformados por la dialecticidad sistémica de esa totalidad estructurada. 

### Referencias

1. Toledo, Víctor y Cols. 1980 Las Purépechas de Patzcuaro: una aproximación ecológica. en: América Indígena Vol. XL. no. 1 enero-marzo.
2. Toledo, Víctor 1981 Intercambio Ecológico e intercambio económico en el proceso productivo primario. en: Leff Enrique (ed) Biosociología y articulación de las ciencias. UNAM, México.
3. Toledo, Víctor y Cols. 1984 Ecología y autosubsistencia alimentaria Siglo XXI editores.
4. García, Rolando 1986. Conceptos básico para el estudio de sistemas complejos, en: Enrique Leff (comp.) Los Problemas del Conocimiento y la Perspectiva Ambiental del Desarrollo. Siglo XXI.
5. Zamacona, E., J.; 1983 Estudio de prospección ecológica y factibilidad de explotación del estero de Río Lagartos, Yuc.; Universidad de Yucatán, Mérida, Copia fotostática.
6. Hernández, G.; M.A.; s/f Reproducción y tamaño de la población de flamencos en Yucatán (*Phoenicopterus ruber ruber* (LINNAEUS)); Esc. Nac. Cienc. Biol., I.P.N. México, Informe Técnico.
7. Flores, J.S., Espejel, I. & Omsted I (en prensa) Los tipos de vegetación potenciales de la Península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense, INIREB, Mérida, Yucatán, México.



# Aplicación de los compuestos de estaño como agentes antitumorales

*La preparación de nuevos compuestos organoestánicos, utilizados como agentes anti-tumorales, es una nueva línea de investigación del Departamento de Química del CINVESTAV.*

**Teresa Mancilla Percino**

## Introducción

El estaño ocupa el lugar número 50 de la tabla periódica de los elementos, en el mismo grupo que el carbono. En los derivados del estaño este elemento puede ser divalente o tetravalente, es decir, puede estar unido a dos o cuatro átomos vecinos. Además, los compuestos de estaño se pueden clasificar en tres grupos principales: a) sales de estaño inorgánicas, en las cuales el estaño está químicamente asociado con un elemento o grupo inorgánico; b) compuestos orgánicos de estaño, el metal está unido a un grupo orgánico a través de un elemento diferente del carbono y c) los compuestos organometálicos u organoestánicos, en los cuales el grupo orgánico se enlaza al estaño por medio de un átomo de carbono.

Los organometálicos de estaño pueden formar las series descritas en la Tabla 1.

TABLA 1

Series de compuestos organometálicos de estaño

| Sn (II) divalentes | Sn (IV) tetravalente            |
|--------------------|---------------------------------|
| SnRX               | SnRX <sub>3</sub>               |
| SnR <sub>2</sub>   | SnR <sub>2</sub> X <sub>2</sub> |
|                    | SnR <sub>3</sub> X              |
|                    | SnR <sub>4</sub>                |

Los grupos R pueden ser hidrocarburos alifáticos o aromáticos (sustituídos o no sustituídos, idénticos o diferentes) y los grupos X pueden ser electronegativos como: -OR, -SR, -OCOR, -OSnR<sub>3</sub>, -NR<sub>3</sub>, halógenos, H, o grupos electropositivos como algunos metales: Li, Na o Sn.

La Dra. Teresa Mancilla Percino es química de la UAP, maestra y doctora en ciencias (Química Orgánica) del CINVESTAV. Es profesora titular del Departamento de Química del CINVESTAV. Su campo de investigación es la síntesis y análisis de compuestos de boro y estaño que son de interés biológico.



El estaño, considerado como un metal precioso desde la antigüedad, fue por mucho tiempo el único metal usado para hacer recipientes para alimentos porque no influía en el gusto y sabor de la carne y bebidas. En 1810, durante la guerra napoleónica, se desarrollaron las latas de estaño con la idea de preservar los alimentos. Alrededor de 50 años más tarde, el uso de la comida enlatada se inició en los Estados Unidos y se extendió a través del mundo<sup>1</sup>. La química de los compuestos organoestánicos se inició en la mitad del siglo pasado cuando Edward Frankland reportó la síntesis del diiododietilestaño ( $\text{Et}_2\text{SnI}_2$ ), que fue el primer compuesto organoestánico que se conoció.

A pesar de este temprano esfuerzo, el desarrollo de la química del estaño comenzó en 1949, cuando se descubrió que los compuestos organoestánicos podían aplicarse como estabilizadores de polímeros y más tarde como fungicidas<sup>2</sup>. Desde 1965 se incrementó el interés científico sobre los aspectos básicos y aplicados de la química del estaño y actualmente esta área constituye uno de los grandes temas de la química moderna.

La gran mayoría de los compuestos organoestánicos tienen aplicación práctica; por ejemplo, los del tipo  $\text{R}_2\text{SnX}_2$  y  $\text{RSnX}_3$  se utilizan como excelentes estabilizadores de polímeros, como es el caso del cloruro de polivinilo<sup>3</sup>. Los compuestos de estaño del tipo  $\text{R}_3\text{SnX}$  tienen su mayor uso como fungicidas. El primero de los trabajos que se ocuparon de las propiedades biológicas de los compuestos triorganoestánicos fue desarrollado por van der Kerk y Luijten<sup>4</sup>, quienes descubrieron la alta actividad fungicida de los compuestos tributil y trifenilestaño. Los derivados de estaño se preparan a escala industrial y su producción mundial anual es del orden de 60,000 toneladas<sup>5</sup>.

### Compuestos organoestánicos como agentes antitumorales

El estaño es un elemento ampliamente distribuido en el agua, tierra, plantas y por ende en la cadena alimenticia de los mamíferos. El estaño, tanto orgánico como inorgánico, presente en el organismo humano entra por la cadena alimenticia natural y

también por el consumo de alimentos enlatados. La concentración en carne fresca, pescado, cereales y vegetales oscila entre 0.1 y 1.0 mg de estaño por kg de peso. Se ha estimado que el contenido de estaño en los mamíferos se encuentra relacionado con la localización geográfica y la edad; los órganos con mayor contenido son el timo y el bazo que también son relevantes en la respuesta inmune de los sistemas biológicos<sup>6,7</sup>. La administración de algunos compuestos organoestánicos produce efectos adversos en el sistema inmunológico<sup>7</sup>, en tanto que otros poseen propiedades anticancerígenas<sup>8</sup>. Durante los últimos catorce años se han hecho enormes avances en el campo de la quimioterapia del cáncer<sup>9</sup>. Las primeras investigaciones sobre la actividad antitumoral de los compuestos inorgánicos datan de 1929, cuando Krause mostró que algunos compuestos organometálicos derivados del plomo mostraron actividad contra el cáncer en los ratones<sup>10</sup>.

Durante el período de 1944 a 1968 se probaron aproximadamente 150,000 compuestos en el Instituto Nacional del Cáncer de los Estados Unidos y otras organizaciones, de los cuales menos de 20 no contenían enlaces metalcarbono<sup>11</sup>. Los primeros estudios concernientes a los compuestos organometálicos de estaño también datan de 1929<sup>10</sup>. Los compuestos de estaño que se probaron en ese entonces contra el cáncer transplantado en ratón desgraciadamente resultaron inactivos.

En 1969, Rosenberg y sus colaboradores<sup>12</sup> descubrieron que ciertos complejos de platino con aminas son potentes agentes contra tumores de sarcoma 180 y leucemia L1210 en los ratones. Este extraordinario descubrimiento es considerado como una de las aplicaciones más notables de los compuestos metálicos en el campo de la medicina; esto abrió una febril y sistemática investigación de las propiedades antitumorales de otros derivados orgánicos de diversos metales con mejores propiedades terapéuticas<sup>11</sup>.

Entre los primeros complejos de platino descubiertos por Rosenberg está el cisplatino(II) (figura 1a); esta es una molécula muy simple, de estructura plana y en la cual existen dos moléculas de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) ligadas al platino. La característica de esta molécula es que las dos moléculas de amoníaco están contiguas formando un ángulo de 90 grados; resulta



interesante que en una molécula análoga en la que los grupos amoniacos forman ángulos de 180 grados como en el transplatino (figura 1 b) no se presenta la actividad anticancerígena. Lo cual muestra la importancia de la estructura química en las propiedades antitumorales.

El cisplatino exhibe actividad hacia un gran número de tumores, siendo particularmente potente en el tratamiento de cánceres de testículo y ovario. Ya para 1986 el cisplatino fue la droga anticáncer más vendida en el mundo. Esta sustancia es el primer miembro de una nueva clase de drogas potentes usadas en la quimioterapia del cáncer.

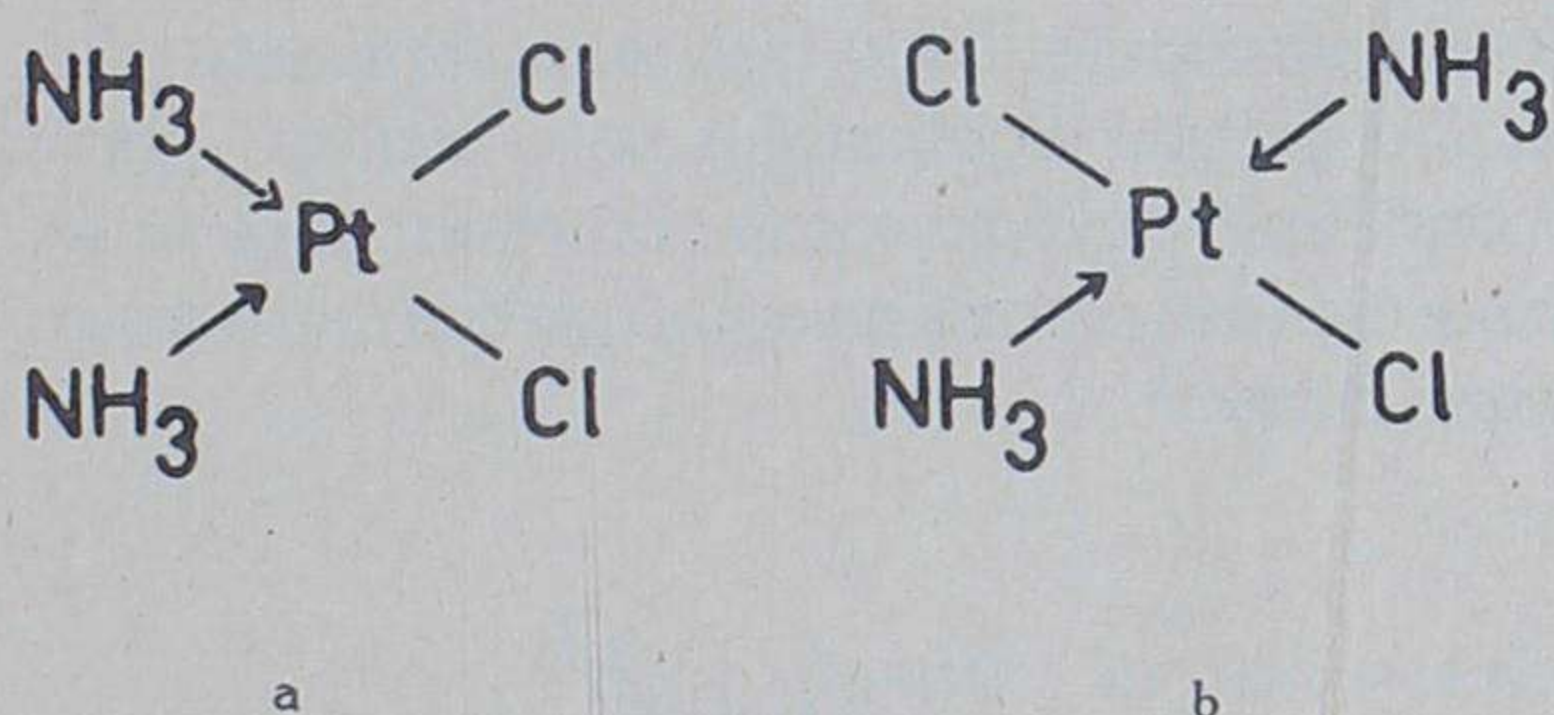


Figura 1

Se estima que en el período de los diez años siguientes al descubrimiento de Rosenberg más de 11,000 compuestos de 55 metales fueron probados para la actividad antitumoral<sup>13</sup>.

Las investigaciones recientes sobre la actividad de los complejos de platino han dado como resultado la identificación de los complejos de platino llamados de la segunda generación, tales como el carboplatino y el iproplatino (figura 2). Estos compuestos poseen mayor índice terapéutico que el cisplatino y reducen sus efectos colaterales, en particular la eliminación de su toxicidad renal, pérdida del oído y disminución de náusea y vómito<sup>15</sup>.

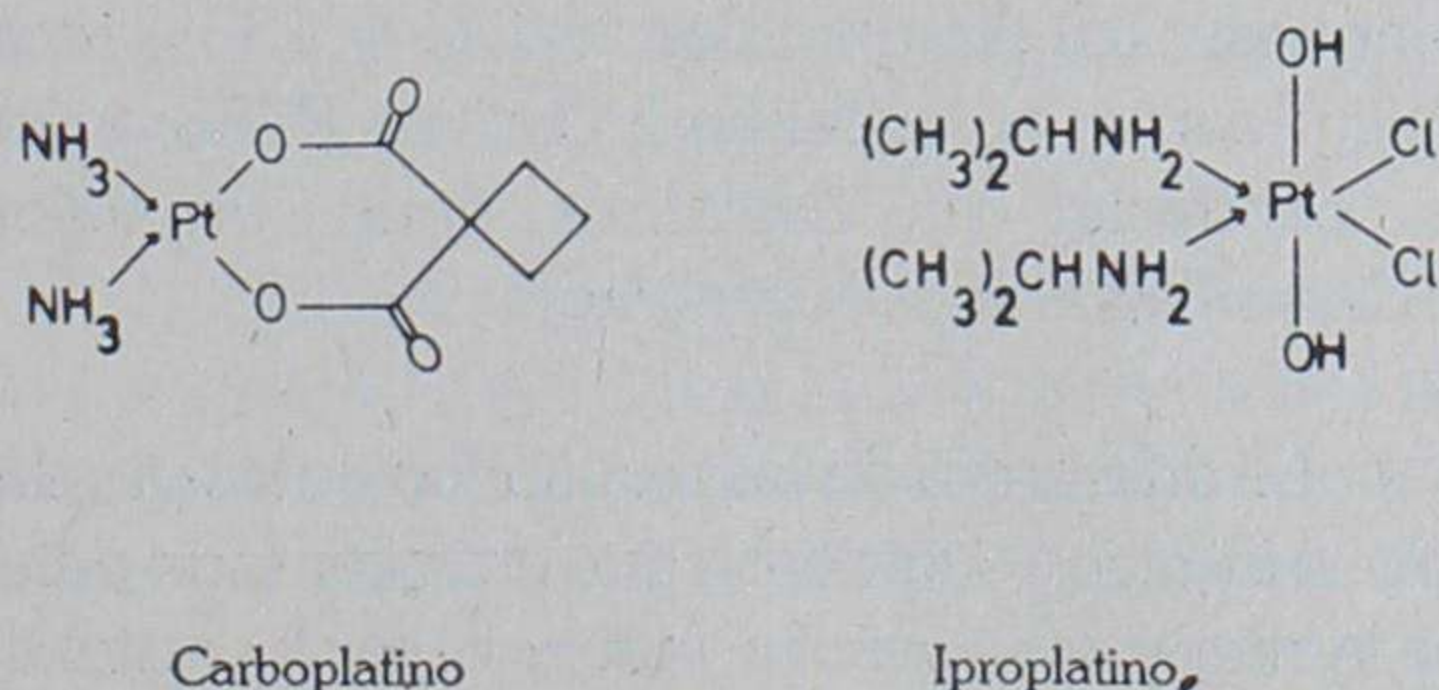


Figura 2

El primer estudio sistemático de compuestos organoestánicos como agentes antitumorales fue llevado a cabo por el Instituto de Química Orgánica de Utrecht en Holanda, entre 1973 y 1977, apoyado por el Instituto Internacional del Estaño. De múltiples derivados probados en la actividad antitumoral únicamente 13 resultaron activos y sus actividades resultaron insuficientes para justificar o garantizar pruebas adicionales<sup>15</sup>. De los compuestos diorganoestánicos R<sub>2</sub>SnX<sub>2</sub>, aquellos que tienen dos enlaces carbonoestaño han sido los más estudiados. Aproximadamente el 50% de estos compuestos mostraron<sup>16</sup> actividad contra la leucemia linfocítica P388, pero en general sus actividades fueron bajas si se comparan con los del platino que generalmente dan valores de T/C<sup>17</sup> mayores al 300%. Los compuestos de estaño más activos dieron valores de T/C de 175-200%.

Una aproximación más sistemática al estudio de los compuestos de estaño como agentes antitumorales fue preparar compuestos de estructuras similares a los complejos de platino activos<sup>8,18</sup>. El cisplatino tiene una estructura geométrica plana (figura 1 a), que en los compuestos de estaño no se observa; no obstante, pueden existir complejos de platino y estaño similares de estructura geométrica octaédrica. Por lo tanto, Crowe y sus colaboradores<sup>19</sup> diseñaron complejos diorganoestánicos del tipo R<sub>2</sub>SnX<sub>2</sub>L<sub>2</sub> con las siguientes características: a) dos substituyentes en el estaño (L) con átomos de nitrógeno y b) dos grupos (X) que fueran fácilmente hidrolizables, es decir fácilmente separables del metal por acción del agua, ya que se ha demostrado que la actividad del cisplatino está relacionada con su velocidad de hidrólisis *in vivo*<sup>20</sup>. Estos grupos pueden ser cloruros, bromuros, carboxilatos, etc.,. Casi el 50% de estos complejos presentaron actividad hacia la leucemia linfocítica P388 en ratones, sin embargo, fueron inactivos contra otras clases de tumores<sup>5</sup>. Recientemente, dos de estos complejos (figura 3) mostraron actividad hacia el adenocarcinoma renal<sup>21</sup>.

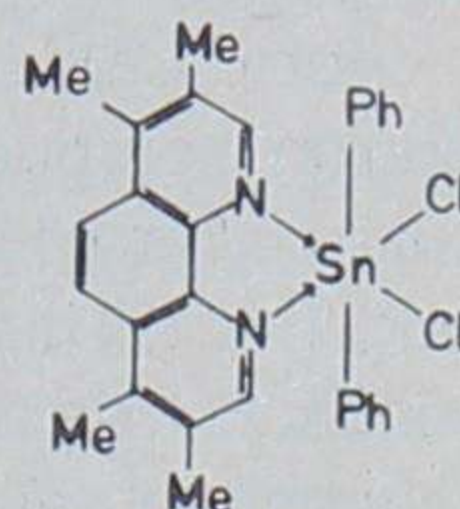
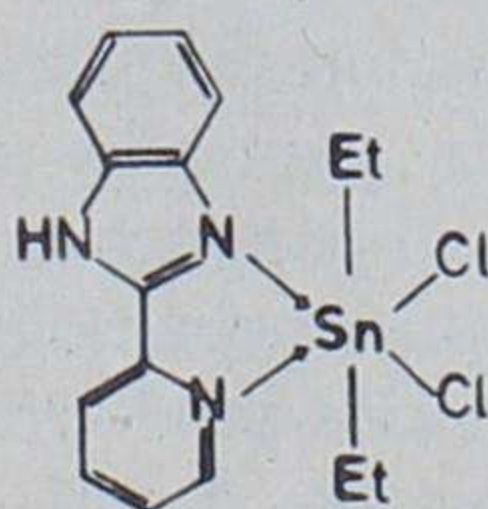
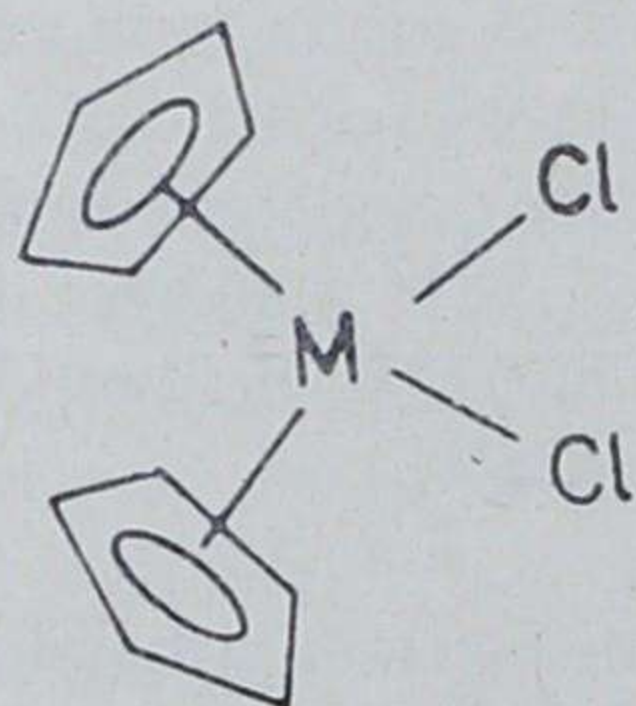


Figura 3



De los datos de las estructuras obtenidas por difracción de rayos para los complejos octaédricos de estaño, se observó que no existe una correlación entre la geometría y la actividad antitumoral, pues los compuestos con la misma geometría tienen diferente actividad. En contraste con la actividad antitumoral de los diclorometalocenos<sup>22</sup> (figura 4) como la del cisplatino, que sí ha podido ser relacionada, por ejemplo, con la magnitud del ángulo de enlace entre los átomos de cloro y el metal Cl-M-Cl, se encontró que los compuestos son activos si el ángulo es menor de 95°.



M = Titanio, Vanadio, Niobio, Molibdeno, Hafnio y Zirconio

Figura 4

De los datos de la estructura obtenida del análisis de difracción de rayos-X de cristales de los derivados de estaño  $R_2SnX_2L_2$  activos e inactivos, se mostró que la magnitud del ángulo de enlace X-Sn-X no tiene un efecto en la actividad. No obstante, un examen adicional de los datos de las longitudes de enlace estaño-nitrógeno reveló que las sustancias activas tienen un promedio de longitud de enlace estaño-nitrógeno mayor de 2.39 Å y por lo tanto un enlace estaño-nitrógeno débil. Esta observación sugirió que los complejos más estables (enlace SnN más fuerte, de menor longitud) no tienen actividad, lo cual implica que la ruptura del enlace estaño-nitrógeno puede ser un paso importante en el modo de acción de los complejos de estaño<sup>19</sup>.

Otro estudio sistemático en la preparación de los compuestos organoestánicos ha sido llevado a cabo por Cardarelli y colaboradores<sup>8</sup>, quienes prepararon compuestos de estaño derivados de hormonas esteroideas que resultaron potentes anticancerígenos. El diseño de los compuestos partió del conocimiento de que tres sustancias producidas naturalmente en el timo y liberadas en el sistema

linfático son anticancerígenos *in vitro*<sup>23</sup>, dos de ellas son complejos de estaño con proteínas y la otra un complejo de estaño y colesterol<sup>24</sup>.

Por otra parte, se han preparado muchos compuestos diorganoestánicos que han sido probados contra la leucemia linfocítica P388, en los cuales el estaño puede estar unido al oxígeno, nitrógeno o azufre.

Entre los compuestos con enlaces SnN se encuentra el glicilglicinatodioctilestaño (figura 5), el cual da un valor de T/C = 132%. Es el único derivado dioctilestaño hasta ahora reportado que muestra actividad<sup>25</sup>. Este resultado por sí mismo resulta sorprendente, dado que los compuestos dioctilestaño y otros alquilestaño con cadena grande se consideran biológicamente mucho menos activos por ser menos solubles en agua que sus análogos con cadena corta.<sup>21</sup>

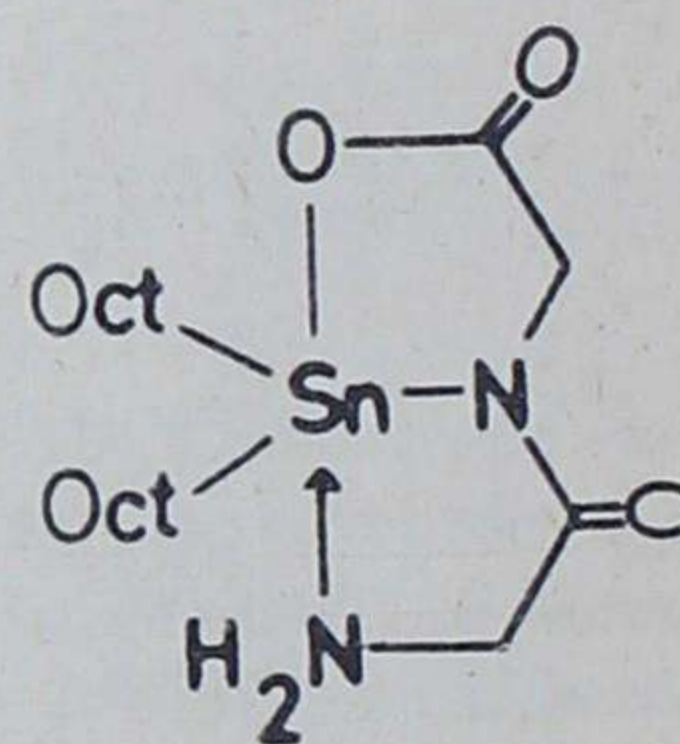
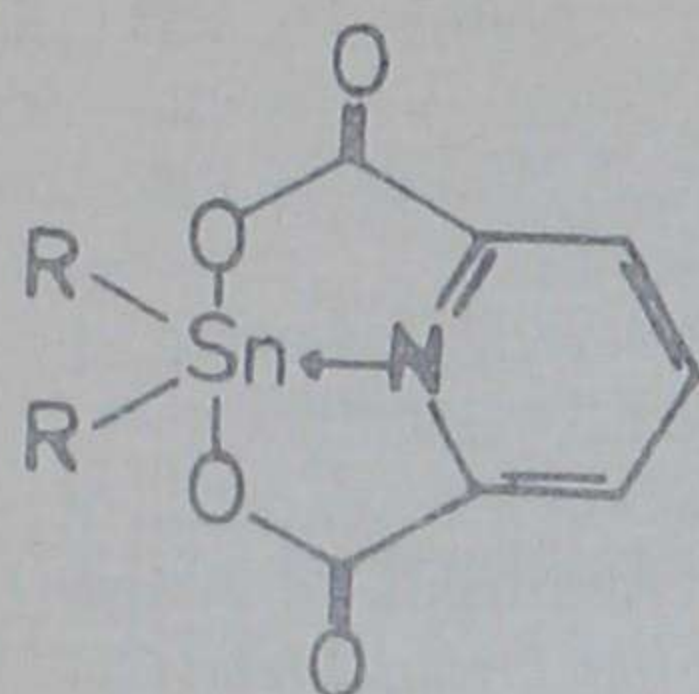


Figura 5

También se han probado cuatro compuestos diorganoestánicos, derivados del ácido 2,6-piridindicarboxílico de estructura bicíclica (figura 6); tres de estos compuestos (b, c y d) fueron más activos que el cisplatino *in vitro* contra las leucemias L1210, P388 y P815, melanoma B16 y carcinoma de pulmón<sup>26</sup>. Con respecto a la actividad *in vivo*, el compuesto (b) dio un valor de T/C = 135% (dosis 15 mg/kg) contra la leucemia linfocítica P388 en ratón. En contraste, el cisplatino tiene un valor de T/C = 298% (dosis 2 mg/kg).

La diferencia de los resultados de las pruebas *in vitro* e *in vivo* sugirieron que era necesario determinar la mejor manera de hacer llegar la sustancia al sitio de acción, para mejorar la actividad.





R = Me(a), n-Bu(b), t-Bu(c), Ph(d),

Figura 6

Entre otros compuestos de estaño con enlaces SnO se ha preparado una serie de derivados de la piridoxina (vitamina B6), cortexolona y eritromicina. De las pruebas *in vitro*, de estos compuestos, el dibutiles- taño derivado de la piridoxina resultó ser el más activo de los tres contra las leucemias L1210, P388 y P815<sup>27</sup>.

Como se puede observar, los compuestos de estaño diseñados para la actividad antitumoral están basados en diferentes criterios y poseen por lo tanto diferentes estructuras químicas. Para poder desarrollar la investigación farmacológica es prerequisite indispensable haber investigado profundamente la síntesis, el comportamiento químico y la estructura de los compuestos de estaño.

La química orgánica del estaño muestra grandes perspectivas por sus diversas aplicaciones industriales, así como la importancia del estaño en el organismo humano, lo cual ha dado origen a muchas investigaciones en toxicología. A partir de 1983 Cardarelli y Sherman decidieron reunir a los investigadores interesados en las funciones biológicas del estaño y en los efectos de los compuestos organoestánicos sobre células malignas debido a la importancia que tiene el estaño en el organismo humano y que actúa de una manera desconocida en la profilaxis del cáncer<sup>28</sup>.

Dichas reuniones internacionales se han realizado en 1984, 1985, 1986 y 1988 con diversos temas de interés como: bioquímica del estaño, síntesis de nuevos compuestos anticáncer, toxicología de los compuestos de estaño, pruebas de las drogas y el efecto del estaño sobre células cancerosas.

Como se puede observar, actualmente existe un gran interés por parte de varios investigadores en el mundo por preparar nuevos compuestos de estaño con mejores propiedades antitumorales y conocer el modo de acción de éstos. Si bien el cisplatino es una droga usada ampliamente en la quimioterapia del cáncer resulta muy cara, sobre todo en México que el cáncer ocupa el cuarto lugar de mortalidad, las drogas usadas para dicho tratamiento son importadas y no están disponibles para muchos pacientes. En general los compuestos de estaño son más baratos que los de platino.

Actualmente la preparación de nuevos compuestos organoestánicos y el uso de ellos contra enfermedades neoplásicas es una línea nueva de investigación en México que se está desarrollando en el Departamento de Química por la autora.

## Notas

1. K.A. Winship, MRCP, MFCM, DCH, Adv. Drug React. Ac. Pois. Rev. 1, 19 (1988).
2. P. Newman. 'The Organic Chemistry of Tin', John Wiley & Sons 2 (1970).
3. A.G. Davis y P.J. Smith. "Tin". Comprehensive Organometallic Chemistry. Ed. G. Wilkinson, Pergamon Press, Nueva York, (1982).
4. G.J. M van der Kerk y J.G.A. Luijten, J. Appl. Chem. 4 314 (1954).
5. A.J. Crowe en Metal-Based Anti-Tumour Drugs. Ed. M. Gielen, Freund Publishing House LTD, 110 (1988).
6. S.G. Schäfer y U. Femfert. Reg. Tox and Pham. 4 57 (1984).
7. L.R. Sherman, Rev. Si, Ge, Sn and Pb comp. 9, 323 (1986).
8. N.F. Cardarelli y S.V. Kanakkanatt, sep 17. U.S. Patent. 4, 541, 956 (1985); F. Huber et al., J. Chem. Soc. Dalton Trans. 523 (1985); A.J. Crowe, P.J. Smith y G. ATassi, Chem. Biol. Interact. 32, 171 (1980).
9. S.G. Ward y R.G. Taylor, Metal-Based Anti-tumour Drugs, Ed. M. Gielen, Freund Publishing House LTD 2 (1988).
10. E. Krause, Ber 62, 135 (1929).
11. M.J. Cleare, Coord. Chem. Revs. 12, 349 (1974).
12. B. Rosenberg, L. van Camp, J.E. Trosko y V.H. Mansour, Nature, 12, 385 (1960).
13. P.M. May, R.A. Bulman, Progress in Medicinal Chemistry, G.P. Ellis y G.B. West Eds. Elsevier Science Pub. B.V. 20, 225 (1983).
14. B.A. Murrer, Plat. Met. Rev. 28 168 (1984).
15. A.J. Crowe. PhD. Thesis London University (1980).



16. V.L. Nayaran 'Structure activity relationships of antitumour agents' Ed. D.N. Reinholdt, T.A. Connors, H.M. Pinedo y K.W. van de Poll, Martinus Nijhoff. The Hague (1983).
17. T/C es la relación del tiempo de supervivencia (en días de los ratones tratados (T) y los no tratados (C). Un compuesto se considera activo si la relación T/C es mayor o igual a 120%.
18. A.J. Crowe, P.J. Smith, Chem. Ind., 200 (1980); *ibid*, *Inorg. Chim. Acta*, **93** 179 (1984).
19. A.J. Crowe, P.J. Smith, C.J. Cardin, H.E. Parge y F.E. Smith. *Cancer Letters* **24**, 45 (1984).
20. P.J. Sadler, Chem. Brit 18 182 (1982); A.T.M. Marcelis, J. Reedyk, *Recl. Trav. Chim. Pays. Bas* **102** 121 (1983).
21. G. Atassi, Rev. Si, Ge, Sn and Pb comp. 8 219 (1985).
22. H. Köpt y P. Köpt Maier, Platinum, Gold and other metal chemotherapeutic agents chemistry and biochemistry, ACS Symp. Ser. 209, Ed. S.J. Lippord, Washington D.C. (1983).
23. S.M. Milcu, I. Potop. R. Holban Petresco, V. Boeru, E. Ghinea y C. Tasca. *Neoplasma* **16**, 433 (1969).
24. S.M. Milcu y T. Potop. Rev. Roum. Edocrinol 8, 78 (1971); L.R. Sherman, J. Marters, R. Peterson y S. Levine, *J. Anal. Tox.* **10**, 6 (1986).
25. R. Barbieri, L. Pellerito, G. Ruisi y M.T. Lo Giudice, *Inorg. Chim. Acta*. **66** L39 (1982).
26. M. Gielen, E. Joosen, T. Mancilla, K. Jurkschat, R. Willem, C. Roobal, J. Bernheim, G. Atassi, F. Huber, H. Preut y B. Mahieu, *Main Group Metal Chemistry* **10** 147 (1987).
27. M. Gielen, R. Willem, T. Mancilla, J. Ramharter y E. Joosen, *Rev. Si, Ge, Sn, Pb comp.* **9**, 307 (1986); M. Gielen, L.D. Clercq, R. Willem y E. Joosen en 'Tin as a vital nutrient: implications in cancer prophylaxis and other physiological Processes; Ed. N.F. Cardarelli, C.R.C. Press Cleveland (1986).
28. N.F. Cardarelli, *Rev. Si, Ge, Sn, Pb comp.* **9** 307 (1986).

## Segundo taller de partículas y campos

La División de Partículas y Campos de la Sociedad Mexicana de Física (SMF) y la Universidad Autónoma de Puebla (UAP) invitan cordialmente a todos los interesados en el área a participar en el Segundo taller de la División, que se celebrará en el Museo Universitario de la UAP, del 13 al 17 de noviembre de 1989.

Los cursos que se impartirán son:

"Perturbative QCD"

Hallsie Reno, CINVESTAV

"Tópicos de la Física Experimental de partículas elementales"

Gerardo Moreno, IF-U. de Guanajuato,

y Luis Manuel Villaseñor, ECFM-UMSNH

"Soluciones exactas en relatividad general"

Humberto Salazar I., ECFM-UAP,

y Nora Eva Bretón B., CINVESTAV/ICUAP.

Para mayor información, comunicarse con:

Raúl Pérez Marcial

y

Esc. de Físico-Matemáticas

UAP

Ap. Postal 1364

72000 Puebla, Pue.

Rebeca Juárez W.

Esc. Superior de Física y Matemáticas

IPN

Ap. Postal 75-702

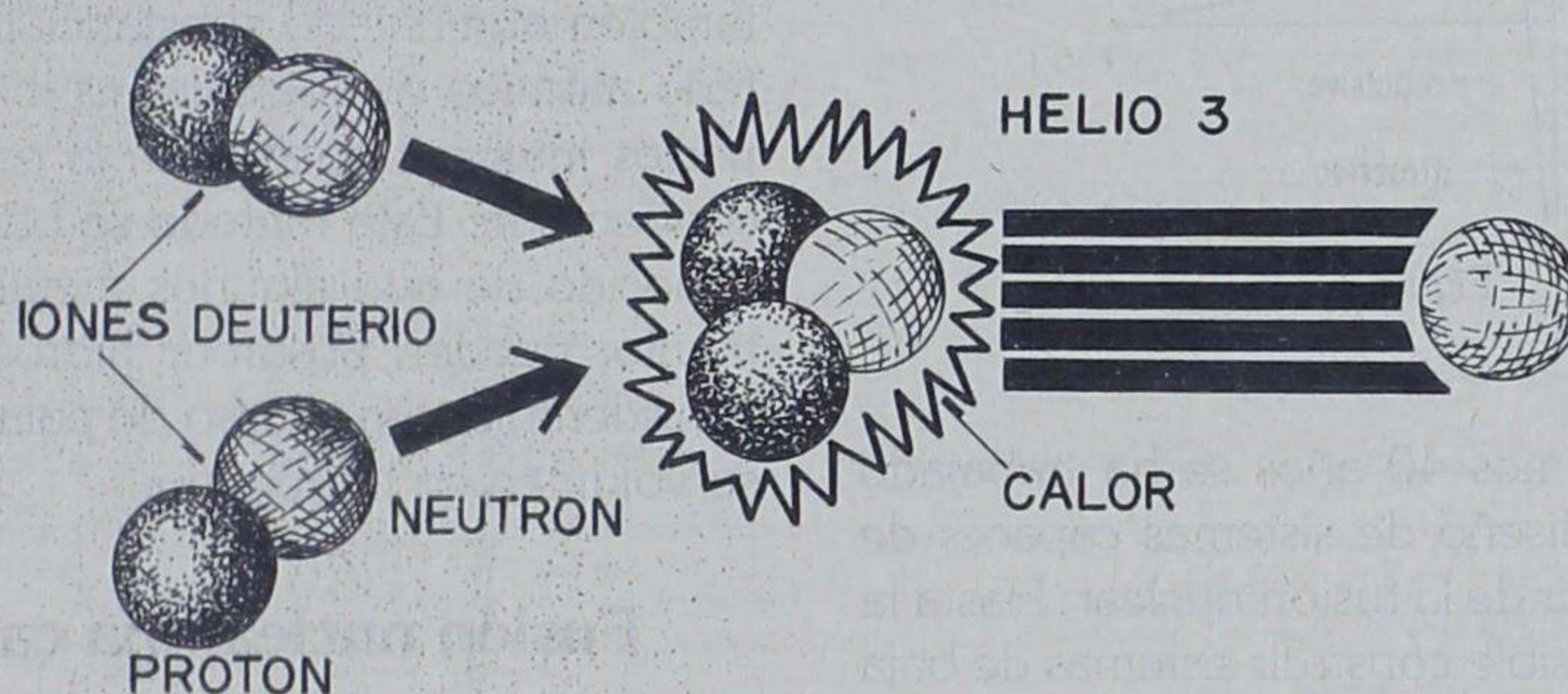
07738 México, D.F.

Tels. 586-06-86 y 586-28-28



*Avances de Ciencia y Tecnología***Fusión nuclear fría**

Si las reacciones nucleares de fusión ocurren realmente a temperatura ambiente--"fusión nuclear fría"--, ¿pueden ser una fuente de energía cuya importancia tecnológica sea considerable?



**Jesús González Hernández**

**Antecedentes**

En una reacción de fusión nuclear, dos núcleos ligeros, los cuales son partículas cargadas, se aproximan lo suficiente para que las interacciones nucleares que son de corto alcance provoquen su fusión y formen un único núcleo. Durante el proceso de fusión la energía debe conservarse, por lo que la reacción puede producir partículas, radiación y energía térmica. Para fusionar dos núcleos es necesaria una gran cantidad de energía para vencer la fuerte repulsión mutua entre

los núcleos. En experimentos de laboratorio, esta energía es obtenida de enormes aceleradores, potentes láseres o de plasmas con temperaturas mayores que las encontradas en el centro de nuestro sol.

A grandes distancias, la energía potencial repulsiva ( $V$ ) entre dos núcleos, siendo de tipo coulombiano, depende inversamente de la distancia ( $r$ ) que los separa, por lo tanto aumenta cuando  $r$  disminuye. Sin embargo, para distancias próximas a cero, el potencial cambia abruptamente de uno altamente repulsivo a otro fuertemente atractivo. Así, para que dos núcleos se fusionen deberán vencer la barrera repulsiva, lo que ocurre por el fenómeno conocido como tunelamiento. En este fenómeno, dos núcleos próximos, sintiendo la acción repulsiva del potencial, pasan instantáneamente a su parte atractiva para fusionarse. Este proceso ocurre con una probabilidad que aumenta conforme se disminuye  $r$ . Esta situación

El Dr. Jesús González Hernández realizó sus estudios de licenciatura en física en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN, su maestría en ciencias (Física) en el CINVESTAV y su doctorado en física en la Universidad de Campinas, Brasil. Es profesor titular del Departamento de Física del CINVESTAV. Su campo de investigación es el estudio experimental de semiconductores cristalinos y amorfos.



es mostrada en forma esquemática en la figura 1. La línea gruesa continua ilustra la forma del potencial  $V$ , repulsivo para distancias mayores que una distancia crítica. Los núcleos  $N$  tunelean la barrera de potencial para fusionarse.

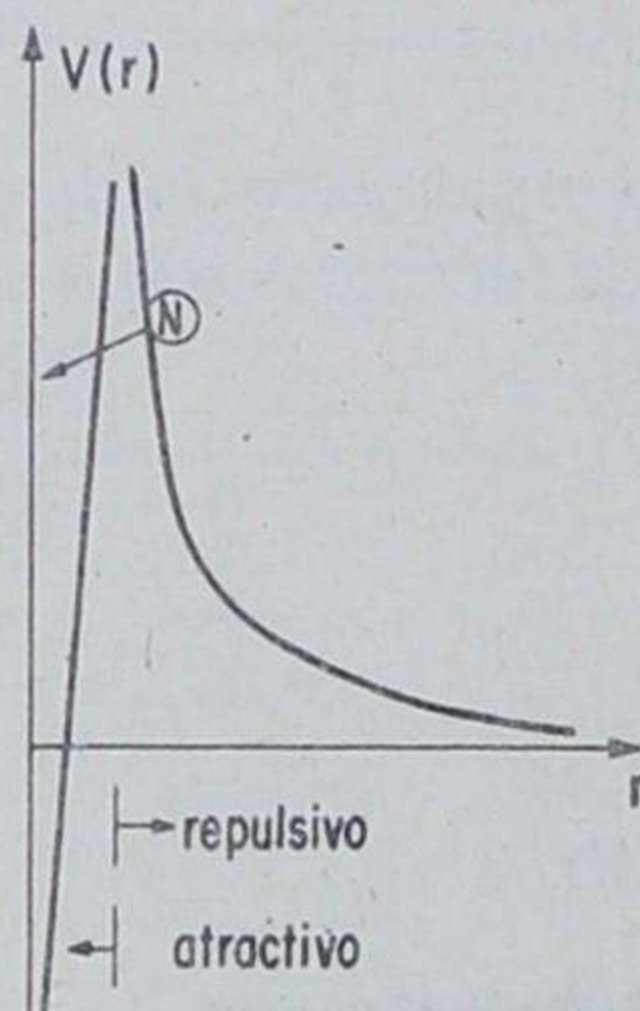


Figura 1

Durante los últimos 40 años se ha trabajado afanosamente en el diseño de sistemas capaces de generar energía a partir de la fusión nuclear. Hasta la fecha, solo ha sido posible construir sistemas de baja eficiencia, complicados y costosos. Paralelamente, científicos de diversas regiones del mundo han establecido algunas bases teóricas y experimentales para producir fusión nuclear en condiciones de presión y temperatura terrestres. En 1926 los científicos alemanes Fritz Paneth y Kurt Peters describieron un método para producir fusión nuclear a temperatura ambiente utilizando paladio; un año más tarde admitieron haber cometido errores de procedimiento y se retractaron públicamente. En 1951 Juan D. Perón, siendo Presidente de Argentina, declaró que un grupo de científicos argentinos había producido energía nuclear a temperatura ambiente utilizando materiales baratos. Este proyecto fue completamente desacreditado y Ronald Richter, director del proyecto, arrestado. En 1956 el físico estadounidense Luis Alvarez reportó haber alcanzado fusión nuclear a bajas temperaturas; sin embargo, el proceso era demasiado lento para ser considerado como una opción real para la generación masiva de energía.

Se sabe también que en el interior de las estrellas, con temperaturas de millones de grados centígrados, la fusión de núcleos de hidrógeno isotópico es la principal fuente de producción de energía. A temperaturas relativamente bajas, como las de la

superficie de la tierra, los núcleos son acompañados por sus nubes electrónicas y las distancias a que se aproximan no son menores que las permitidas por la barrera coulombiana. Así por ejemplo, bajo condiciones terrestres, en la fusión nuclear en deuterio molecular, donde la separación entre núcleos (deuterones) es de  $0.74\text{\AA}$ , el número de fusiones nucleares en un litro de gas ha sido estimado en aproximadamente  $10^{-46}$  por segundo. Sin embargo, si un electrón en deuterio molecular es reemplazado por una partícula de mayor masa, la razón de fusión aumenta considerablemente. Similarmente, de acuerdo con reportes recientes, el número de fusiones nucleares de deuterio puede ser también aumentado substancialmente cuando deuterio atómico o molecular es introducido en los espacios intermoleculares en la estructura de materia condensada. Este método se basa en el hecho bien conocido de que algunos metales, como paladio y titanio, pueden absorber hidrógeno en volúmenes considerables; en el caso de paladio hasta 900 veces su volumen en hidrógeno.

### Fusión nuclear fría catalizada por muones

Los muones son partículas elementales, que se producen en la naturaleza por el choque de los rayos cósmicos con las capas atmosféricas o artificialmente por la colisión de un haz de iones energético con un blanco sólido, por ejemplo carbono. Estas partículas pueden tener carga eléctrica positiva o negativa. Un muón negativo tiene propiedades bastante semejantes a las de un electrón pero su masa es 207 veces mayor. En lo que sigue será discutido como al reemplazar un electrón por un muón en una molécula de deuterio, la probabilidad de fusión nuclear aumenta en muchos órdenes de magnitud. Esta posibilidad fue por primera vez sugerida por F.C. Frank y A.D. Sakharov en la segunda mitad de la década de los 40 y por primera vez observada experimentalmente por Luis Alvarez pocos años más tarde.

Un núcleo de hidrógeno ordinario está formado por un protón, una partícula masiva con carga positiva. En deuterio (D), el núcleo es un protón y un neutrón (n), este último ligeramente más masivo y sin carga eléctrica. En tritio, el núcleo es un protón y dos neutrones. En cada caso el núcleo es orbitado por un electrón. Como los átomos de hidrógeno, los átomos



de deuterio y tritio se combinan para formar moléculas. En cada molécula, los dos núcleos están ligados por los electrones, los que forman una nube electrónica en torno de los núcleos. Cuando un muón negativo viaja a través de una mezcla gaseosa de deuterio y tritio, será gradualmente frenado por colisiones con los electrones de las moléculas. Algunas de estas colisiones desplazan electrones de sus órbitas moleculares. Así, un muón viajando a una velocidad suficientemente baja, desplazará un electrón y simultáneamente será capturado en una órbita en torno al núcleo. De acuerdo con las leyes de la física atómica, el radio de la órbita más estable de una partícula ligada a su núcleo es proporcional al inverso de su masa. Ya que el muón es 207 veces más masivo que el electrón, el radio de su órbita será 207 veces menor que la del electrón.

En el momento que el muón se incorpora a la molécula que invade (figura 2a), ésta se rompe y el muón al igual que el núcleo que orbita (átomo muónico) emergen con una pequeña velocidad. Como el átomo muónico (figura 2b) es pequeño, eléctricamente neutro y se mueve libremente en la mezcla gaseosa, fácilmente penetra la nube electrónica de las moléculas del gas. Cuando se aproxima a un núcleo de deuterio en una de las moléculas, se combina con éste para formar lo que se llama una molécula muónica (figura 2c). Debido a la mayor masa de la molécula muónica la aproximación de los dos núcleos es mucho mayor

(207 veces) que en la molécula ordinaria. Esto, como fue mencionado precisamente, aumenta la probabilidad de que los dos núcleos de deuterio se combinen para formar un átomo de Helio y un neutrón libre, este proceso de fusión también libera energía térmica (figura 2d).

En este tipo de reacción nuclear catalizada por muones, el número de fusiones nucleares observadas en un litro de gas en condiciones atmosféricas normales es de aproximadamente 10 por segundo. Además, si se considera que la reacción arriba descrita se lleva a cabo en un tiempo de aproximadamente unas décimas de microsegundos, y que el tiempo de vida del muón es de algunos microsegundos, cada muón puede catalizar aproximadamente 100 fusiones nucleares. Sin embargo, todavía en la actualidad, el costo energético para producir un muón en el laboratorio es el equivalente al obtenido en 250 fusiones nucleares, lo que hace que el proceso sea económicamente desfavorable.

### Fusión fría catalizada por materia condensada

Aunque, como ya se mencionó anteriormente en este artículo, algunas evidencias de fusión nuclear fría en el seno de materia condensada fueron reportadas en décadas anteriores, el anuncio de los químicos B. Stanley Pons y Martín Fleischmann, el 23 de marzo del presente año, despertó un gran furor al declarar ante la prensa que habían alcanzado la fusión nuclear fría utilizando equipo encontrado en la mayoría de los laboratorios de química de escuelas secundarias.

La figura 3 muestra en forma esquemática el arreglo experimental utilizado por Pons y Fleischmann en los laboratorios de la Universidad de Utah. El experimento original consistió en aplicar una diferencia de potencial de algunos Volts ( $\approx 10V$ ) entre dos electrodos, uno de paladio (electrodo positivo o ánodo) y otro de platino (electrodo negativo o cátodo), ambos inmersos en agua pesada conteniendo iones de litio. El agua de mar contiene aproximadamente 1 parte en 7000 de agua pesada. La molécula de agua pesada ( $D_2O$ ) está formada por dos átomos de deuterio, en lugar del hidrógeno en agua normal, y uno de oxígeno. La diferencia de potencial produce una densidad de corriente de algunas decenas de Ampere por centímetro

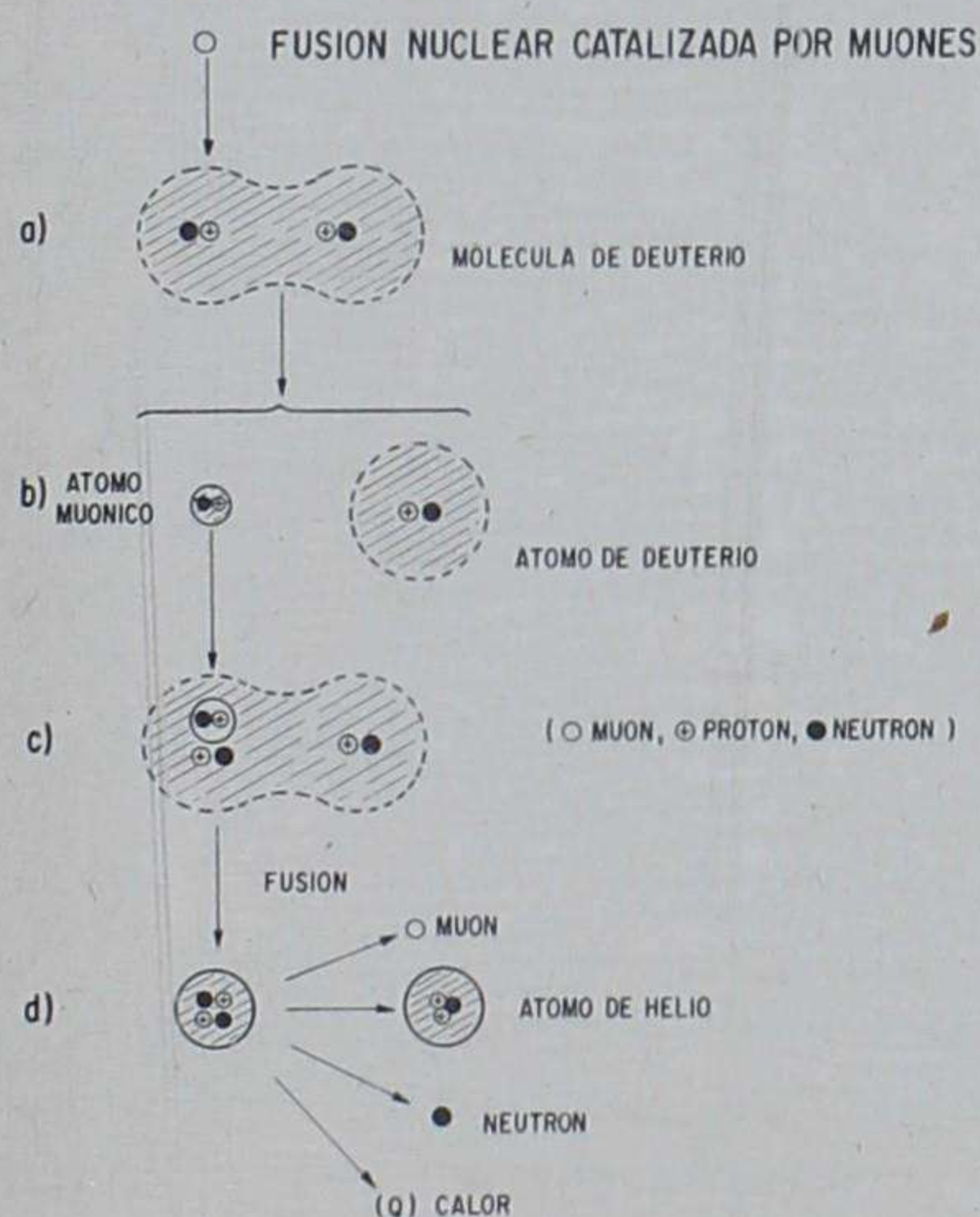


FIG. 2



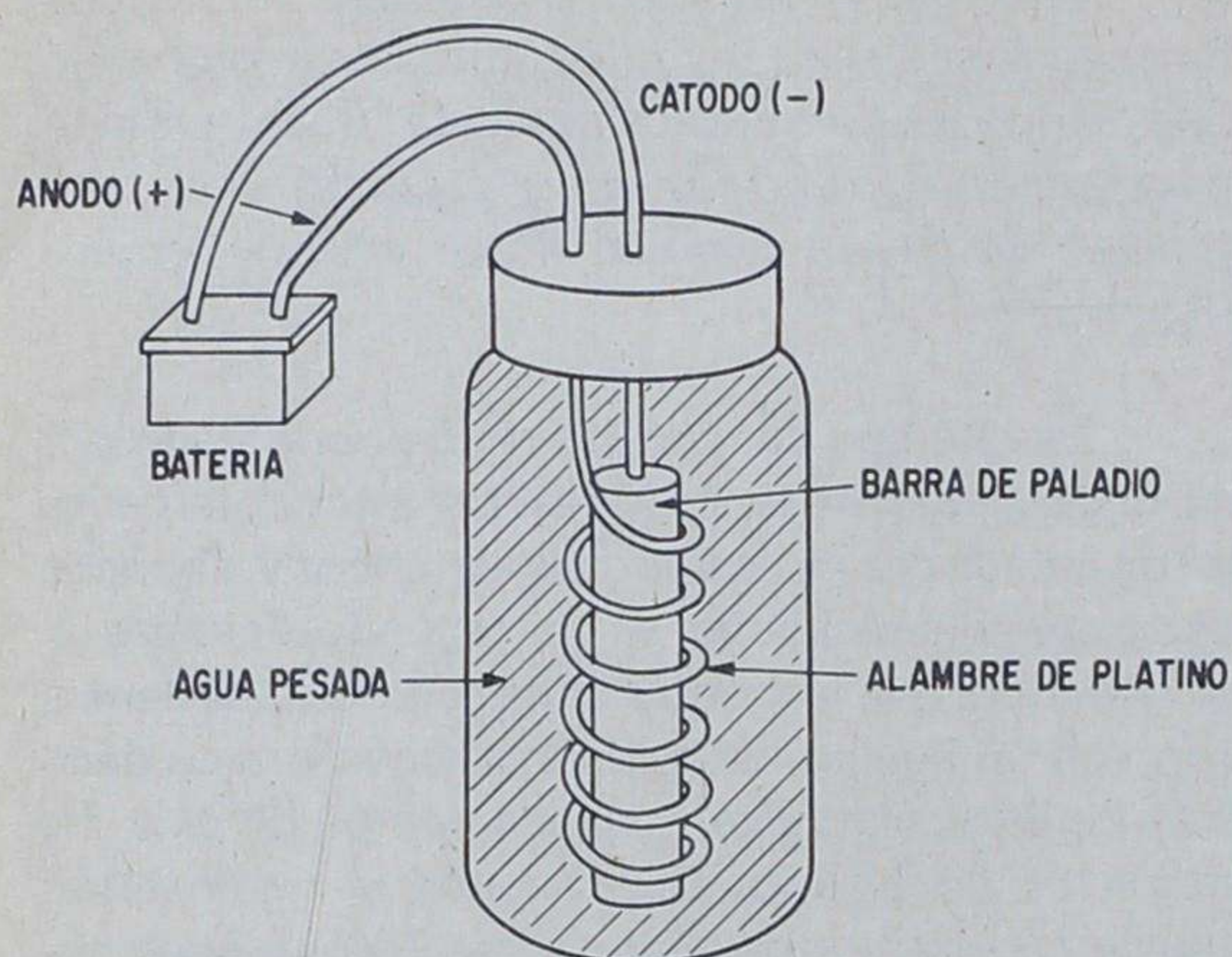


Figura 3

cuadrado. En estas condiciones, después de un tiempo de aproximadamente dos semanas, el electrodo de Pd comenzó a calentarse y según Pons y Fleischmann el calor generado era cuatro veces mayor que la cantidad de energía suministrada en forma de energía eléctrica. El 23 de marzo de 1988, los dos investigadores atribuyeron el exceso de calor a procesos de fusión nuclear. De acuerdo con su razonamiento, grandes cantidades de iones de deuterio producidos electrolíticamente migraron hacia la red cristalina del paladio en donde debido a su proximidad se fusionaban para formar átomos de helio. Una semana después del anuncio de Pons y Fleischmann, el físico Steven Jones de la Universidad de Brigham Young en Provo, Utah, anuncia que en forma independiente, él también había producido fusión fría con un proceso similar al utilizado en la Universidad de Utah. Sin embargo, Jones observó neutrones como único producto de la fusión, pero nada de calor, como en el caso de Pons y Fleischmann.

Después de la conferencia de prensa de Pons y Fleischmann, comenzó uno de los episodios más extraños en la historia de la ciencia. Difícilmente pasaba un día sin la aparición de nuevas declaraciones confirmando o desmintiendo el experimento de Pons y Fleischmann. Científicos en varios países, rompiendo con el protocolo, llamaron a conferencias de prensa anunciando nuevos resultados antes de verificarlos.

Después del furor de los días que siguieron a las declaraciones de los investigadores de la Universidad de Utah, científicos de todo el mundo realizaron el experimento con las condiciones originales y analizaron los resultados en forma más cuidadosa. Estos resultados fueron reportados en varias reuniones científicas, la más reciente celebrada el pasado 25 de mayo en la ciudad de Santa Fe, California en los Estados Unidos. En esta última reunión, llamada taller sobre fenómenos en fusión fría, diversos grupos de investigadores trabajando en esta área expusieron sus resultados más recientes. El consenso después de esta reunión fue que si bien el proceso original ha sido demostrado, no existe ninguna evidencia que confirme los niveles de fusión originalmente reportados por Pons y Fleischmann basados en la medida del calor producido en su celda electrolítica. En el experimento original de Pons y Fleischmann utilizando barras de Pd de 1 cm de diámetro y 10 cms de longitud, obtuvieron un exceso de calor de aproximadamente 4 watts. Medidas calorimétricas de mayor resolución reportadas por varios grupos en la reunión de Santa Fe, muestran que el exceso de calor integrado en el tiempo de operación de la celda no es mayor que el 10% de la energía eléctrica suministrada. La posibilidad de que reacciones químicas puedan ser responsables por el exceso de calor han sido descartadas.

En el proceso desarrollado por Pons y Fleischmann, e independientemente por Jones, la diferencia de potencial aplicada entre los electrodos de Pd y Pt rompe la molécula de agua pesada en dos deuterios y un oxígeno; este proceso es conocido como electrólisis. Visto a nivel microscópico, el electrodo del paladio presenta una estructura abierta a los pequeños iones positivos de deuterio; así, la corriente eléctrica los conduce hacia dentro del metal en el que ocupan posiciones conocidas. En algunos casos se han introducido hasta 0.7 átomos de deuterio por cada átomo de paladio. En esta situación, los iones de deuterio se encuentran tan cerca unos de otros que su fusión es altamente probable.

Si el proceso involucra la fusión de núcleos de deuterio, como fue originalmente sugerido, entonces son dos las reacciones posibles. Una de estas produce helio y neutrones mientras que la otra produce protones y tritio. Estas reacciones ocurren aproximadamente con la misma probabilidad. Así, la fusión D-D

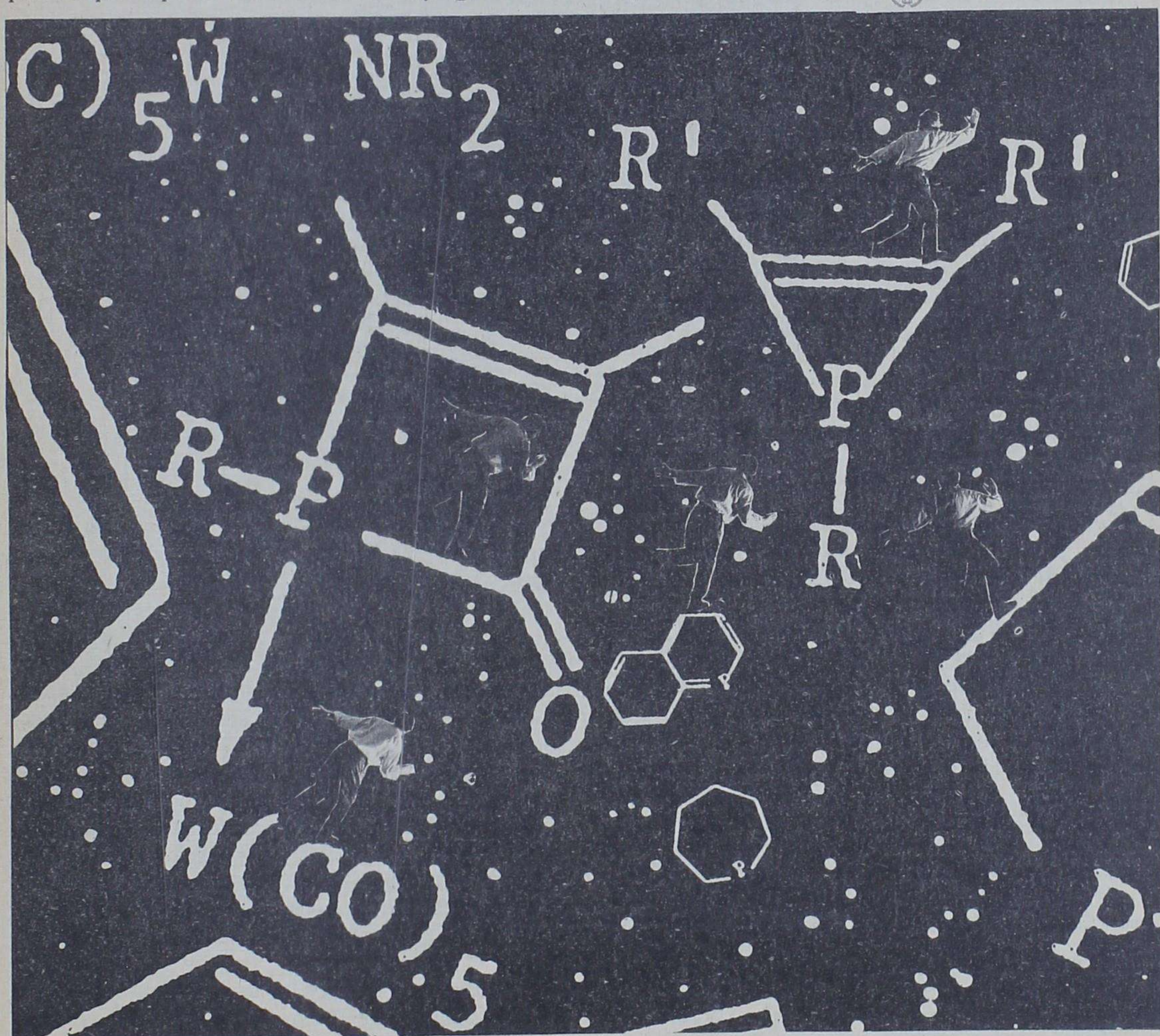


debe producir neutrones o tritio. Un cálculo simple muestra que si toda la cantidad de calor reportada por Pons y Fleischmann en su experimento original fuese generada por este tipo de fusión, se debería haber observado una enorme cantidad de neutrones energéticos (2.5 MeV), aproximadamente 13 potencias de diez por segundo y, por supuesto, una cantidad comparable de tritio. Esta cantidad de radiación hubiera sido letal para los investigadores en muy poco tiempo, lo cual obviamente no sucedió.

Mucho se ha especulado sobre otras reacciones nucleares que no produzcan radiación de ningún tipo. Hay algunas posibilidades. En una fusión D-D es posible que se produzca helio más un rayo gama. Sin

embargo, concentraciones elevadas de rayos gama son igualmente letales al ser humano. Otra posibilidad es la fusión de un núcleo de deuterio con uno de litio seis, ambos presentes en el experimento. Esta reacción produciría únicamente helio. Estas dos reacciones ocurren con una probabilidad mucho menor que la reacción D-D.

Aunque, a la fecha actual, los resultados originales de Fleischmann y Pons no son aceptados, existen evidencias favorables de otros grupos de que el proceso utilizado en verdad cataliza la fusión D-D. Sin embargo, hasta ahora, no ha sido demostrado que este proceso pudiera ser una fuente de energía con importancia tecnológica. 

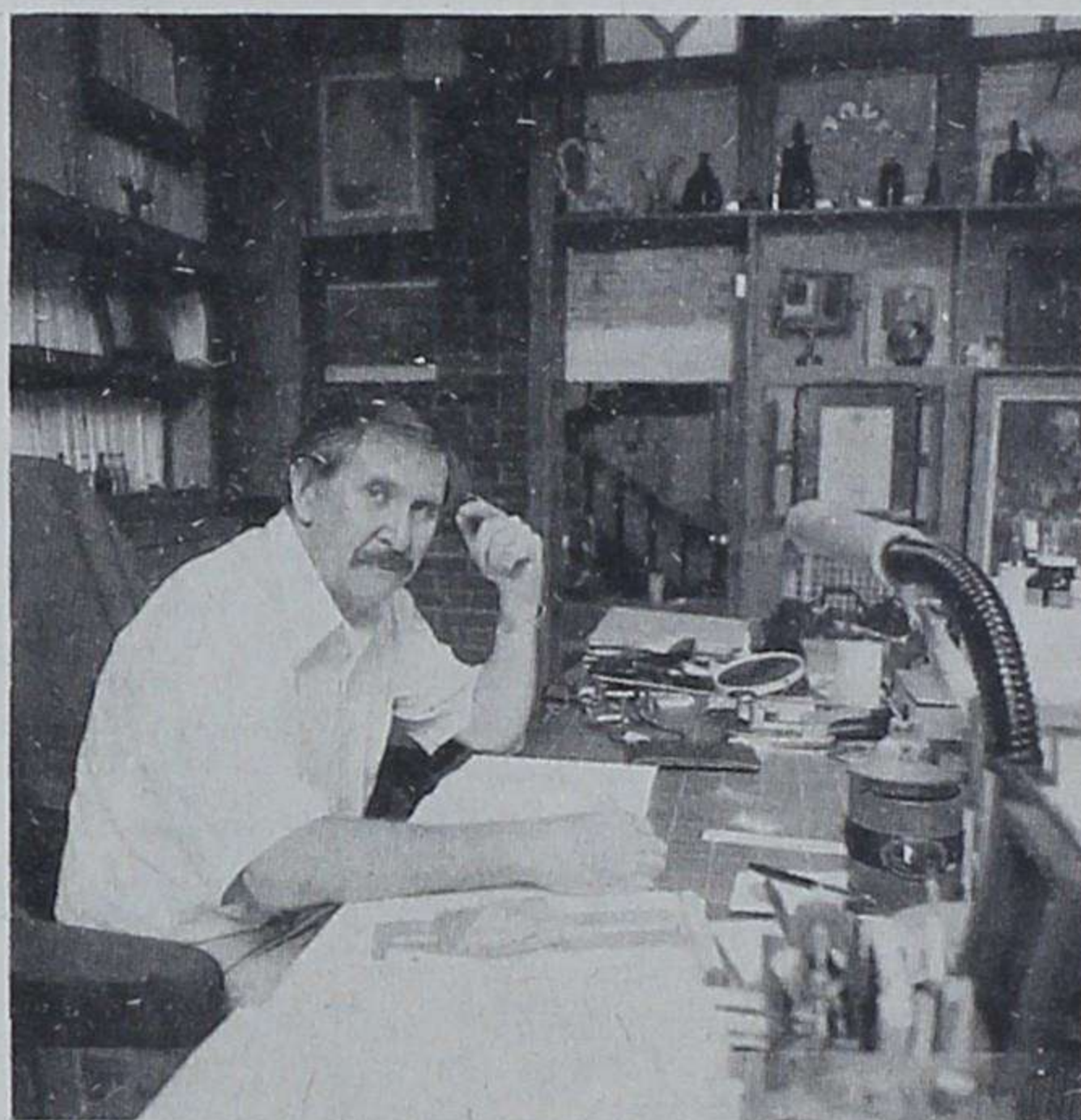




*Perfiles de investigación*

## Pablo Rudomín: Mis segundos 25 años en el Centro

*El Dr. Pablo Rudomín, Premio Príncipe de Asturias 1986, nos relata sus puntos de vista sobre el quehacer científico en México, y en particular sobre su especialidad, la electrofisiología.*



### *Carlos Chimal y Rubén López Revilla*

Fotografías de Pedro Hiriart e ilustraciones de Flora Goldberg

**Carlos Chimal:** Dr. Rudomín, ¿cómo es que usted sigue en México, cuando muchos científicos con prestigio internacional establecido se han ido del país?

Esto es algo difícil de contestar. La gente se va por muchas razones. Muchos colegas míos, científicos de primera, han emigrado muy a pesar de ellos porque aquí les ha sido cada vez más difícil funcionar satisfactoriamente. Con la crisis económica los sueldos que recibían no les permitían mantener el mismo nivel de vida que tuvieron hace algunos años. Además, en el caso de científicos experimentales, les ha resultado cada vez más difícil continuar con sus

investigaciones por falta de apoyo institucional y de las agencias federales encargadas de apoyar a la investigación científica (CONACyT, SEP, etc).

En mi caso personal, aunque he estado tentado algunas veces a irme a un ambiente menos difícil, existe una componente emocional muy fuerte que me ha hecho permanecer aquí, a pesar de todas las limitaciones, y tiene que ver mucho con la historia familiar. Mi padre nació en Rusia, todavía antes de la revolución soviética. Allí no podía estudiar por ser de origen judío. Después vino la revolución y posteriormente los procesos de Zinoviev y Kamenev, y el surgimiento de un estado policiaco. Esto, junto con la hambruna, convenció a mi padre que era el momento de buscar otros horizontes. Escogió venir a México, y aquí fue recibido con los brazos abiertos.

Hubo dos cosas que me inculcó. Una, que él jamás pudo estudiar, y lo sentía como una limitación en su vida. Y

---

Carlos Chimal es escritor, periodista especializado en divulgación científica, y editor asistente de AyP. Rubén López Revilla es médico cirujano, doctor en genética, profesor titular del Departamento de Biología Celular del Cinvestav, y miembro del consejo editorial de *Avance y Perspectiva*. Su campo de investigación es la biología celular y molecular.



dos, su profunda lealtad hacia México por haber sido aceptado sin ninguna restricción. Yo creo que con esta forma de pensar se desarrolló en mí una necesidad de arraigo y un sentimiento de lealtad hacia el país en el que nací.

Ayer estaba yo viendo una película soviética reciente sobre Rasputín. De repente me pregunté: "¿cómo sería yo si hubiese nacido en Rusia? ¿qué es lo que me hace ser mexicano y no ruso? Yo tengo primos hermanos, hijos de hermanos de mi padre que se han ido a Estados Unidos y son gringos en todo el sentido de la palabra. Diferimos en forma de ser y de pensar. Y sin embargo, también tenemos ciertos elementos comunes. Lo que pasa en realidad es que el condicionamiento social, el medio... es fundamental. Claro, uno hereda tradiciones familiares, pero el medio social en el que uno se forma es determinante.

Para mí el vivir y luchar en México es un reto continuo. Obviamente muchas veces se desanima uno. En efecto, he estado muchas veces en los Estados Unidos, he tenido invitaciones para trabajar allí, pero precisamente una de las cosas que no me gusta es la forma en que se maneja la ciencia en ese país. Como un negocio.

Yo veo la ciencia todavía con un contenido humano muy profundo. Es la necesidad de conocer, pero como una necesidad social, no únicamente la satisfacción individual. Es la necesidad de compartir conocimiento, es la necesidad de tener estudiantes, es la necesidad de... en fin, dejar una huella al pasar por esta tierra.

La investigación tiene una componente de placer personal que no se puede ignorar, pero está además toda esa necesidad de compartir. Allá en Estados Unidos se ha gestado una situación que me parece paradójica. Si bien la ciencia está muy desarrollada, las posibilidades de que una persona en particular, promedio, pueda contribuir al desarrollo científico en forma significativa son bastantes reducidas.

Pienso en colegas míos que se van allá. Han resuelto su problema económico, han resuelto su problema de donativos, de esto, de lo otro. Pero están como flotando, desarraigados, en un ambiente en el que da igual que estén o que no estén.

En lo personal no creo que pueda quejarme. Me ha ido bien, ciertamente a costa de mucho esfuerzo. Y ello mismo me autoriza a decir con orgullo que aquí también podemos hacer las cosas, y bien, si es que nos lo proponemos.

*CC: Decía que veía a sus colegas en Estados Unidos...*

Como desarraigados... ¿cómo te diré? Desubicados.

*CC: Le han confesado cierta insatisfacción, o usted ha visto...*

No, no, yo me he dado cuenta de esto. Ellos no me lo van a confesar. Lo veo en su forma de vivir, en su forma de ser. No son los mismos que eran aquí. Algunos de ellos no tienen estudiantes a pesar de que han conseguido donativos. Lo que pasa es que el tipo de ciencia que hacen, que es buena, allí resulta anticuada. Supongo que es igual en otras disciplinas fuera de la fisiología. Tú aprendes una serie de técnicas que estás aplicando, pero a medida que pasa el tiempo, sobre todo con los cambios tan rápidos, hay disciplinas que están más de moda, como parte del mismo proceso evolutivo en la ciencia. Hay algunas que van de salida y otras que van de entrada.

## Ciencia y empresa: Un ejemplo

*CC: Viven una ciencia más aislada, más endógena.*

Pues sí, hay algo de eso. Desde luego aquí tenemos muchos problemas y ustedes los conocen bien. El valor social de la ciencia es mínimo: El científico básico aún no es aceptado como un elemento útil para la sociedad. Ustedes pensarían que ya es cosa del pasado, pero ayer, precisamente en una reunión de la Secretaría de Educación Pública, había funcionarios que concebían a la ciencia únicamente con una visión económica, y tuve que insistir en que uno de los principales productos de la investigación científica de alto nivel es la formación de personal altamente especializado. ¿Cómo queremos cambiar un país y emprender la modernización tecnológica o productiva, como se le está llamando, si no tenemos gente bien preparada?

El ejemplo que menciono siempre es el de la famosa industria farmacéutica. Es una industria importante para el país. Si quisiéramos tener una industria más sólida, tendríamos que contar con muchos más elementos contamos. ¿Cuántos toxicólogos, farmacólogos, químicos capaces de hacer síntesis orgánica, de primer nivel, tenemos en el país? No más de cinco en cada categoría; supongamos 10. Esto es patético.

En lugar de aceptar que formar gente bien preparada es una prioridad, que no es responsabilidad de los científicos ver que todo lo que hacen tenga aplicación en el sentido práctico, muchos funcionarios voltean los argumentos, como si fuera culpa de los científicos no resolver los "grandes" problemas nacionales.

Mi tesis es que no existen grandes problemas nacionales. Los problemas son chicos, y cuando no los resuelve-



mos se acumulan hasta provocar un impacto global. Por ejemplo, hay dificultades en educación, en comunicaciones, en alimentación, en salud. Todo ello lo puedes fragmentar en problemas más restringidos. ¿Qué implica una sociedad desarrollada? Pues que el conjunto de esos problemas chicos ha sido resuelto, o que por lo menos hay una mayor proporción de problemas resueltos que de problemas no resueltos, y que en conjunto las cosas funcionan razonablemente.

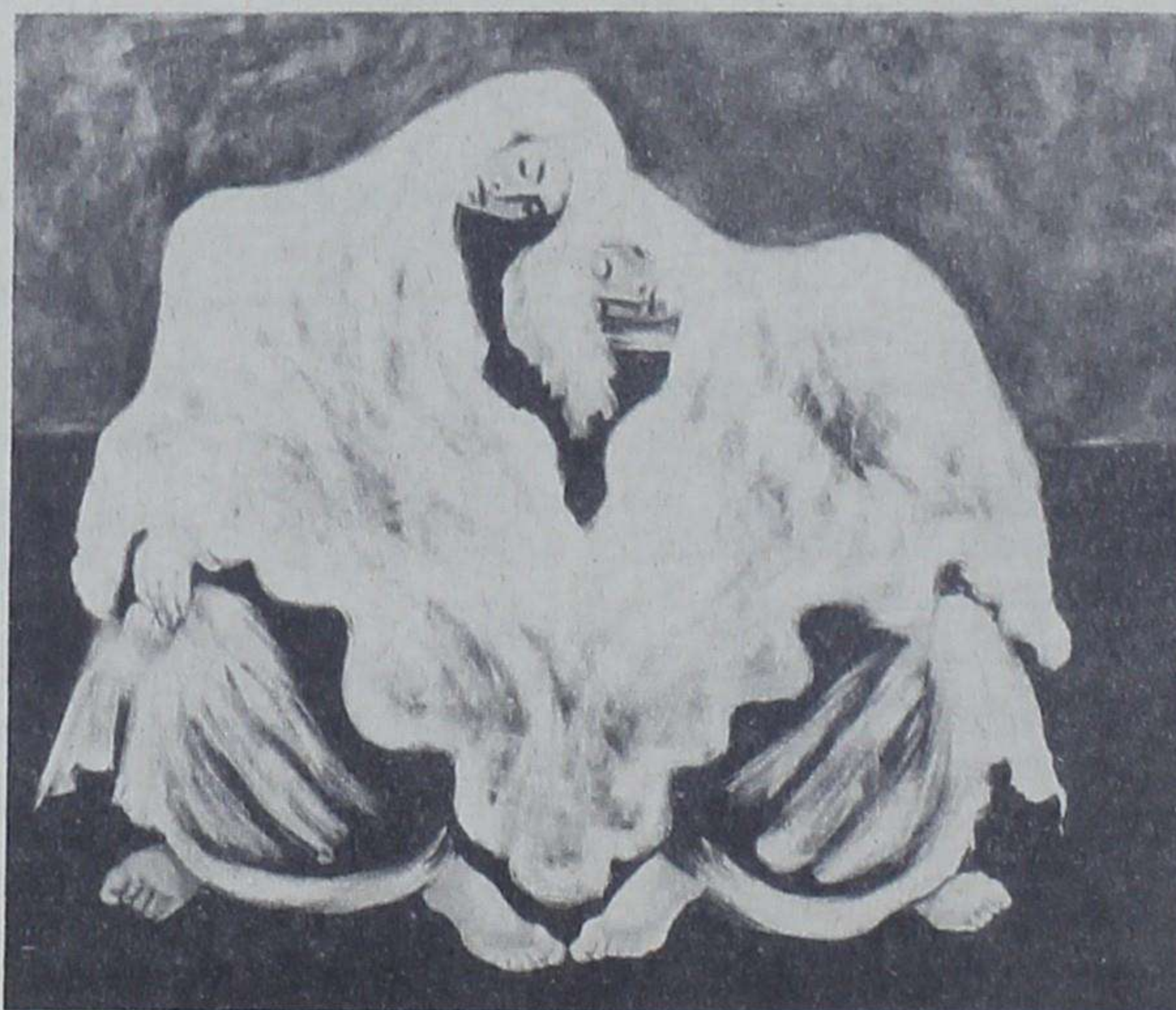
Allí es donde supongo que muchos de nosotros sí podemos incidir, en resolver pequeños problemas. Problemas de preparación de gente, problemas inclusive dentro de nuestras especialidades. Volviendo a la industria farmacéutica, si hubiera alguien en México produciendo drogas con acciones en el sistema nervioso, nosotros aquí en el Departamento (de Fisiología, Biofísica y Neurociencias) tenemos una tecnología de avanzada que podría utilizarse para probar varios de esos efectos. Pero nadie recurre a nosotros. Se espera que seamos nosotros los que vayamos a tocar de puerta en puerta a ver quién se digna aceptar nuestros servicios. Y aquí yo siento que hay una confusión de ideas. Yo creo que el que tiene el compromiso de modernizar su planta productiva es el industrial y él tiene la responsabilidad de buscar el conocimiento donde pueda encontrarlo.

Esto me recuerda un ejemplo que vi en Israel hace años. Estaba yo en la universidad de visita. Y llegaron unos señores con un problema. Ellos trabajaban en una empacadora de pescado y resulta que la gente se comía ese pescado y se estaba intoxicando. Lo primero que se les ocurrió fue ir a la universidad a ver si les podían resolver el problema. No intentaron cambiarles la marca a las latas ni ponerles la etiqueta del competidor. El empresario sabía quién sabía qué en la universidad, y dijo: "Bueno, vamos a ver qué

necesitamos: un toxicólogo, un biólogo...". Empezaron a estudiar el problema. El toxicólogo encontró cuáles eran las causas posibles de intoxicación. El biólogo aisló los productos nocivos. Eran producidos por unas bacterias. Después se preguntaron: "¿Cómo se degradan estos productos?" Hicieron entonces estudios bioquímicos. Encontraron que dentro de las especies de peces que ellos pescaban había enzimas que en forma natural lisaban y destruían estos productos. Y descubrieron que todo el problema radicaba en que la pesca era muy eficiente: sacaban al pez y lo metían directamente al congelador por miedo de que se les fuera a echar a perder; pero si se esperaban una hora en el sol, allí en el Mar Rojo, con eso se iniciaba un proceso de autólisis y bajaba la concentración de productos tóxicos a niveles manejables. Fíjense qué solución tan sencilla. Pero a nadie se le ocurrió plantear que los investigadores fueran al Mar Rojo a ver si se volvía a abrir, a ver si pasaba Moisés, o a ver qué. Simplemente los señores tenían un problema práctico y fueron adonde estaba el conocimiento.

Ya que estamos hablando de eso, aquí en el Centro tenemos un conocimiento potencial muy grande y creo que es una de las responsabilidades de las universidades, de instituciones como ésta, mantener esa inteligencia nacional al servicio del país. No sólo para el presente, sino en particular para el futuro.

Pero también debemos considerar la necesidad que tenemos, como sociedad, de ejercitar nuestras neuronas. Yo creo que estamos determinados genéticamente para pensar. Ese es un producto de selección natural, no es ninguna concesión que hemos ganado como especie humana. Somos especie humana porque hemos adquirido evolutivamente la capacidad de aprender a razonar. Entonces el pensar y razonar es actuar como lo que somos. Lo





que pasa es que socialmente no siempre es conveniente hacerlo ¿verdad? Porque la gente que piensa y cuestiona no es manejable.

## En el principio fueron los fierros

**CC:** ¿Usted es biólogo de origen?

Bueno. El "origen" es un poco difícil de establecer, porque yo empecé estudiando para químico. Estudié la preparatoria como químico y después me fui a la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Politécnico, todavía como químico. Estudié químico bacteriólogo hasta el tercer año de la carrera y después quise hacer genética. En esa época estaba Antonio Hernández Corzo allá. El trabajaba en Chapingo en genética mendeliana, antes del desarrollo de la genética moderna... Estoy hablando de los cincuentas. Pero aunque me gustó la genética, él no me animó, así que no me quise ir a Chapingo. Y me cambié a biología, pues pensaba que iba a tener más bases para dedicarme a la investigación científica. Al principio quise hacer bioquímica.

Allí en Ciencias Biológicas había un maestro, todavía vive, Castañeda Agulló. Me acuerdo que María Luisa Sevilla y yo fuimos a verlo con un amigo. Después de exponerle nuestras intenciones, se metió a su oficina y salió con 20 libros: "Léanlos, y cuando hayan leído éstos, regresan a mi laboratorio".

**Rubén López Revilla:** No quería tener discípulos.

Creo que eso fue lo que pasó, pero no supo lo que se perdió. Precisamente en esa época yo era muy amigo de Mauricio Russek y él estaba trabajando con Ramón Álvarez Buylla. Un día me llegó y me dijo que si no me interesaba la fisiología. En ese entonces había yo llevado únicamente un curso de fisiología general, y me interesaba. Ver el laboratorio de Álvarez Buylla era impresionante: muchos aparatos y alambres... yo creo que eso fue para mí un *imprinting*, algo que me marcó; yo creo que ahí renació la idea de manejar un submarino polar, uno de mis sueños dorados.

Aunque debo aclarar que eso del submarino vino desde antes. Vivíamos en la zona de Tepito, en la calle de Jesús Carranza. Bueno, nací en la calle de Allende, pero después nos cambiamos a Jesús Carranza y mi padre tenía un depósito de fierros viejos en la calle de Matamoros. Tenía un socio, que es el papá de Marcos Rosenbaum, director del Instituto de Investigaciones Nucleares de la UNAM. Marcos y yo jugábamos de chiquitos, jugábamos juntos ahí en el depósito de fierros. Y teníamos mucha imaginación porque con fierros, pedacería de coches, de máquinas de escribir, hacíamos aparatos de lo más raro que no servían para

nada. Pero desarrolló nuestra imaginación. Un día decidimos hacer un submarino...

**RLR:** ¿De qué edad?

Eso habrá sido como de diez u once años...

**RLR:** Había muchas películas de la guerra y de submarinos entonces...

Sí, me imagino que fue la influencia de eso. Después apareció un señor, un ingeniero Jiménez Malpica. Ustedes deben de conocerlo si pasaron por el Politécnico. Era todo un personaje. El había estudiado en los Estados Unidos y fue uno de los fundadores de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Venía muy seguido al depósito de los fierros, a buscar piezas que necesitaban cuando tenían que componer algún aparato, cosas de ese tipo. Entonces un verano me invitó a que fuera yo a ayudarles. Según ellos, estaban haciendo una investigación. Nunca supe lo que hacían, pero me fascinaba que me pusieran a hacer transformadores, y había una máquina electrostática que echaba chispas, y eso me emocionaba.

Cuando entré a la secundaria y llevé mi clase de química, el ejemplo que daban entonces para mostrarnos la diferencia entre una mezcla y un compuesto era que la mezcla es un agregado de sustancias, y hablaban de la pólvora, y daban la fórmula. Entonces Marcos y yo decidimos hacer pólvora. Me acuerdo que vivíamos por aquí, por la Lindavista. Fuimos a comprar los ingredientes, que todavía se encontraban en las farmacias. El carbono y el perclorato de potasio, o algo así. Pero no se nos ocurrió mezclarlos húmedos, sino en seco. Estuvimos como 10 horas mezclando. Ya teníamos como un par de kilos de pólvora y había que hacerla explotar. Entonces lo metimos todo en un bote y nos vinimos por aquí, por donde se extendían los llanos de Zacatenco. Fue impresionante.

En esa época siempre andábamos haciendo cosas. Submarinos, sillas eléctricas, en fin. Creo que teníamos una imaginación exhuberante.

Es muy curioso, porque en el mismo edificio vivíamos cuatro que nos dedicamos a la ciencia. Carlos Gitler, Samuel Gitler, Marcos Rosenbaum y yo. Es una gran coincidencia.

**RLR:** ¿Qué hay de la relación, como en tu caso, con tu padre que decía que no pudo estudiar? ¿Qué pasa con las familias de tus compañeros que se dedicaron a la ciencia, en las que el conocimiento era muy importante?

Bueno, dentro de la tradición judía el conocimiento se ve con mucho respeto. Hace poco leí un libro religioso. Estuve





leyendo a Maimónides, filósofo judeo-español, quien también fue uno de los primeros fisiólogos. Empieza a hacer disección en Toledo, luego emigra con su familia y se hace médico del califa del Cairo. Esto es en el año 1100 o 1200 y ya desde entonces él planteaba una cuestión que a mí me parece muy interesante: Dios le dio al hombre la capacidad de razonar y de pensar, así que no usar el razonamiento y la capacidad intelectual para entender las obras de Dios es ir en contra de su mandato. Esta es una posición antidogmática. Aunque nunca fui educado en una actitud religiosa, siempre he visto con respeto esa apertura hacia el conocimiento. Y probablemente ese era el espíritu que flotaba en el edificio de Allende.

Quizás visto desde una forma más pragmática, ¿qué es lo que puede llevarse alguien que anda corriendo de un lugar para otro? El conocimiento o dinero. Creo que por eso el conocimiento se volvió un elemento de sobrevivencia en ese contexto específico. Y no me sorprende esa actitud de muchos inmigrantes que querían que sus hijos estudiaran. Inclusive cuando decidí dedicarme a la investigación, hubo una serie de expectativas que no me atraían. En mi familia esperaban que me dedicara a los negocios. A lo mejor tenían razón, pero me salí con la mía. A veces pienso que si hubiese escuchado los consejos paternos...

**RLR:** Todos pensamos lo mismo.

Pero cuando decidí que la ciencia era mi vocación, me dieron todo el apoyo posible. Mi decisión fue aceptada. No era considerado una vergüenza. Era un valor aceptado.

Entonces sí es una coincidencia que en el barrio de Tepito, allí, hayamos nacido en el mismo edificio cuatro científicos. Hace unos meses lo fuimos a ver Marcos Rosenbaum y yo, y llevamos a los hijos, porque ellos esas zonas ya no las conocen y hasta las ven con cierta sorpresa: "¿Cómo?, ¿ustedes nacieron aquí?" "Pues sí".

Me acuerdo de una puerta que hizo mi padre en el edificio de Jesús Carranza. Aún estaba allí. Subimos porque es una de las casas que fue nacionalizada con el temblor. Y cuando la gente nos vio entrar dijo: "¿Y ustedes, qué hacen aquí?" En cuanto yo les expliqué que de niños, que esto y que lo otro, se portaron más amables. Inclusive había algunos que se acordaban todavía de mi padre. Dejamos de vivir ahí en los cuarentas. Nos cambiamos a la colonia Cuauhtémoc por el 44 y en ella vivimos un año o dos y luego nos vinimos aquí, a la Lindavista. Estuve aquí hasta los 16 años.

Realmente es muy difícil contestar la pregunta "¿por qué sigo en México?" Aquí está mi familia, aquí...

**CC:** Volviendo un poco a los cables y a la chatarra, quizás eso tenga que ver con la electrofisiología, que de alguna manera es cables y algo más...

Pues sí. Para mí una de las cosas que me gustaron de la electrofisiología es que podía hacer las preguntas y ver las respuestas en ese momento. La generación de los potenciales en el sistema nervioso es muy impresionante, porque al registrar un potencial sabe uno lo que está pasando. En cambio, cuando uno estudia reacciones químicas los resultados los conoce uno hasta días más tarde. Es trabajar en otro dominio.

Cuando empecé con la electrofisiología, se pensaba que si se conocían todos los circuitos neuronales se podía aprender algo del sistema nervioso. Ahora nos estamos dando cuenta que estamos muy lejos de eso. Que es uno de los aspectos del sistema nervioso y...

**RLR:** Sin embargo, la genética es lo opuesto a la electrofisiología en cuanto a la inmediatez de los resultados ¿no?

Sí, pero...

**RLR:** La química se halla en medio. Quizás aquéllas representan dos extremos.

Sí, pero mira. Creo sinceramente que en esa época de Ciencias Biológicas (estoy hablando de los dos primeros años de la carrera) yo hubiera caído en cualquier cosa. Creo que era la inquietud de hacer investigación y el área era



irrelevante. Creo que lo importante fue que encontré una gente como Alvarez Buylla, que supo entusiasmarme. Eso fue todo.

## La mano del maestro

*RLR: ¿Qué era lo que hacía don Ramón entonces?*

En esa época, él estaba haciendo registros de quimio y barorreceptores y...

*RLR: ¿Potenciales de acción?*

Potenciales de acción. Y con reflejos condicionados, que fue con lo primero que empecé. El usaba los reflejos condicionados como un medio para dilucidar cuáles de las acciones de una hormona eran mediadas por el sistema nervioso. De allí partieron todos sus estudios sobre la acción de la insulina. Pero yo creo que más que el problema de lo que trabajaba, a mí me cautivó su personalidad y su entusiasmo por la ciencia. Un entusiasmo que continúa hasta la fecha, un entusiasmo romántico. Quizás también eso fue lo que me cautivó, porque él jamás la vio como un negocio, sino como una pasión.

*RLR: Pero además yo creo que también su propia calidad académica ¿no? Porque si no tiene uno un buen maestro, creo que no puede pensar, cuando menos tan rápidamente, en las alturas a las que puede llegar.*

Bueno, yo creo que el *imprinting* es fundamental. Y ¿qué es lo que aprende uno del maestro? Primero, la disciplina para trabajar, el método y la pasión por el trabajo. Difícilmente puede uno volverse un buen científico si tiene a un maestro que no toma en serio la ciencia. Y yo creo que lo primero es tomarla en serio, así, como tu actividad. Eso contrastaba con mucha gente que veía yo allí alrededor, que tenían laboratorios pero nunca estaban en ellos, o se la pasaban todo el tiempo en los pasillos platicando, etcétera. No veías en sus laboratorios un ambiente de trabajo.

Era una época en la que las condiciones eran difíciles. Eran mucho más difíciles que en este momento. No había becas, no había una serie de cosas. Yo me pasé cuatro años trabajando en el laboratorio de Alvarez Buylla sin ningún apoyo económico. Vivía en casa de mis padres, que afortunadamente me podían ayudar. Pero no había becas, eso era un sueño.

Después me metí a trabajar en Syntex en las mañanas y en las tardes en el laboratorio. En fin, hacía una serie de circos para trabajar en investigación. Pero la investigación de entonces tampoco era tan costosa. Requería elementos,

pero no estaba en esa fase tan acelerada de cambio tecnológico, como está en estos momentos. Suponte que estás trabajando con receptores sinápticos en membranas; cada ratito aparecen productos nuevos tanto en neurofarmacología o neuroinmunología. Para poder probar algunos de ellos se requiere de capital. Además la información que se está generando crece exponencialmente. Es de locura ¿no?

## La evaluación del conocimiento científico: Una nueva torre de Babel

*CC: Yo tengo una duda siempre con respecto a toda esa gran masa de información. ¿Es pertinente? ¿no se está repitiendo?*

Aquí estás tocando el problema fundamental de la ciencia actual, al que yo llamo el problema de la torre de Babel, que ya pasó una vez. La acumulación de datos no te da conocimiento. Y el conocimiento no te da sabiduría. Son tres niveles diferentes, que no necesariamente los tiene todo mundo. Y tampoco uno conduce al otro.

Tú puedes estar contribuyendo al desarrollo científico en distintos niveles. Lo que pasa, a juicio mío, es que la generación de información de datos se ha acelerado tanto por el crecimiento del número de científicos, como por el desarrollo de metodologías que permiten obtener y procesar más información. En cambio el número de gente que es capaz de integrar toda la información generada no ha aumentado en la misma proporción.

Lo que está sucediendo es que cada vez nos volvemos especialistas en áreas cada vez más y más restringidas. Yo creo que es uno de los problemas muy serios de la ciencia, que no veo cómo se va a superar. Eso se refleja en los currícula, por ejemplo. Si tú quieres preparar científicos competitivos, tienes que llevarlos a un grado sumo de especialización. Antes era posible que un mismo científico supiese fisiología de corazón, circulatoria, renal, respiratoria, y del sistema nervioso. Ahora las cosas han cambiado. El medio demanda esa ultraespecialización.

Realmente el problema es quién es capaz de usar los datos que se están generando, o qué tan útil desde un punto de vista científico es esa información. Y si pensamos en países como México, el uso que hacemos de la que generamos nosotros mismos es mínimo. Porque se trata de una comunidad científica muy reducida y por la poca vinculación que existe con el aparato productivo. Estamos muy atomizados y no tenemos grupos de trabajo que puedan autoestimularse. Por ejemplo, ¿cuántas gentes en México trabajan en los temas que tú investigas?



**RLR:** *Aquí en el Centro, en lo que yo trabajo sí hay. Bueno, ponle tú cinco o diez grupos. Pero en verdad serios serios, que puedan publicar, ser citados y hacen cosas decentes, no sé, unos dos o tres. Lo demás puedes ignorarlo.*

Sí, pero para ignorarlo necesitas conocerlo y eso te quita tiempo. ¿Y cómo disciernes lo que es paja de lo que es realmente fundamental? Yo creo que nosotros mismos también hemos contribuido un poco a esta proliferación innecesaria.

Una ocasión propuse que deberíamos acordar un reglamento. Que nadie pudiera publicar más de un trabajo por año, por ejemplo. Que fuera su mejor trabajo y que se le penalizara por publicar más de eso. Cuando lo he planteado en congresos, a amigos míos no de México sino de muchos otros lados, la gente se enoja, se asusta: "¿Cómo vamos a conseguir apoyo?, ¿cómo vamos a conseguir donativos? Tenemos estudiantes, necesitamos promoverlos".

Nos hemos metido en un camino que demanda esa proliferación a grado tal que en muchos casos se ha caído en la falsificación de resultados con el objeto de conseguir apoyo, o de sobresalir. Entonces pienso que el papel del maestro es fundamental. La ética, la honestidad intelectual, eso es lo que le enseña uno a los estudiantes.

Aquí en mi laboratorio una de las normas es no sacar nada de lo que no estemos absoluta y totalmente convencidos. Se puede uno equivocar en la interpretación, eso no es tan importante, pero una observación debe ser realmente sólida, confirmable. Si vas a meter información al sistema, tiene que ser confiable, no ruido.

Sinceramente no veo cómo se va a evitar esa proliferación de ruido y esta explosión exponencial de trabajos publicados. Si queremos resolver este problema tenemos que pensar seriamente en cambiar todos los sistemas de evaluación y apoyo de la actividad científica. Tenemos que considerar más la calidad que la cantidad. Pero volvemos a lo mismo: ¿cómo se juzga la calidad? Para juzgar la calidad hay que tener calidad. ¿Cómo vas a decir tú qué es mejor, un Picasso o un Renoir? Para juzgar la calidad hay que tener calidad. De lo contrario se vuelve uno un "cuentachiles".

**CC:** *Pero en México o en el extranjero, ¿quién está siendo premiado? ¿Quiénes son los premios Nobel? O los premios nacionales, ¿son gentes que están interpretando bien, sin tener que sumergirse en esa acumulación de datos?*

Yo creo que no se puede generalizar. Yo creo que los premios dependen del juicio de las gentes que integran los consejos de premiación. Si hay sabiduría en ellos, va a haber sabiduría en sus decisiones.

Cuando pensamos en premios Nobel, por lo menos de los que yo conozco, han sido otorgados a gente que ha abierto campos, que ha proporcionado nuevos conceptos, nuevas formas de ver las cosas. Pero hay otros que no, y uno se pregunta por qué. Pues eso también ya lo sabe uno. La consecución de premios de esa categoría implica toda una labor detrás de bambalinas. Si pensamos en el premio Nobel de la Paz sabemos que está muy manipulado. Y en ciencias yo creo que también hay algo de eso. Lo que diría yo es que obviamente la gran mayoría de los premios Nobel en ciencia han sido otorgados a científicos que laboran en países desarrollados. Las posibilidades que tienen les permiten hacer contribuciones de más impacto. Pero al mismo tiempo tienen más influencia porque laboran en esos países donde hay una comunidad receptiva.

Pongamos por ejemplo lo que ha hecho Alvarez Buyla. Si él hubiera estado en otro medio, hubiera tenido la posibilidad de interactuar más críticamente con otros investigadores, hubiera aislado los factores hormonales que median la recuperación de la función hipofisiaria después del trasplante de la glándula salival. Hubiera publicado en revistas de mayor circulación y creo que hubiera obtenido el premio Nobel. No me cabe la menor duda. Pero él hizo las cosas a su manera. Hay mucha gente que quiere ganar el premio Nobel y dedica todo su esfuerzo para conseguirlo. Son muy buenos vendedores. Pero yo creo que no debe ser un premio lo que incite a trabajar.

Sí, se necesita reconocimiento. Pero yo creo que el reconocimiento importante es el de los colegas que pueden entender lo que uno está haciendo. Para mí es de lo más estimulante cuando algún colega viene y me dice: "Qué buena idea, oye qué bonito está esto". O cuando manda uno un trabajo a publicar y viene el comentario del editor: "Oiga, este trabajo está muy bien, hay que aceptarlo". Son cosas que estimulan y que necesita uno en la vida diaria.

Yo creo que en el fondo todo investigador se siente muy inseguro. En el fondo uno nunca sabe. Es como estar parado en la orilla de un precipicio. Cualquiera que me diga que se siente absolutamente seguro yo creo que está inventando. Muchas veces no sabe uno hacia dónde va a ir. Bueno, también hay que arriesgar un poco; esto es lo que se llama intuición. ¿Por dónde se mete uno? Eso no se aprende en los libros y es otra de las cosas que hacen, yo pienso, a un buen investigador. A tener ese *feeling* de cuál es un problema que vale la pena, adelantándose inclusive a la opinión de sus colegas que dicen: "no, esto no".

**CC:** *Le dio gusto recibir el premio Príncipe de Asturias.*

Sí, un gran gusto. Porque muestra que es posible lograr reconocimiento internacional a la labor que tanto esfuerzo



ha costado. Ahora, ¿qué ha significado en mi vida diaria? Pues no creo que tanto, realmente. Yo siento que todavía tengo mucho por hacer.

El Premio, pues, fuera de la satisfacción personal... Curiosamente, ha tenido más eco en España, en Europa, porque ahí se le considera como algo importante y es más divulgado. Sucedió que después de la entrega de los premios estaba todavía yo en Madrid y en un bar venía la gente y me pedía autógrafos, cosa que aquí nunca, nunca me ha sucedido...

**RLR:** ¿Como a Hugo Sánchez?

Exactamente. Ahí la gente estaba pendiente. No sé si porque es un reino. Aquí el presidente ha dado los premios nacionales, pero no pasan cosas como allá. La gente está de alguna manera atenta y le da mucho valor. Yo siento que esto es parte un poco del analfabetismo científico que tenemos, y conste que España no está mucho mejor, pero me parece que hay otro nivel de conciencia.

Después de que se restauró la monarquía, después de la muerte de Franco, han decidido darle el impulso a la ciencia y lo están haciendo con bastante fuerza. Inclusive estando allí tuve oportunidad de ir a dar pláticas en distintos sitios: en Sevilla, en Valencia, en Alicante. Y me encontré con grupos de jóvenes activos, de 35 a 40 años, que realmente da gusto verlos. Les está tocando una doble responsabilidad porque sus maestros no estaban. Sus maestros, los buenos, se refugiaron fuera. Pero ves esa pujanza. Aquí tenemos gente muy buena, pero yo siento que hay un sentido de desmoralización, se ha perdido ese entusiasmo que aún recuerdo.

## ¿Decadencia del sistema de educación superior? Un poco de nostalgia

**RLR:** Pero ¿será sólo desmoralización, o será decadencia de las universidades mexicanas? Casi deliberada ¿o no? Porque los jóvenes siguen siendo buenos y entusiastas donde quiera, lo que pasa es que la gente que se ha apoderado de las universidades...

Bueno, hay de todo. Yo creo que la actividad científica sigue siendo atractiva. Yo tengo más estudiantes que nunca. Tengo en este momento siete estudiantes de doctorado. Quizás el premio haya influido para eso, no sé. A veces esas cosas, imágenes..., no sé si la disciplina, o porque me ven en el laboratorio. El problema es que si no hay los incentivos suficientes, ese entusiasmo no lo canalizan

adecuadamente. Después, o se doctoran y se van y no regresan, o si regresan no tienen el trabajo adecuado. Yo creo que nos hace falta mucho camino para convencer realmente a la sociedad de que la nuestra es una actividad importante. Yo creo que todavía no existe esa conciencia. Ahora, tú dices que eso es deliberado, es posible. Tal vez en el fondo persista ese temor bíblico al conocimiento. El que conoce exige, y mientras más conoces, más exiges y menos manipulable eres. A lo mejor ésa es la "sabiduría" del sistema político, de no permitir más que hasta cierto punto...

**CC:** O también es probable que el sistema universitario haya dado de sí, después de tres o cuatro siglos de estar funcionando casi igual, en términos generales.

Está bien, yo acepto todo eso. El gran problema es que tenemos miedo de hacer otros experimentos, porque los objetivos no están definidos. Y no nada más es problema de las autoridades, es problema de nosotros mismos como científicos, pues en cuanto empezamos a discutir estas cosas caemos dentro de los mismos marcos y los mismos *slogans* que hemos estado manejando por años y años. Y no somos capaces, por condicionamientos que tenemos arraigados, de ver otras alternativas. No nos damos el tiempo para sentarnos a pensar qué tipo de organización queremos. Tomo como ejemplo el Centro, para qué vamos más lejos. En el Centro muchos de los problemas serios que tenemos son por inercia. Porque se han dejado acumular ¿Por qué? Si yo lo veo en mi caso particular, sinceramente, fue el egoísmo, así fue. Mi actividad primaria era estar en el laboratorio. Mientras podía yo conseguir financiamiento, mientras podía yo funcionar, pensaba: "¿para qué me voy a preocupar de esto y de lo otro?"

De nuevo volvemos a lo mismo. Para cambiar las cosas hay que poner mucho esfuerzo, porque la entropía es tan brutal. Hay que vencer formas de pensar, formas de organización, intereses creados. No se está dispuesto a manejarlos ampliamente. Entonces yo no puedo resolverlos. Si tenemos problemas en el Centro, estamos en posibilidades de eliminarlos o no. ¿Somos capaces de hacerlo? Bueno, primero debemos saber cuáles son. Los hay desde luego económicos, que son muy fáciles de diagnosticar. Pero hay problemas estructurales en relación a la enseñanza, la investigación, la comunicación entre investigadores. A lo mejor está pasando ese fenómeno de la torre de Babel. Hoy me estaba acordando de una época en la que el comedor del Centro era atractivo. Iba uno, comía, y se encontraba. Ahí conocí a (Harold) Dutton y surgió una colaboración de 10 años. Ahorita ya no sé quién está en el Centro porque no voy al comedor. Como una lata aquí en el laboratorio. ¿Por qué? Porque la comida no es agradable, el sitio es desagradable. Miren el contraste: el viernes pasado fuimos a ver a (Severo) Ochoa porque





me invitaron a una comida que le dio Pepe Sarukhán en la Universidad, en el edificio para seminarios Ignacio Chávez, que es un sitio muy confortable. Y me tocó estar sentado en una mesa con un filósofo, Olivé, con Barajas, un matemático, con Antonio Peña (bioquímico), con Arcadio Poveda (astrónomo), con Jorge Flores (físico), y con alguien más que se me escapa. Estuvimos discutiendo cuatro horas, y no crean que de grilla, sino de astronomía, de unos teoremas que acaban de sacar algunas gentes que dicen que no hay discontinuidad matemática, que no hubo *Big Bang* en los procesos de creación. Pero fue una discusión agradabilísima sobre todas estas cuestiones. Y yo me acuerdo que antes en el Centro eso pasaba. Porque nos estábamos en el comedor hablando con Juanjo (Juan José Rivaud, matemático), con éste, con el otro, pero hablando de esas cosas. A lo mejor yo estoy fuera de contexto. Ya no se da eso. El Centro, estoy seguro, está lleno de gente muy interesante, pero como que hemos perdido un poco la capacidad de comunicarnos. No creo que sea problema nada más de que las universidades sean obsoletas, porque el modelo ha dejado de ser funcional simplemente por sobrecarga de población. Pero aquí en el Centro creo que tenemos muchas posibilidades. A lo mejor las instituciones tienen su ciclo de vida y la nuestra ya llegó al máximo.

*RLR:* Pues habría que preguntarle a los jóvenes recién llegados, porque yo siento que en ese sentido el Centro es excepcional. Para mí lo ha sido. Esto era el paraíso, la libertad absoluta. Hablabas con toda la gente de lo que

fuera y encontrabas interés en todo mundo y además una seriedad en esta vida monástica de la ciencia.

¿Y no sigue siendo así?

*RLR:* Yo creo que sí, para los jóvenes. Hay que preguntarles a los recién llegados. Es difícil encontrar este ambiente, esta calidad académica.

¿Tú crees?

*RLR:* Bueno, estar en una comida como ésa en la que dices que estuvo el doctor Ochoa es fabuloso. O cuando vas a la Academia de la Investigación Científica.

Pero suponte que vas al Instituto de Peña.

*RLR:* Pero es lo mismo que el Centro. En cambio, si vas a una universidad de la provincia mexicana no es lo mismo que si vas a ésas de las que estabas hablando de Sevilla, de Alicante, en las que viste a grupos de jóvenes interesados.

Bueno, aquí también tienes algunas cosas así. Allí tienes Colima.

*RLR:* Sí, pero no a la velocidad ni con la intensidad que está pasando en España. Allí se siente, además, en el ambiente, que es otro mundo de como era hace diez años.



*Y aquí también se siente que es otro mundo de como era hace diez años, pero en el sentido inverso.*

## Para entender la electrofisiología

**RLR:** *Oye, a lo mejor es un poco difícil contestar esto, pero ¿cómo ves tú la madurez de las ciencias biológicas experimentales en México? A mí me parece que la fisiología es de las más maduras y de las que tienen, por supuesto, más tradición.*

Cuando presidía el Programa Nacional de Ciencias Básicas (CONACyT) pude apreciar que de todas las ciencias, en general las más estructuradas y consolidadas son las ciencias biológicas. Tienen más tradición. Hay un grado de madurez mayor en promedio diría yo. Lo he visto, por ejemplo, en las reacciones de las críticas que hacen los investigadores sobre los trabajos de sus colegas. En otras disciplinas son más autocomplacientes, pero esto depende de los investigadores en particular.

Debería devolverte la pregunta: ¿Qué entiendes por madurez? Es una pregunta muy difícil de contestar porque tienes que pensar en individuos. Hay individuos que han hecho contribuciones importantes en su campo y hay otros que no. Si vas a medir la madurez por la suma de investigadores establecidos... No sé que piensas tú...

**RLR:** *Yo pienso quizás que una medida de la madurez es la capacidad de autoreproducción. Por ejemplo, creo que los fisiólogos en México son los que más segura la tienen en ese sentido. Es decir, están formando fisiólogos serios, mientras que en otras disciplinas como que no es tanto.*

¿No será que el pasto del vecino siempre parece más verde? Porque tú conoces a tus propios colegas, y los conoces con sus defectos y sus limitaciones, y sus poses, y sus cosas, y piensas que los demás son más serios. No sé.

**RLR** No. Yo, por ejemplo, siento que dentro del Centro la fisiología es de lo más respetable. Independientemente de que unos me caigan bien y otros mal.

Quizá haya habido tónicas que se han impuesto. Nuevamente cuenta el maestro. A este respecto, los que empezamos el departamento de alguna manera estuvimos relacionados con Rosenblueth en Cardiología. Y el ambiente de trabajo era allí muy serio. Es decir, la gente se dedicaba a sus cosas. Yo creo que simplemente se captó y se reprodujo ese ambiente aquí. Desde entonces realmente hubo un proceso de selección natural previo. La gente que formó esa primera generación como Jorge Aceves, Carlos Méndez, David Erlij,

Antonio Morales, empezó a hacer ciencia por una motivación muy grande. En esa época no era un *modus vivendi*, sino cuestión de vocación y esa gente buscó el lugar donde podría expresarla mejor.

Cuando se creó el Centro yo creo que fue simplemente seguir con nuestra tradición de trabajar picando piedra y esas cosas. No sé realmente si haya una cuestión también de tipo profesional, es decir, inherente a la actividad. Por ejemplo, cuando haces electrofisiología tienes que estar pegado a la preparación. Tienes que estar viendo lo que está pasando, tienes que tomar decisiones en el momento. Es como manejar un submarino ¿verdad? Decidir, cuando hay un barco a la vista, en qué momento disparar el torpedo. Pienso, por ejemplo en cuanto a la bioquímica, que tú puedes hacerla por etapas; puedes hacer una reacción, meter los tubos al contador de radiactividad..., y mientras esperas puedes hacer otras cosas. Puedes leer, dedicarte a platicar en los pasillos, qué sé yo. Pero es indudable que la misma disciplina determina el desarrollo de nuestra actividad.

**CC:** *¿Podría relatarnos cómo se fue metiendo en la fisiología?, ¿qué es la materia, de qué está hecha?*

Como les decía, con Alvarez Buylia vi que era posible registrar la actividad de neuronas y me empezó a interesar cómo funciona el sistema nervioso.

La visión que se tenía del sistema nervioso entonces era dominada por la electrofisiología: neuronas conectadas unas con otras a través de impulsos, de señales eléctricas. Existía la idea de que al conocer esos circuitos podría uno con el tiempo entender cómo funciona el sistema nervioso.

Ya he dicho que esto es una condición necesaria pero no suficiente, porque no todas las funciones del sistema nervioso se expresan a través de impulsos eléctricos. Las terminales nerviosas liberan transmisores y neuromoduladores. Uno podría muy fácilmente concebir al sistema nervioso como una glándula gigantesca y utilizar métodos bioquímicos para estudiarla.

El sistema nervioso es, desde luego, un sistema que procesa información. A mí me ha interesado desde hace mucho tiempo la manera en que se controla el procesamiento de información. No basta decir: "Los impulsos pasan de la célula A a la célula B", sino conocer la forma en que pasan esos impulsos y cómo es transformada la información a lo largo de una cadena de neuronas.

Y aquí es donde se mete uno realmente en problemas conceptuales muy complicados, que hasta la fecha no han sido resueltos. En primer lugar tenemos problemas para



entender lo que significa información. Es realmente sorprendente que a pesar del ruido en las vías neuronales, el sistema nervioso pueda construir imágenes coherentes del mundo que nos rodea. No quiero discutir aquí si esa es o no una realidad que existe fuera de nosotros, asunto que les apasiona a los filósofos. En lo que quiero insistir es que, a través del aprendizaje, sobre todo eliminando acciones incorrectas, el sistema nervioso puede optimizar sus mecanismos de control y con ello aumentar las probabilidades de sobrevivencia del individuo. A mí lo que me llama la atención ha sido tratar de entender los mecanismos básicos del funcionamiento del sistema nervioso.

Inicialmente me interesaban los reflejos vasomotores y cómo era controlada la circulación y la presión arterial. Invertí mucho tiempo haciendo experimentos de tipo clásico. Estimular y registrar cambios de presión arterial o de frecuencia cardíaca. Eso fue lo que hice en Cardiología y me fui dando cuenta que era importante conocer más, es decir, meterse dentro de la caja negra.

Entonces fue cuando decidí que era importante irme a los Estados Unidos, salir fuera. Era la época en que hubo un cambio tecnológico grande, en los años 57-58, cuando surge el microelectrodo que ahora usamos con toda tranquilidad. El uso de microelectrodos brindaba la posibilidad de meterse dentro de una neurona y registrar las respuestas producidas al estimular otras neuronas.

Entonces yo trabajaba en Cardiología y me fui a Estados Unidos al Instituto Rockefeller con Vernon Brooks, donde estudiamos las respuestas de células de la corteza motora producidas por la estimulación fisiológica de aferentes cutáneos y musculares. Encontramos que cada neurona cortical tenía una forma peculiar de responder a estímulos periféricos, y que la extensión espacial de las regiones periféricas efectivas variaba a lo largo del experimento, dependiendo de la historia previa. Estoy hablando de 1959. Uno o dos años después, Mountcastle y Evarts estudiaron estos problemas en animales intactos y encontraron los principios de organización columnar de la corteza cerebral. Poco después, en la corteza visual, Hubel y Wiesel encontraron que las células corticales podían responder a características específicas del estímulo luminoso tales como la inclinación o velocidad del mismo. O sea que de alguna manera estas células podían responder a patrones específicos del estímulo luminoso.

Parte de estos estudios fueron motivados por los estudios pioneros de Lettvin, que en mi opinión también debería de haber ganado el premio Nobel. El se preguntó: "¿Qué es lo que ve el ojo de la rana?". Allá se planteó el problema al revés. No la forma de respuesta de las células ganglionares a los estímulos luminosos, sino cuál era la

forma de estímulo más eficaz para activarlas. Resulta que los estímulos más eficaces eran aquellos que tenían un significado biológico, por ejemplo, si tenían la forma de una mosca, o si se desplazaba el estímulo como si fuera un insecto.

Después de Estados Unidos nos fuimos a Italia. Escogí Italia por dos razones. Porque mi esposa es artista y porque la otra alternativa era ir a Suecia. No me gustaba el invierno. Nos fuimos a Italia y no lo lamento. Fue una experiencia muy bonita.

Y allí también encontré otra de las novedades: la técnica estereo-táxica. Para estudiar al sistema nervioso es necesario colocar electrodos en sitios específicos en forma reproducible. Para ello se había desarrollado un sistema de coordenadas muy precisas de los distintos sitios del cerebro. Ahora suena trivial, pero entonces constituía una novedad, y había que aprender esa técnica. Lo hice con Zanchetti y Malliani en Siena cuando estudiamos las respuestas de neuronas hipotalámicas a la estimulación de diversas vías sensoriales.

Luego regresé aquí. Fue cuando se fundó el Centro. Me vine a continuar con los estudios que inicié en Italia. Pero en esa época se planteó la necesidad de doctorarse. El Centro introdujo la modalidad de los doctorados. Yo no estaba doctorado, aunque ya tenía creo que como 16 trabajos publicados. Pero tenía que hacerlo. Entonces aproveché para estudiar un poco de física, matemáticas... Finalmente me doctoré.

Con el transcurso del tiempo lo que se fue perfilando como mi línea de trabajo fueron los mecanismos de control presináptico. Y en esa época consideraba que a través de la electrofisiología podía yo hacer un avance. En el momento actual siento que es necesario tener también otro tipo de abordaje; bioquímico, sobre todo histoquímico, que puede dar respuestas a algunos de los problemas que hemos planteado.

Ha habido toda una revolución en las tecnologías y metodologías anatómicas. Hace 15 años se consideraba que la anatomía había llegado a un punto muerto. Con la inmunohistoquímica se ha descubierto un mundo fantástico porque se pueden identificar compuestos específicos en las neuronas, lo que no se podía hacer con los métodos de tinción tradicionales. Por ejemplo, en la actualidad es posible marcar vías serotoninérgicas o adrenérgicas en la médula espinal y saber si establecen conexiones sinápticas con grupos específicos de interneuronas.



Como se cuestionaba mucho la existencia de la inhibición presináptica, una de las primeras cosas a las que me aboqué fue a tratar de demostrar si realmente era un mecanismo de control específico de información. Si en realidad afectaba unas vías y no otras. Y resulta que es así. Después traté de entender un poco los mecanismos.

## La inhibición presináptica

**RLR:** ¿Nos podrías explicar la inhibición presináptica?

La inhibición presináptica es un mecanismo de control que afecta fundamentalmente las fibras de aferentes cutáneos y musculares. Nuestros estudios muestran además que otros tipos de fibras, como las rubro-espinales y las vestibulo-espinales, no están sometidas a este tipo de control presináptico y eso es muy interesante. (Figura 1.)

Entre las fibras aferentes hay algunas que están conectadas directamente con las motoneuronas y esas son las que hemos estudiado con más detalle. Estas fibras aferentes vienen de los husos musculares, localizados en los músculos y sensibles al estiramiento.

La motoneurona, a su vez, está conectada con las fibras musculares del mismo músculo innervado por estos husos musculares. Si se estira el músculo, hay señales que van en dirección ortodrómica, activan a las motoneuronas, lo que produce acortamiento del músculo. Se puede considerar que este sistema de dos neuronas en un modelo de control es de retroalimentación negativa.

Los mecanismos de inhibición presináptica parecen ejercerse a través de otras vías neuronales que hacen contactos axo-axónicos con las terminales presinápticas. Estas interneuronas pueden ser activadas por otras fibras aferentes o por vías descendentes. Cuando hablo de vías descendentes, me refiero a las que vienen de la corteza cerebral o córticoespinales, o las que vienen de la formación reticular. Se llaman descendentes en el hombre; en el gato no serían descendentes, más bien supraespinales.

Lo interesante es que las terminales intraespinales de las fibras aferentes están sometidas a control presináptico, pero no las descendentes. Estas últimas pueden producir inhibición presináptica, pero no son controladas pre-sinápticamente. De tal manera que los comandos descendentes adquieren un cierto grado de prioridad respecto a señales de origen periférico.

Recientemente hemos encontrado que las interneuronas que median la inhibición presináptica no sólo hacen contacto con las fibras aferentes sino también con las

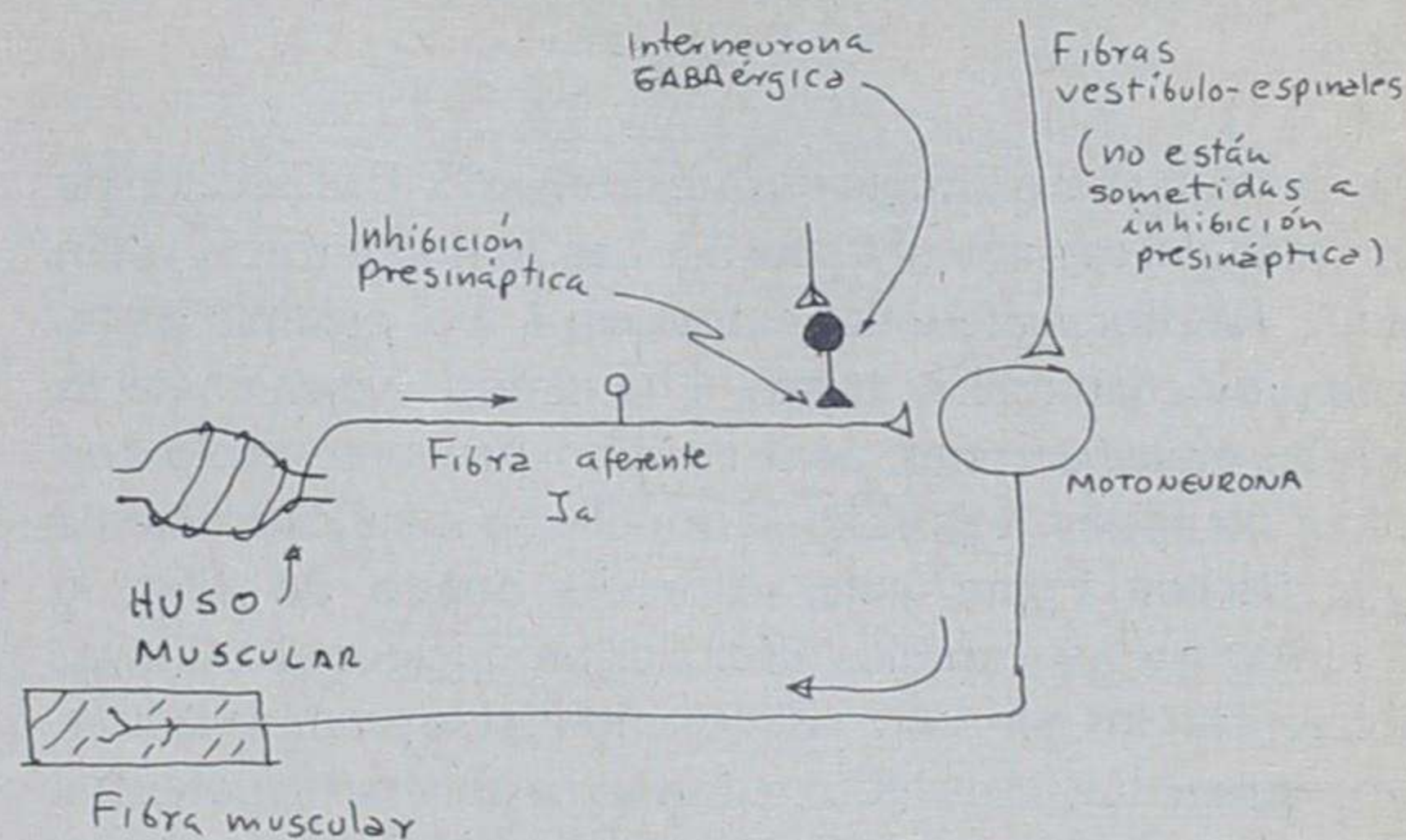


Figura 1

motoneuronas. Esto es muy interesante porque los comandos descendentes van a inhibir las motoneuronas y prevenir al mismo tiempo que la información aferente interfiera con esta acción inhibitoria. (Figura 2.)

En la ejecución de movimientos es tan importante la excitación como la inhibición. La inhibición es precisamente la que nos permite realizar movimientos muy precisos, muy localizados. Porque hay excitación en el grupo de motoneuronas que van a activar al músculo que quiero mover, pero las demás son inhibidas. Entonces, los procesos inhibitorios son fundamentales para el sistema nervioso.

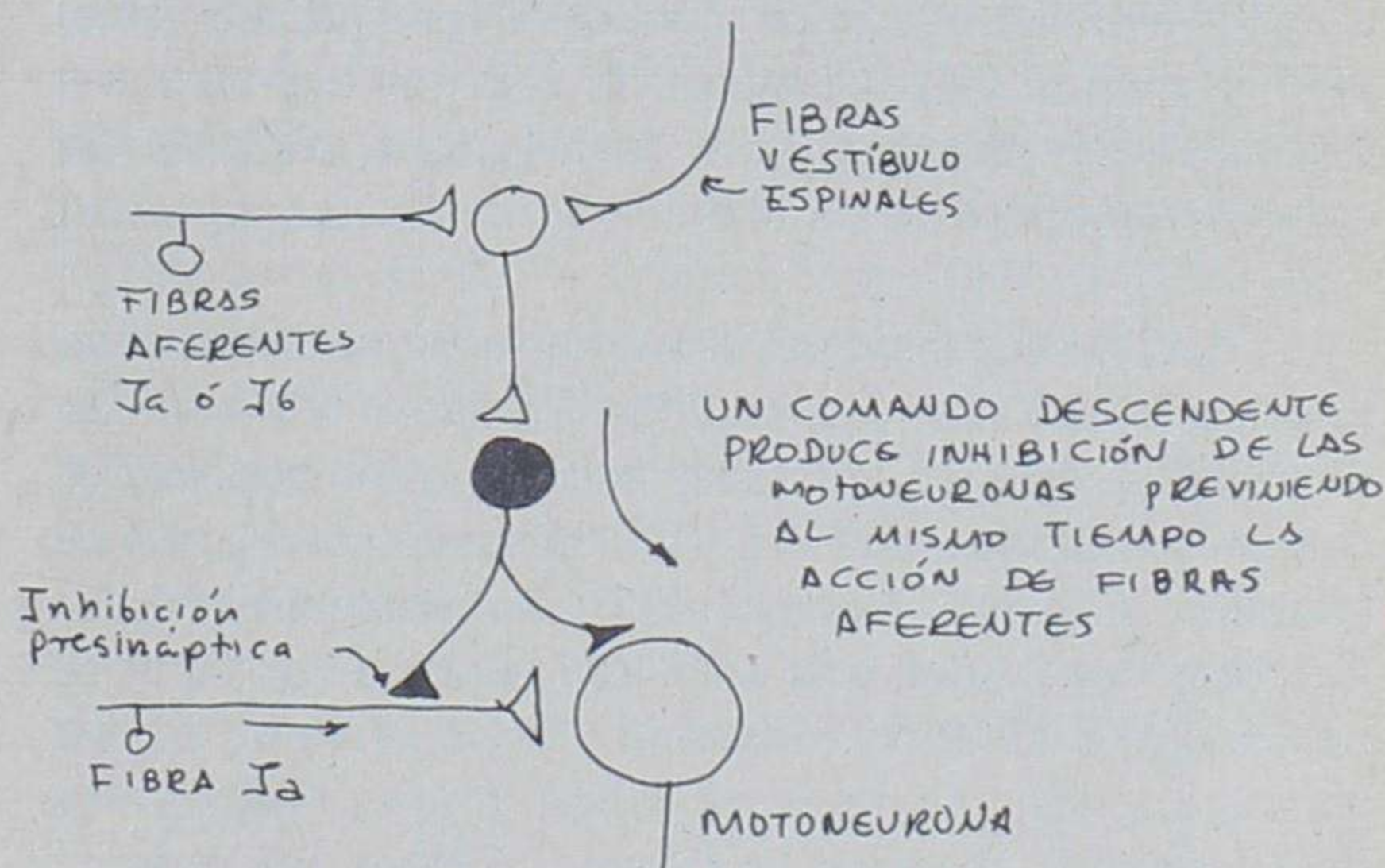


Figura 2

**RLR:** ¿Dónde está el soma de estas neuronas, o interneuronas?

Está en la médula espinal. Bueno, es decir, nosotros estamos estudiando estos fenómenos de control de información en médula espinal.



**RLR:** Entonces el centro receptor de estas señales es la médula. Por eso se dice aferente a esto y eferente a esto otro.

Sí. Es lo que iba a dibujar en este momento. Una sección de la médula espinal. (Figura 3.) Las motoneuronas están aquí. Las fibras aferentes entran aquí. Por ejemplo las Ia, que provienen de los husos musculares, hacen contacto con las motoneuronas; pero también hacen contacto con otras neuronas. Las motoneuronas son lo suficientemente grandes como para meter electrodos dentro de ellas, y estudiar así los cambios eléctricos producidos al estimular diferentes vías nerviosas. Por ejemplo, si se estimula la fibra Ia y registra uno en la motoneurona, se obtiene un potencial sináptico más o menos de un milivolt. Si uno estimula las vías que producen inhibición presináptica unos 40 milisegundos antes de estimular las fibras aferentes, disminuyen los potenciales sinápticos producidos por estas últimas.

**RLR:** ¿Ese sería el efecto clásico de inhibición presináptica?

En efecto, pero esto también depende de qué vías estimules. Por ejemplo, si estimulas las vías vestibuloespinales también se producirá un potencial postsináptico en la motoneurona, pero este no es inhibido.

Los aferentes de los husos musculares no son los únicos tipos de fibras que entran en la médula espinal. Hay otros que se originan en los receptores tendinosos, o que vienen de la piel, es decir, son receptores cutáneos. Su efectividad sináptica también puede ser controlada presinápticamente, pero por otras vías diferentes. O sea que hay toda una organización funcional en las vías que controlan la eficiencia sináptica de los distintos tipos de vías aferentes.

Uno puede imaginar esto como si fuera el control de luces de tráfico en una ciudad. Tú tienes una serie de neuronas que tienen entradas, salidas, están conectadas con otras neuronas, etcétera. Aquí tienes tú un conjunto de entradas, el mundo externo, el mismo sistema nervioso. Entonces vas a tener una serie de salidas a otros grupos neuronales o al mundo externo. Dependiendo de las combinaciones, puedes tener estos grupos neuronales desarrollando distintas funciones. Eso es un poco el equivalente a los chips de una computadora: tienes una serie de funciones definidas, pero dependiendo de los voltajes en los distintos sitios puedes tener una salida o no.

Recientemente se ha encontrado que la ejecución de cierto tipo de movimientos se produce a través de la activación de conjuntos específicos de neuronas que son activadas selectivamente por el sistema nervioso. Cuando uno piensa en un movimiento no sabe si va a activar tal o

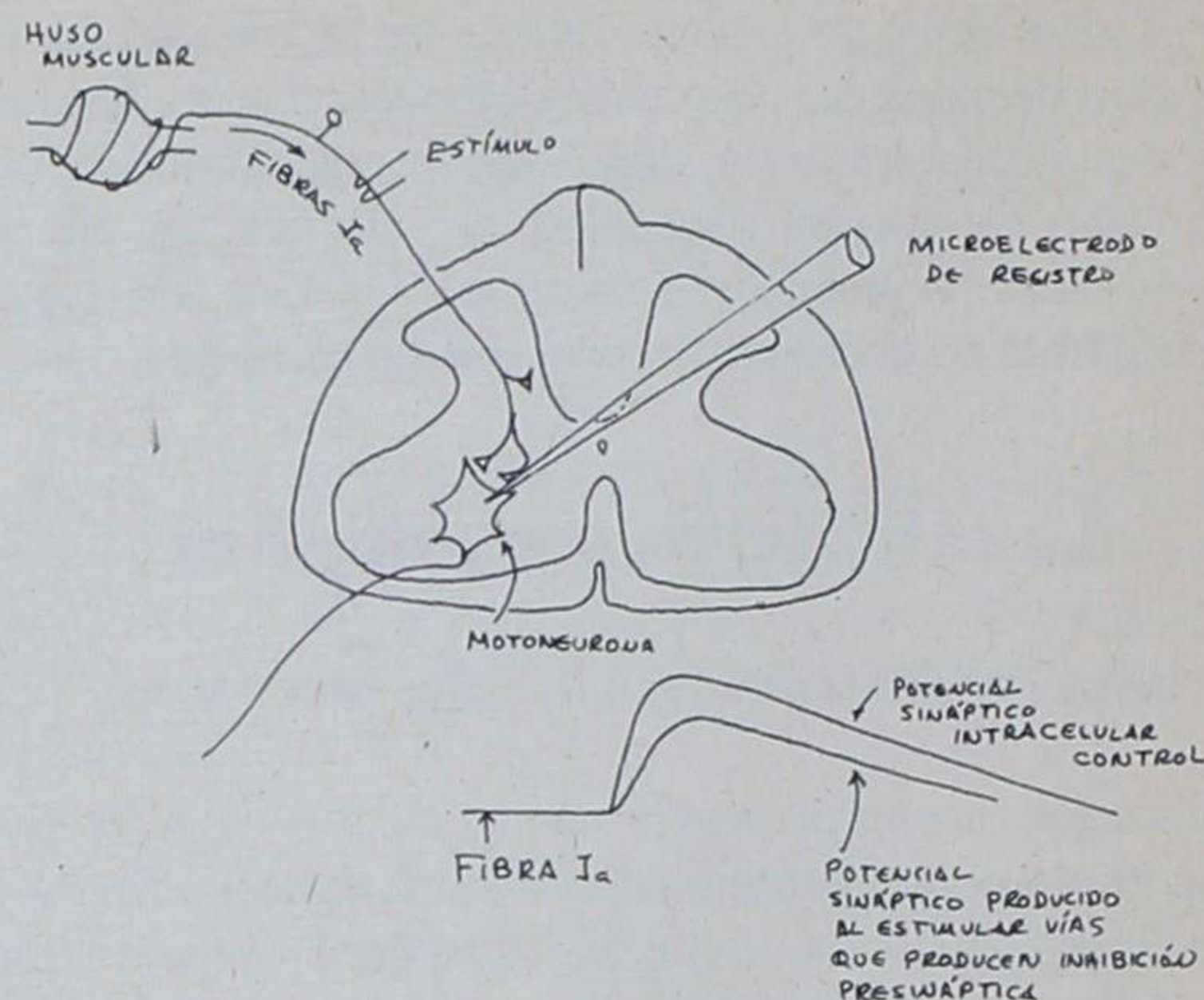


Figura 3

cual músculo, sino en el movimiento como un todo, como si hubiese una matriz de movimiento en el dominio espacio-tiempo. El conjunto de comandos descendentes traducen esa concepción en movimiento real.

Es muy complicado entender la secuencia de eventos que conducen a un movimiento integrado. Hay muchas hipótesis al respecto, pero el hecho es que el sistema nervioso actúa en una forma global, holística, sin considerar movimientos o acciones fraccionadas. Estas son ideas interesantes para la robótica y los sistemas de control; de alguna manera estas áreas reflejan nuestras representaciones o ideas sobre el sistema nervioso.

Una de las cuestiones que nos interesa particularmente es el control de las sensaciones dolorosas. El dolor es también una sensación y resulta de señales que vienen del mundo externo. También en ciertos estados de mal funcionamiento del sistema nervioso la información puede ser distorsionada e interpretada como dolor. Cuando se estimula la piel con un estímulo nociceptivo, por ejemplo al pincharla, se activan en la médula espinal una serie de dos o tres interneuronas las que a su vez terminan sobre motoneuronas que inervan a músculos flexores. Con ello el miembro afectado tiende a alejarse del estímulo nociceptivo. Esta es una reacción protectora. Al mismo tiempo las neuronas activadas proporcionan información a los centros superiores, la cual es interpretada como dolor.

Se han encontrado estructuras centrales, como los núcleos del rafe, que estamos estudiando, que al ser estimuladas producen analgesia. Es decir, bloquean en forma específica la sensación de dolor. O por lo menos (ya que en animal experimental no podemos hablar de sensación de dolor) aumentan el umbral de los reflejos flexores a un estímulo doloroso.



La acción analgésica producida por la estimulación de los núcleos del raquí se debe, en parte, a mecanismos de inhibición presináptica. También hay una liberación concomitante de endorfinas, que son péptidos que el mismo sistema nervioso produce para controlar las reacciones dolorosas. Esto equivale a que el organismo elaborase sus propias morfina.

Lo que estamos estudiando es cómo la estimulación de los núcleos del raquí afecta la información transmitida por aferentes cutáneos y musculares. Es curioso que cuando hablamos de dolor nos interesamos de inmediato, porque sentir dolor es una experiencia desagradable que queremos evitar siempre. Estamos muy condicionados a sufrir dolor; pero hay que reconocer que los sistemas que controlan las sensaciones dolorosas no son básicamente diferentes de los que controlan otro tipo de información. Lo que pasa es que cierto tipo de información en especial es codificada como dolor. Claro que si yo pido un donativo y me refiero a problemas de "dolor", va a llamar más la atención que si me refiero a mecanismos de control de la información aferente.

Uno de los problemas aún no resueltos es el de los mecanismos involucrados en el control presináptico. En la actualidad estamos haciendo unos experimentos encaminados a esclarecer la acción del baclofén, una droga que actúa sobre los receptores gabaérgicos tipo B, sobre la eficacia de la transmisión sináptica de fibras aferentes y fibras descendentes. Tengo los datos a la mano, que son muy interesantes. (Figura 4.) Mediante una técnica especial (la brecha de sacarosa) podemos registrar de las raíces ventrales en la médula espinal los potenciales sinápticos producidos en las motoneuronas. También podemos registrarlos intracelularmente de las motoneuronas. La estimulación de la formación reticular bulbar produce potenciales monosinápticos excitatorios en las motoneuronas. Si estimulamos el fascículo ventromedial, que contiene a las fibras retículo-espinales y las vestibulo-espinales, también se producen potenciales monosinápticos en las motoneuronas. Lo mismo sucede al estimular las fibras aferentes de los husos musculares. Veán ahora lo que pasa al inyectar baclofén, que, como les decía, activa receptores gabaérgicos de tipo B. O sea, como si se produjese inhibición presináptica.

Este es el registro control. A los cuatro minutos de haber dado baclofén, los potenciales producidos por la estimulación del nervio aferente desaparecen, persistiendo (aunque reducidos) los potenciales producidos por la activación de fibras descendentes aún después de 90 minutos de haber inyectado la droga. Esto demuestra que también hay diferencias funcionales en las membranas de las terminales de las fibras descendentes y de las fibras aferentes.

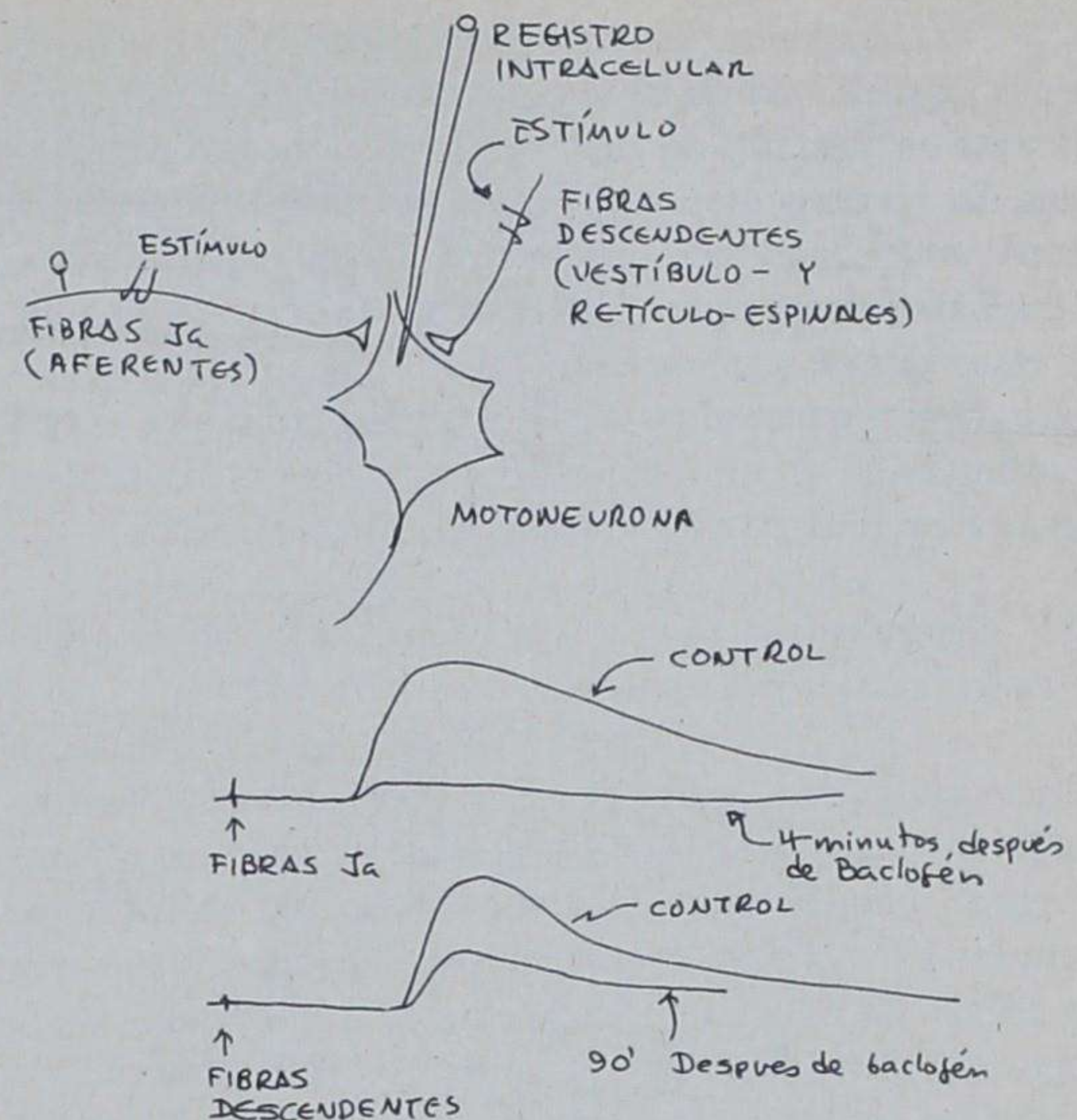


Figura 4

Tienen, probablemente, diferentes densidades de receptores gabaérgicos. Esto es interesante porque ofrece la posibilidad de bloquear con baclofén, y quién sabe con que otras drogas más, los efectos de información aferente sin afectar significativamente los comandos descendentes.

Estos hallazgos tienen una gran aplicación clínica que precisamente discutíamos hoy con el Dr. Velasco Suárez cuando visitó el laboratorio. Los pacientes con lesiones espinales parciales pueden presentar espasticidad. Pero persiste un cierto control motor. La espasticidad viene debido a una activación exagerada de interneuronas espinales por la información que reciben de los órganos periféricos. Si se da baclofén disminuye la espasticidad, pero el control voluntario no es afectado; acaba de salir un trabajo publicado sobre esto. Estos hallazgos son explicados por los resultados que les acabo de mostrar. De hecho confirman de alguna manera nuestra hipótesis inicial de que las fibras descendentes no están sometidas a inhibición presináptica.

Este es un buen ejemplo que muestra que el conocimiento detallado de las vías neuronales y de los transmisores involucrados en el control de la eficacia sináptica de estas neuronas puede llevarnos a la posibilidad de afectar la función de grupos específicos de neuronas, lo que es de gran interés clínico, sobre todo en casos de dolor intratable. Esta es una de las posibilidades que emergen de los estudios que nosotros y otros grupos de investigadores básicos hemos estado realizando.



Recientemente se han diseñado pruebas clínicas en humanos para medir la inhibición presináptica y determinar cómo se ve afectada en diversas condiciones experimentales. Se ha encontrado que durante movimientos voluntarios, en los músculos que se van a contraer disminuye la inhibición presináptica y en los otros músculos aumenta. Es claro que el conocimiento básico que muchos de nosotros hemos generado ya está pasando a la clínica y se está constituyendo en un elemento importante de diagnóstico del funcionamiento de los sistemas de control motor...

**CC:** *¿Se sabe qué pasa con la gente que controla o que pretende controlar voluntariamente el dolor?*

Hay investigación, por ejemplo, en yogas. Al estimular aquí en la piel se registran potenciales evocados en la corteza cerebral; cuando el yoga está en estado de trance no se registran los potenciales evocados en la corteza. O sea, que en estado de trance pueden bloquear la información que llega de la periferia al cerebro. Es probable que parte de esta inhibición se deba a la activación de los circuitos neuronales que producen inhibición presináptica.

También, durante la acupuntura se ha visto que se activan mecanismos de inhibición presináptica y que se liberan endorfinas. Eso lo hicieron investigadores chinos, pero aún no se ha estudiado con el detalle que amerita.

Estudios de este tipo son bastante costosos. Recientemente se acaba de sintetizar un producto, el panclofén, que es el antagonista del baclofén. Sería interesante determinar si su administración revierte la depresión de la transmisión sináptica aferente producida por la activación de vías que producen inhibición presináptica, o por la administración de baclofén. Pero siete miligramos valen como 300 dólares, lo que lo pone a uno nuevamente a pensar en dinero. A un gato le tenemos que dar como dos y medio o tres miligramos. Ahí es donde ya no puedes competir con investigadores del primer mundo que tienen muchísimo más recursos.

## En familia

**CC:** *En algún momento mencionó que su esposa es artista, pintora. ¿Y sus hijos?*

Sí. Ella fue alumna de Diego Rivera, grabadora. Flora Goldberg. Está muy activa. También eso le da oportunidad a uno de ver otras cosas, de asomarse a otro mundo. La vida de los artistas es todavía más difícil que la de los científicos. Cuando la hacen tienen oportunidades, pero mientras...

Tenemos dos hijos. Isaac, el grande, de 30 años, estudió matemáticas. Está en Filadelfia acabando su doctorado en computación. Está en *Computer Graphics* estudiando problemas de optimización que a mí me parecen muy interesantes. Se ha puesto a modelar cómo cae una tela sobre un cuerpo rígido. Depende de la textura, de la estructura, y uno dice: son problemas triviales. Pero resulta que tienen una aplicación extraordinaria, no sólo en la ciencia. También en la industria de la televisión, porque para hacer anuncios comerciales con computadoras uno de los problemas es que en los maniquís la ropa no tiene esa apariencia.

Le han hecho ofertas interesantes aquí mismo en México. Ofertas de diferente orden de magnitud. Si él regresa a la UNAM, porque estudió allí, tendría ahorita más o menos un sueldo de 1,200,000 pesos al mes con todo y su doctorado. Si se va a la televisión, donde lo invitaron, ganaría 3,500 dólares al mes. A mí me vino a preguntar: "Papá, qué hago". Y le dije: "Mira, yo te di la oportunidad, la decisión es tuya; ahí yo no te puedo decir". Pero eso te muestra la desproporción. ¿Cuánto es un millón y medio en dólares? Quinientos dólares. Quinientos contra 3,500, o sea, siete veces.







Adrián, el chico, empezó como ingeniero electrónico en la UAM y luego tuvo una experiencia en el terremoto del '85 que fue muy traumática para él. Lo sorprendió por Garibaldi. Se dedicó a salvar gente. Fue un *shock* muy fuerte para él, porque de repente vio la vida de una forma diferente y decidió que no le interesaba la ingeniería electrónica. Decidió dedicarse al cine, donde podía expresar sus ideas. Claro, también tuvo la influencia estética de la mamá. Está ahora en la Universidad del Sur de California. Le está yendo muy bien. Ya tiene beca allí y va a hacer su tesis, una película sobre la Revolución Mexicana, con sus puntos de vista muy personales.

Curiosamente a él le pasó al revés de lo habitual, porque había becas para minorías y a él no le querían dar una porque es "güero de ojos azules" y se apellida Rudomín Goldberg; le decían "No, usted no es latino". Les dijo: "Están locos; ser latino es una definición operacional. Yo quiero regresar a México, me interesan los temas mexicanos". Y finalmente le dieron la beca y está haciendo la tesis, como dije, sobre la Revolución Mexicana. Inclusive le permiten que la haga en español si quiere. Precisamente ahora está aquí de visita, juntando dinero para financiar la película. La tesis no se la financian; le dan la oportunidad de usar el equipo, pero hacerla cuesta como 30 mil dólares. Está juntando. O tiene 30 mil amigos de a dólar, o 300 de a 10 dólares.

En fin, que mis hijos hacen lo que les gusta, como yo hago lo que me gusta (cuando estoy en el laboratorio), porque asistir a reuniones, llenar formas, solicitar donativos, eso es muy frustrante. Hay que hacerlo, no queda de otra, pero trato de evitarlo en lo que puedo. En fin, pues. Así estamos.

### Ahora, el futuro

*RLR: Y ¿qué es lo que vas a seguir haciendo? ¿cuál es el campo en el que vas a seguir en el futuro predecible? ¿vas a seguir estudiando el dolor?*

Bueno. Nos estamos metiendo con problemas del dolor. El problema es que te vuelves experto en un tema y es para lo que consigues financiamiento. Si quieres cambiar de tema tienes que realizar un esfuerzo muy grande y hasta cierto punto riesgoso por lo que al financiamiento se refiere. Una de las cosas que me está dando vueltas en la cabeza desde hace mucho tiempo tiene que ver con aspectos más bien teóricos en relación a las propiedades emergentes de grupos neuronales. El problema consiste en que si tienes un conjunto de neuronas es muy difícil predecir cuál va a ser la función de ese grupo. Lo que estamos haciendo ahora es estudiar conexiones neuronales reducidas a ciertas preparaciones. El animal está anestesiado, estimulas aquí y registras acá, haces una serie de pruebas, o la anatomía, o lo que sea.



Ello te proporciona lo que podríamos llamar la matriz básica de la conectividad neuronal.

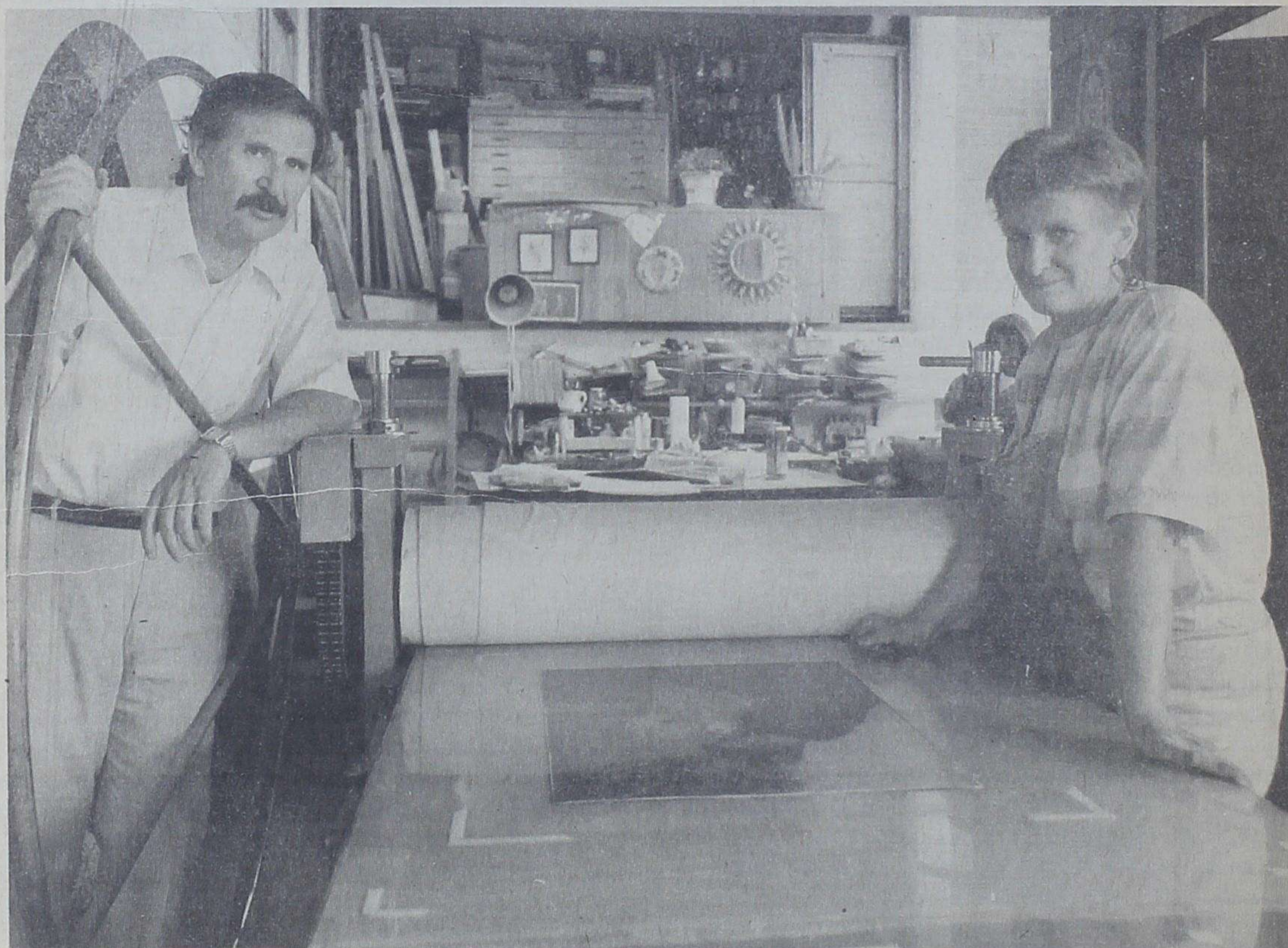
Las conexiones funcionales sólo podrán ser evaluadas cuando el organismo esté realizando esa función en particular. El conjunto de elementos neuronales recibe entradas y salidas excitatorias e inhibitorias, y las salidas de este conjunto neuronal dependerán del balance de excitación e inhibición recibidos.

Hasta la fecha no hay forma de predecir y analizar adecuadamente el comportamiento de conjuntos neuronales. A mí me interesa desarrollar una metodología que permita precisamente definir las funciones de grupos de neuronas de forma más integral. Esta es una de las cuestiones en las que me gustaría meterme más. Sin embargo, aquí realmente haría falta colaboración con gente teórica, que pudiese crear los modelos matemáticos necesarios. En mi visita más reciente a Israel acabo de volver a ver a un muchacho joven que me interesa mucho, a quien conocí en Estados

Unidos. Hemos planeado abordar este problema juntos. En una época yo tenía muchas ilusiones de hacerlo con Dutton, pero él dejó de trabajar en el Centro.

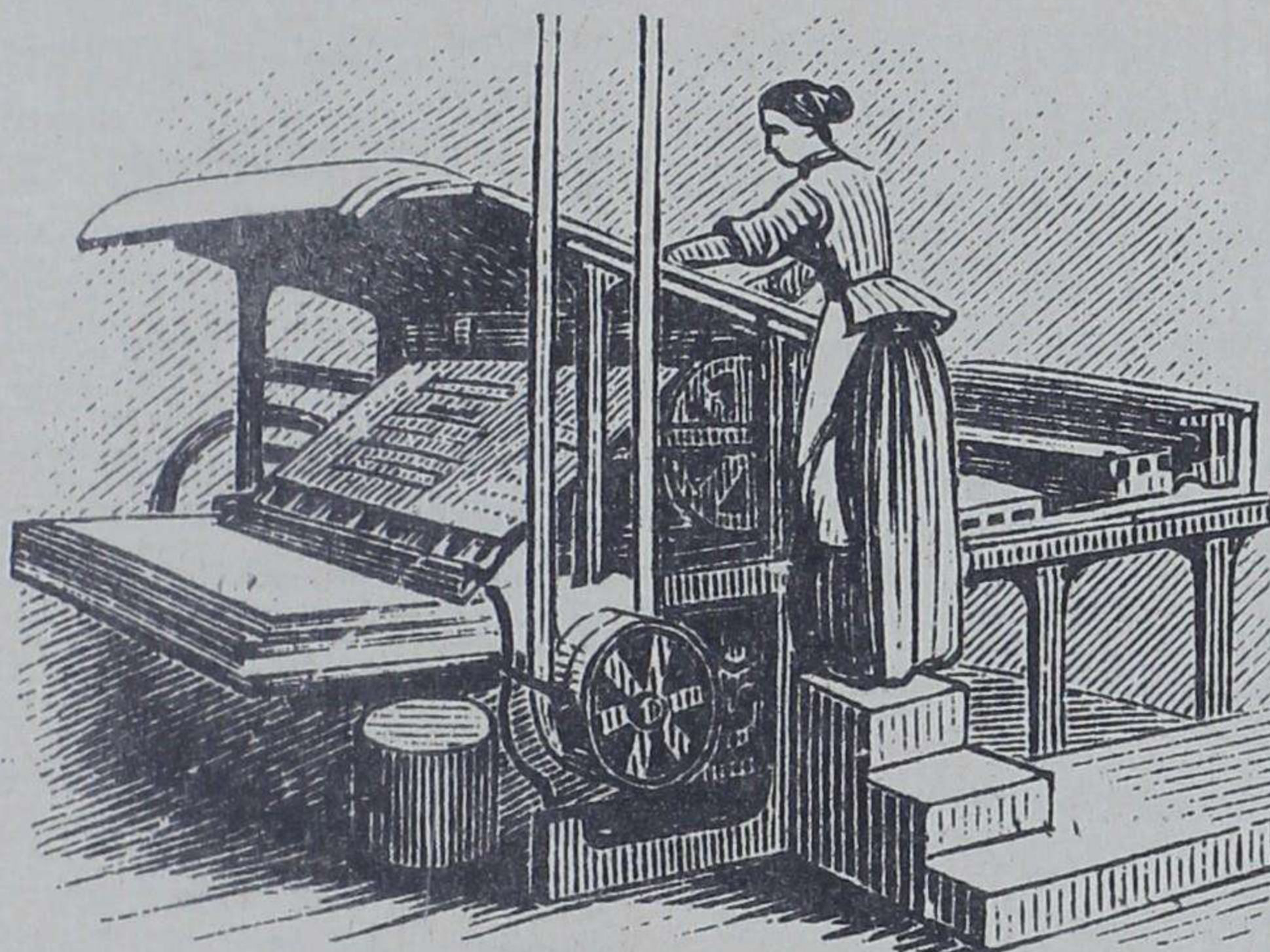
Lo que sí me angustia es el tiempo que se va pasando y que tengo que invertir cada vez más en otro tipo de labores. Muchas veces es difícil decir que no, y te vas metiendo. Debe llegar un momento en que realmente pueda controlar mi tiempo en una forma mucho más eficiente, y es a lo que aspiro. Ya no quiero meterme en cuestiones sin sentido.

Una de las cosas que más me han afectado es la muerte de Marcos Solodkin (aquí está su foto) hace un año exactamente. Estuvo diez años aquí en el laboratorio como mi colaborador. Yo contaba con que él y Ana (su esposa) iban a regresar, y acepté más estudiantes, en fin... Eso ha modificado la vida del laboratorio fuertemente; se requiere más de mi presencia...





# La evaluación del trabajo académico en Matemática educativa



**Guillermina Waldegg**

Cuando los editores de *Avance y Perspectiva* me invitaron a publicar sobre la evaluación del trabajo académico de Matemática Educativa, he de confesar que me horrorizó la idea de repetir una vez más -ante una audiencia que en ocasiones parece sorda- el argumento de que los educadores de la matemática no son esos sujetos que a los matemáticos les hablan de educación -porque no saben matemáticas- y a los educadores les hablan de matemáticas -porque no saben educación-. Sin embargo, ante la perspectiva de repetirlo un número indefinido de veces más en forma individual, me atrajo la idea de poder dar en lo sucesivo solamente la referencia bibliográfica.

La Dra. Guillermina Waldegg es profesora titular y jefa de la Sección de Matemática Educativa del CINVESTAV. Es egresada de la Facultad de Ciencias (Física) de la UNAM y su maestría y doctorado en Ciencias (Matemática Educativa) los realizó en el CINVESTAV. Su campo de investigación es la historia y didáctica del cálculo y la geometría.

## Matemática Educativa: una disciplina en formación

Dos preguntas flotan permanentemente en el ambiente de la comunidad del CINVESTAV -que, por lo demás, no son privativas de este Centro sino que surgen cada vez que se conforma un grupo interesado en la Educación Matemática-. Estas son: *¿Qué hacen en Matemática Educativa? ¿Por qué lo hacen en un centro de investigación científica?*

Es explicable que estas preguntas se planteen en los términos arriba mencionados por varias razones:

1.- En casi todo el mundo, los grupos de Educación Matemática se han gestado dentro de la propia comunidad científica -principalmente en la comunidad matemática-. Profesores de matemáticas y matemáticos preocupados por la enseñanza quienes,



justamente por su formación en una disciplina científica, han sentido la necesidad de buscar soluciones permanentes por la vía de construir un cuerpo teórico de conocimientos que expliquen y, en esa medida puedan modificar, los procesos de enseñanza y de aprendizaje de la matemática.

2.- Como cualquier disciplina que se empieza a conformar, la Educación Matemática lucha por abrirse un espacio propio. Hasta este momento, este espacio está invadido por todo aquel que haya tenido alguna experiencia, aunque sea aislada, en la enseñanza de las matemáticas. El universo de los "enseñantes de matemáticas" contiene, desde el excelente profesor que logró que sus alumnos le perdieran el miedo a la materia, hasta el estudiante brillante (y a veces no tanto) que se "ayuda" dando clases particulares. Además de que todo el mundo cuenta en su haber con las clases de matemáticas que tuvo que sufrir.

Esta experiencia compartida conduce a la creencia de que, tratándose de educación matemática, todos tenemos algún grado de autoridad para opinar y juzgar (como si el haberme sometido a una intervención quirúrgica me convirtiera automáticamente en cirujano).

3.- En tanto que los educadores de las matemáticas estamos en el proceso de aclarar a la comunidad la especificidad de nuestra disciplina -que, por lo demás, de origen es multidisciplinaria-, ésta se ve como un apéndice de otras ya establecidas. Infelizmente, en este proceso de construcción, es necesario pedir prestada aún la terminología. Entonces resulta que "educativa" es un adjetivo de "matemática" o bien "matemática" es un adjetivo de "educación", esto contribuye a que desde fuera no se perciba todavía a la Educación Matemática como una disciplina autónoma con problemática y metodología propias, lo que suscita que se planteen preguntas como las anteriores.

## Objeto y Método de la Matemática Educativa

A pesar de su largo pasado, la Educación Matemática tiene una historia corta. Ya los griegos nos dan una bella evidencia de su preocupación por la enseñanza

de las matemáticas en el *Menón* de Platón, en donde Sócrates se empeña en enseñar el razonamiento geométrico a un esclavo. Desde entonces y hasta la primera mitad de nuestro siglo se buscó la respuesta a la pregunta de cómo enseñar matemáticas, haciendo una reflexión *desde la matemática misma*. Hace menos de medio siglo que la atención (el objeto de estudio) se desplazó de los *objetos* matemáticos a los *sujetos* que enseñan o que aprenden matemáticas. Este cambio en el objeto de estudio produce una disciplina cualitativamente diferente: en tanto que el objeto de estudio son seres humanos y que se reconoce que el proceso educativo es el resultado de una interacción social, la manera de estudiar la problemática debe ser distinta, más cercana a los métodos empleados por las disciplinas sociales y humanísticas, sin perder de vista, desde luego, su estrecha dependencia de la matemática.

Aquellos que adoptan como axioma que *para enseñar matemáticas en forma efectiva no se necesita más que saber bien matemáticas*, parecen no caer en la cuenta que el axioma conduce a una regresión infinita ya que sólo desplazan el problema: ¿cómo debemos enseñar matemáticas a los que van a enseñar matemáticas?. Honestamente tendremos que aceptar que tal axioma es simplemente una verdad de perogrullo. Ciertamente, el contenido del mensaje que se debe transmitir (la matemática que hay que enseñar) tiene una importancia primordial, pero no podemos ignorar los mecanismos individuales y sociales para decodificar e interpretar tal mensaje.

Evidentemente -no hay que olvidar que los grupos de Matemática Educativa están conformados en gran parte por matemáticos- el conocimiento matemático es una condición *sine qua non* para la Educación Matemática. Pero éste no es el único ingrediente del platillo, por tanto, no esperamos que el dominio de la matemática llegue a los niveles de especialización de los investigadores en matemática. La dosis matemática deseable en un investigador en matemática educativa debe ser tal que le permita una comunicación fluída con un matemático. Esta comunicación se debe establecer en términos que hagan posible el planteamiento de preguntas interesantes sobre la matemática, elaboradas *desde el campo educativo*, y que el matemático no se plantea a causa de su propia especialización.



Otro tanto se puede decir de lo que respecta a educación. Hay desde luego, una gran intersección entre las ciencias de la educación y la Matemática Educativa, sin embargo, no podemos ignorar que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en general, y de la matemática en particular, heredan la especificidad de la disciplina en cuestión. Las dificultades que han de salvar los estudiantes y profesores de física tienen peculiaridades que se derivan de las estructuras teóricas y los métodos propios de la física

Son muchas las disciplinas que hace intervenir un educador de las matemáticas en su actividad, además de la matemática misma: psicología, lingüística, epistemología, historia, sociología, ciencias de la comunicación, antropología, además de las ciencias naturales a las que la matemática modela y que son zonas de incidencia de la educación matemática. Pero esto no implica -como podrían pensar los incrédulos crónicos- que el educador de las matemáticas es un "todólogo"; muestra, más bien, la amplitud del horizonte que debe contemplar para poder estudiar un problema tan complejo y con componentes tan diversas, y muestra, también, el grado de interacción que debe tener el educador de las matemáticas con otros especialistas.

Entendiendo que una ciencia queda definida por su objeto de estudio y por la metodología que emplea para estudiarlo -qué estudia y cómo lo estudia-, con las modificaciones propias de un desarrollo teórico siempre en construcción, la Educación Matemática queda configurada ya como un área específica del conocimiento: nuestro objeto de estudio son los individuos que aprenden o que enseñan matemáticas; los datos para la investigación los extraemos de los grupos sociales o de los propios individuos; hemos construido métodos que, aunque complejos, nos permiten estudiarlos. Nuestro objetivo es desarrollar un cuerpo teórico de conocimientos que expliquen y, por ende nos permitan modificar, los procesos educativos de la matemática.

## Los productos del trabajo académico en Matemática Educativa

Todo este largo prolegómeno no es mas que para tratar de explicar lo complejo que resulta la evaluación del trabajo de Matemática Educativa dentro de una

comunidad como la del CINVESTAV que, a pesar de ser tan heterogénea, tiene un paradigma científico bien claro y establecido, compartido por la gran mayoría de sus investigadores. Es comprensible que ante métodos científicos con añeja tradición, que han probado su efectividad en las ciencias experimentales, otros acercamientos produzcan un justificado escepticismo. Pero en tanto que las ciencias naturales no puedan dar una explicación satisfactoria de los complejos mecanismos que entran en juego en los procesos intelectuales y sociales, el mismo espíritu científico obliga a buscar caminos menos ortodoxos. La Educación Matemática enfrenta dos compromisos fundamentales:

- 1.- Dar soluciones a corto plazo a las demandas educativas de una población creciente en número y complejidad, y
- 2.- Desarrollar un cuerpo teórico de conocimientos que, a largo plazo, sustenten soluciones más permanentes.

Ambos caminos son necesarios, de la misma forma que la medicina debe atender a la población enferma, al mismo tiempo que busca prevenir a la población sana.

Para poder dar respuesta efectiva al primer compromiso, los productos del trabajo académico del investigador deben llegar directamente a la población involucrada y en una presentación que le sea accesible. Una gran cantidad del trabajo de Matemática Educativa, resultado de investigaciones más o menos profundas, toma cuerpo como textos para profesores y estudiantes, diseño de cursos y programas para la formación de profesores, conferencias, seminarios y cursillos para profesores en activo, material didáctico, periódicos murales, artículos de difusión, etc. Este tipo de material tiene una fuerte carga contextual: conocemos el público al cual queremos llegar y sus necesidades mas apremiantes. Si buscásemos únicamente los canales tradicionales utilizados por otras ciencias para difundir nuestros resultados -*revistas de reconocido prestigio internacional con arbitraje estricto*- estaríamos garantizando que buena parte de estos resultados nunca llegaran al destinatario. Mi participación en la COPBEP me ha permitido constatar que los profesores de la Sección de Matemática Educativa, en general, están muy por encima del promedio de



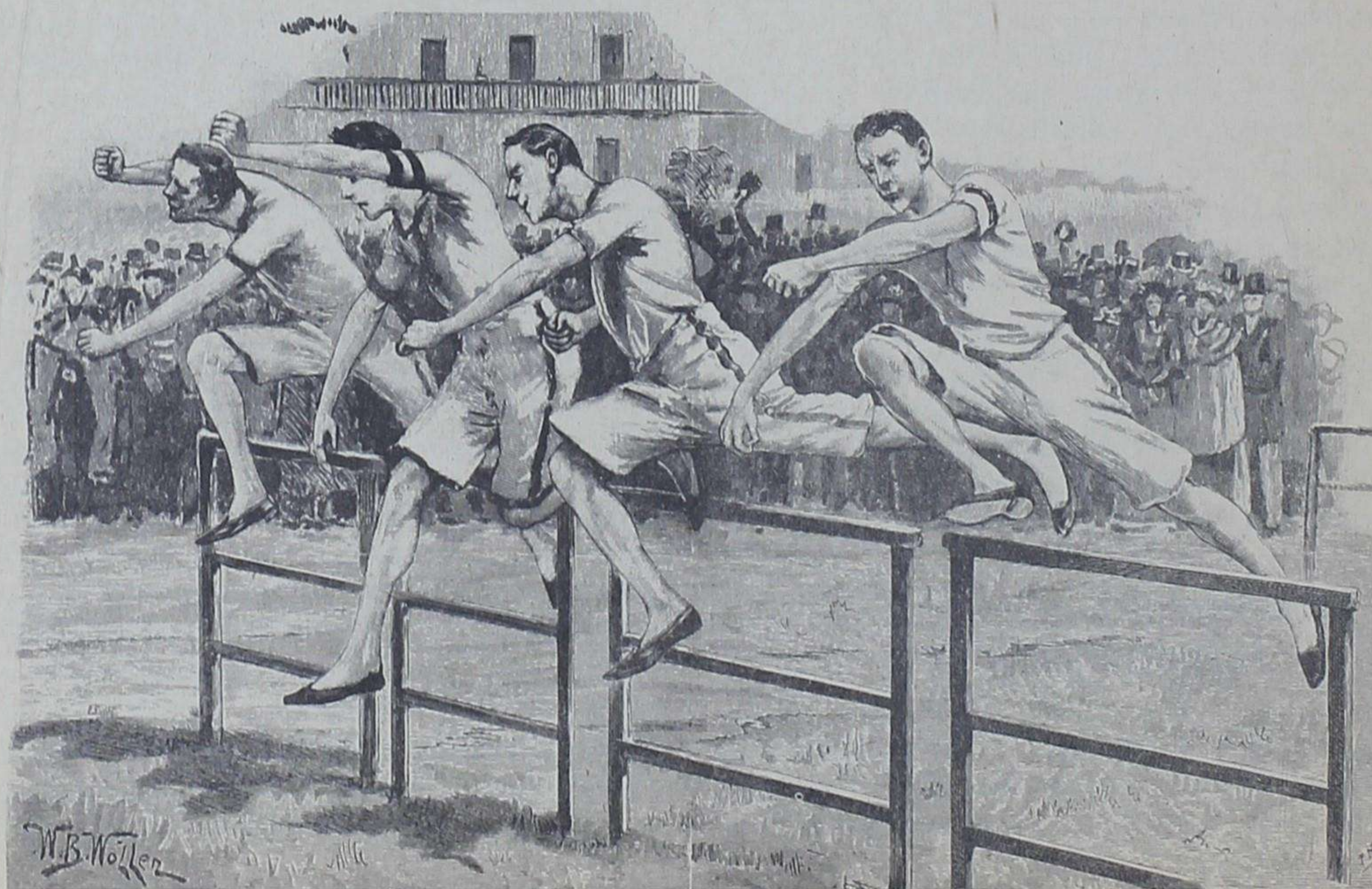
puntaje de sus colegas de otros departamentos del CINVESTAV en lo que se refiere a estos rubros, lo cual, por lo demás, resulta perfectamente natural.

No está de más aclarar que este tipo de trabajo, genuinamente anclado en los problemas prioritarios del país, no tiene por qué ser considerado de menor calidad que el que se difunde por otras vías, ni debería requerir de un abogado excepcionalmente hábil para defenderlo. Es un tipo de investigación aplicada cuyos productos llegan en forma expedita a los usuarios. Sin embargo, los representantes del Área Educativa en la COPBEP nos hemos enfrentado al hecho paradójico de que un profesor no pueda ser promovido a una categoría determinada a pesar de alcanzar y, a menudo rebasar, los puntajes requeridos, porque sus productos no toman la forma canónica de otras disciplinas.

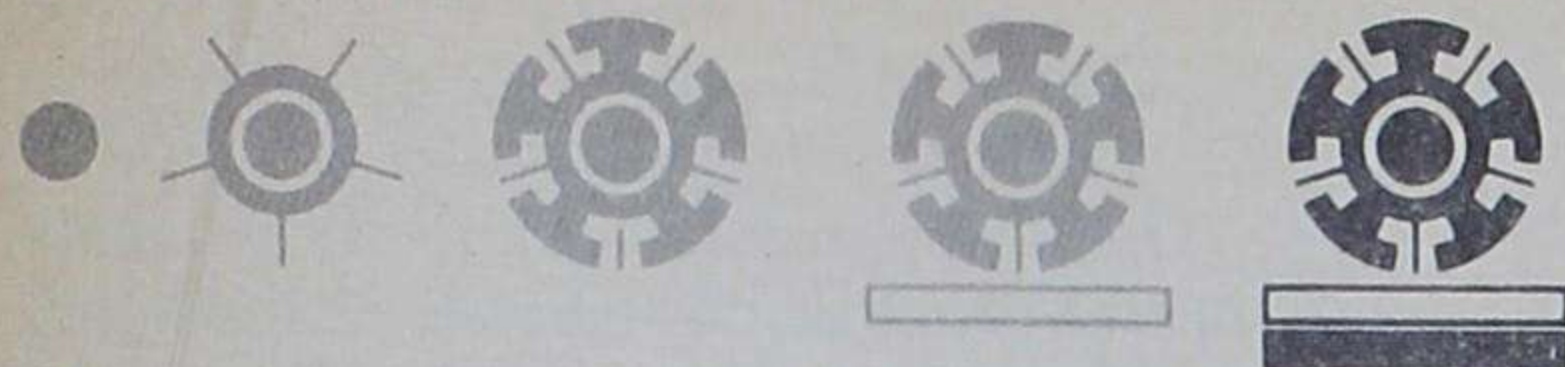
Evidentemente, los desarrollos teóricos en esta disciplina -como en otras- tienen características esencialmente diferentes. La relativa universalidad de los resultados requiere de una difusión más amplia entre los grupos de especialistas del mundo, que contribuya a la estructuración de las teorías. Pero, no olvidemos que la disciplina tiene menos de medio siglo de existencia y todavía estos grupos son escasos y no siempre bien consolidados; pretender que existan las

publicaciones periódicas con las características de tradición y prestigio de otras ciencias, es ignorar la historia del desarrollo científico -no estoy segura que Newton hubiera calificado en su época para Profesor Titular A del CINVESTAV en términos del número de publicaciones de 5 puntos-. En la actualidad, las revistas de investigación sobre Educación Matemática en el mundo, que hayan logrado una permanencia y continuidad considerable, no exceden la decena. Aunque permanentemente se hacen esfuerzos por mejorar las vías de comunicación entre los educadores de la matemática, no podemos decir que, a la fecha, tengamos las mejores condiciones para este fin.

No podemos desconocer los esfuerzos de los miembros de la COPBEP por adecuar sus criterios a la realidad de los distintos departamentos del CINVESTAV. Pensamos que los productos de Matemática Educativa paulatinamente han encontrado algún sitio dentro del documento de la Comisión. Sin embargo, desde mi punto de vista, no es deseable forzar a los investigadores a canalizar sus productos por una sola vía, con el riesgo alto de desatender el compromiso que dio lugar y justifica, en gran medida, el desarrollo de la propia disciplina en nuestro medio: llegar a los profesores de matemáticas de este país.







## noticias del centro

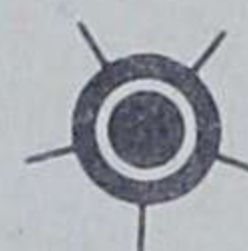
### *El Cinvestav ofrece el mejor programa de posgrado en Física de México*

En una reunión celebrada el pasado 19 de junio en las instalaciones del CONACyT, y a la cual fueron invitados los coordinadores académicos de todos los programas de posgrado en Física que se imparten en el país, se dieron a conocer los resultados de la evaluación de estos programas realizada durante 1988 por el Comité Asesor Técnico en el área de la Física del Programa de Fortalecimiento del Posgrado Nacional del propio CONACyT. De acuerdo con estos resultados, de entre los once programas de posgrado en Física que existen en el país - siete de ellos localizados en los estados y cuatro en el Distrito Federal - los programas de maestría y doctorado del Departamento de Física del CINVESTAV resultaron con las mejores calificaciones.

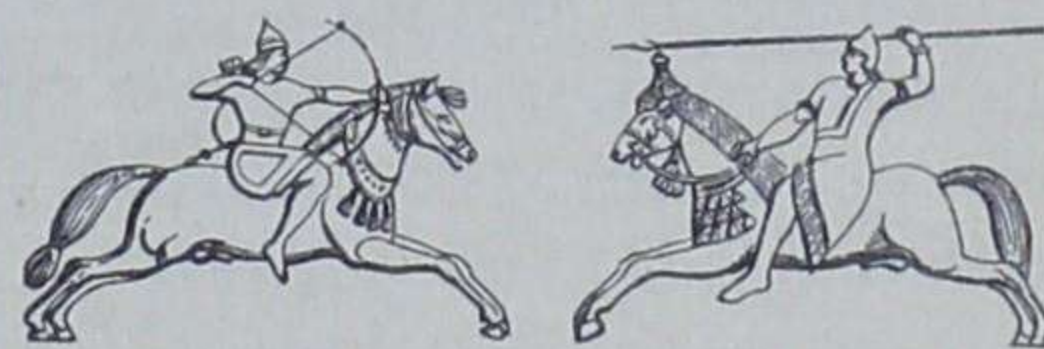
Este resultado viene a refrendar el obtenido en una evaluación similar realizada en 1984 por el mismo comité y que fue publicada en la revista Ciencia y Desarrollo en el número especial correspondiente a abril de 1987. Como en aquella ocasión, la presente evaluación fue muy exhaustiva y cubrió rubros como la experiencia y actividad de investigación de los profesores asociados a cada posgrado, la duración efectiva de los programas, el desempeño de los egresados, la infraestructura que mantiene dichos programas, el diseño curricular, etc. De acuerdo con esta evaluación, el único punto en el que el Departamento de Física tiene problemas estructurales resultó ser su espacio físico disponible (para profesores, estudiantes y para ampliar sus laboratorios y biblioteca). Según esto, esta limitación puede afectar gravemente el desarrollo y buen funcionamiento de este departamento.

El Comité Asesor Técnico que realizó esta evaluación estuvo coordinado por el Dr. Fernando del Río, profesor titular del Departamento de Física de la UAM-I y actual Presidente de la Academia de la Investigación Científica. Por parte del CINVESTAV participó el Dr. Augusto García, profesor titular del Departamento de Física. El resto del comité estuvo integrado por: Dr. Rubén Barrera (IFUNAM), Dr. Eduardo Carrillo (IFUNAM), Dr. José Luis Carrillo (ICUAP), Dr. Eugenio Cetina (UNISON), Dr. Francisco Mejía Lira (IFUASLP) y Dr. Julio Rubio (UAM-I).

### Notas breves



La Unidad Saltillo del CINVESTAV celebró un convenio de colaboración con el grupo industrial COMA de Saltillo, Coah. el cual está integrado por las empresas Metales y Aleaciones Especiales, Metálico y Regeneradora de Metales y Productos Químicos Siderúrgicos. Entre los objetivos de este convenio están realizar investigación y dar asesoría en la adaptación, innovación y desarrollo de tecnologías enfocadas a los metales y aleaciones no ferrosas y productos para la aplicación de éstos. Se contempla además la formación de recursos humanos a nivel de maestría que este grupo requiera para su desarrollo. Los responsables del convenio son el Dr. Manuel Méndez Nonell, Jefe de la Unidad Saltillo del CINVESTAV, y el Ing. Jesús Velázquez Rodríguez, Gerente de Plantas del grupo COMA.



La Sección de Electrónica del Estado Sólido (SEES) del Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV firmó un Convenio de colaboración con el Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia, en Bogotá, Colombia, y el Programa Internacional en Ciencias Físicas (PICF) de la Universidad de UPSALA, Suecia. El objetivo de este Convenio es fortalecer el trabajo de investigación en estas instituciones en los campos de la Física de Superficies y la



## Enrique Antoniano Mateos, nuevo Jefe del Departamento de Matemáticas



La Dirección del Centro propuso a la Junta Directiva al Dr. Enrique Antoniano Mateos como Jefe del Departamento de Matemáticas a partir del 16 de junio del presente año. El Dr. Antoniano Mateos sustituye en el cargo al Dr. Juan José Rivaud. El Dr. Enrique Antoniano Mateos es ingeniero químico (1969) y matemático (1970) de la UNAM. Sus estudios de maestría (1972) y doctorado en ciencias (1976, Matemáticas) los realizó en el CINVESTAV. Su campo de investigación es la topología algebraica. Tiene varias publicaciones sobre aplicaciones axiales,  $k$ -teorías de las variedades de Stiefel proyectivas y automapeos polinomiales de esferas. Ha sido profesor visitante en la UAM-I (1974-1975, 1986), la Universidad de Oxford, Inglaterra (1980), Universidad Anahuac (1987) y en la Universidad de Syracuse, EUA (1988-1989). Publicó los libros *Topología diferencial*, con S. Gitler (Depto. de Matemáticas, CINVESTAV), y *Geometría Euclídea I. ¿Geometría para qué?* (Limusa, México, 1984). Se incorporó al Departamento de Matemáticas en 1976 y ha sido coordinador y editor de los textos del Coloquio de Matemáticas que organiza el mismo departamento. El Departamento de Matemáticas cuenta con 22 profesores, 10 estudiantes de doctorado y 30 estudiantes de maestría.

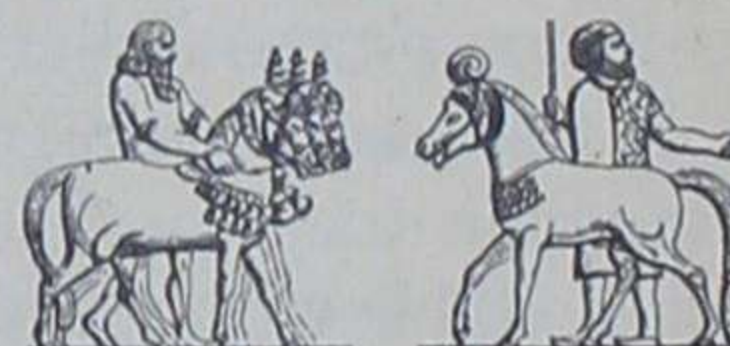
### Se instaló la COPBEP 1989

El pasado 19 de junio el Dr. Héctor O. Nava Jaimes, Director del Centro, instaló la Comisión de Promoción y Becas de Exclusividad y Productividad (COPBEP) para el período 1989. Su presidente es el Dr. Fidel Ramón Romero, actual jefe del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias. La COPBEP 1989 está integrada por el Dr. Enrique Campesino Romeo, Secretario Académico y miembro ex-officio de la comisión; del área de ciencias biológicas y de la salud

Ciencia de Materiales, particularmente en el estudio de las propiedades ópticas, electrónicas y microestructurales de superficies, interfases y materiales compuestos. Para ello se realizarán programas mixtos de doctorado y visitas de intercambio. El PICEF apoyará este convenio con becas para estudiantes, gastos de transporte y apoyo parcial para la compra de equipo involucrado en los proyectos de investigación que se generen en el convenio.



En el marco del convenio general de intercambio firmado entre la Universidad de Sevilla, España, y el CINVESTAV, se firmó un acuerdo de colaboración entre el Departamento de Investigaciones Educativas (DIE) del CINVESTAV y el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), así como el Departamento de Investigaciones Didácticas en Enseñanza de la Ciencia (DIDEC), ambos de la Universidad de Sevilla. La primera acción de este acuerdo comprende la organización del Seminario Iberoamericano de Formación de Profesores de Educación Básica y Media y de Investigación Educativa desde la Escuela, que se celebrará en Sevilla en diciembre de 1989.



Por primera vez en el CINVESTAV se impartió un curso de Física Experimental de Altas Energías durante la Escuela de Verano Avanzada del Departamento de Física correspondiente al presente año. El curso estuvo a cargo de los doctores Gerardo Moreno López, profesor del Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato (IFUG) y Luis Manuel Villaseñor, profesor de la Universidad Michoacana. Ambos obtuvieron su doctorado en esa especialidad en el CINVESTAV con tesis realizadas en el Laboratorio Fermi (Fermilab) de los EUA y en el Laboratorio Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN) de Ginebra, Suiza,



participan: Dra. Isaura Meza Gómez Palacio (Biología Celular) y Dr. Eugenio Frixione Garduño (Biología Celular y Fisiología); del área de ciencias exactas: Dr. Ciro Falcony Guajardo (Física), Dr. Miguel Angel Pérez Angón (Física) y Dr. Cristóbal Vargas Jarillo (Matemáticas); del área de ingeniería: Dr. Fernando Esparza García (Bioingeniería y Biotecnología), Dr. Jaime Mimila Arroyo (Ingeniería Eléctrica) y Dr. David Muñoz Rodríguez (Ingeniería Eléctrica); del área de ciencias sociales y humanidades: M. en C. Antonia Candela Martín (Investigaciones Educativas), Dra. Guillermina Waldegg Casanova (Matemática Educativa) y Dr. Eduard Weiss Horz (Investigaciones Educativas).

### ***Beca Guggenheim para Alberto Darszon***

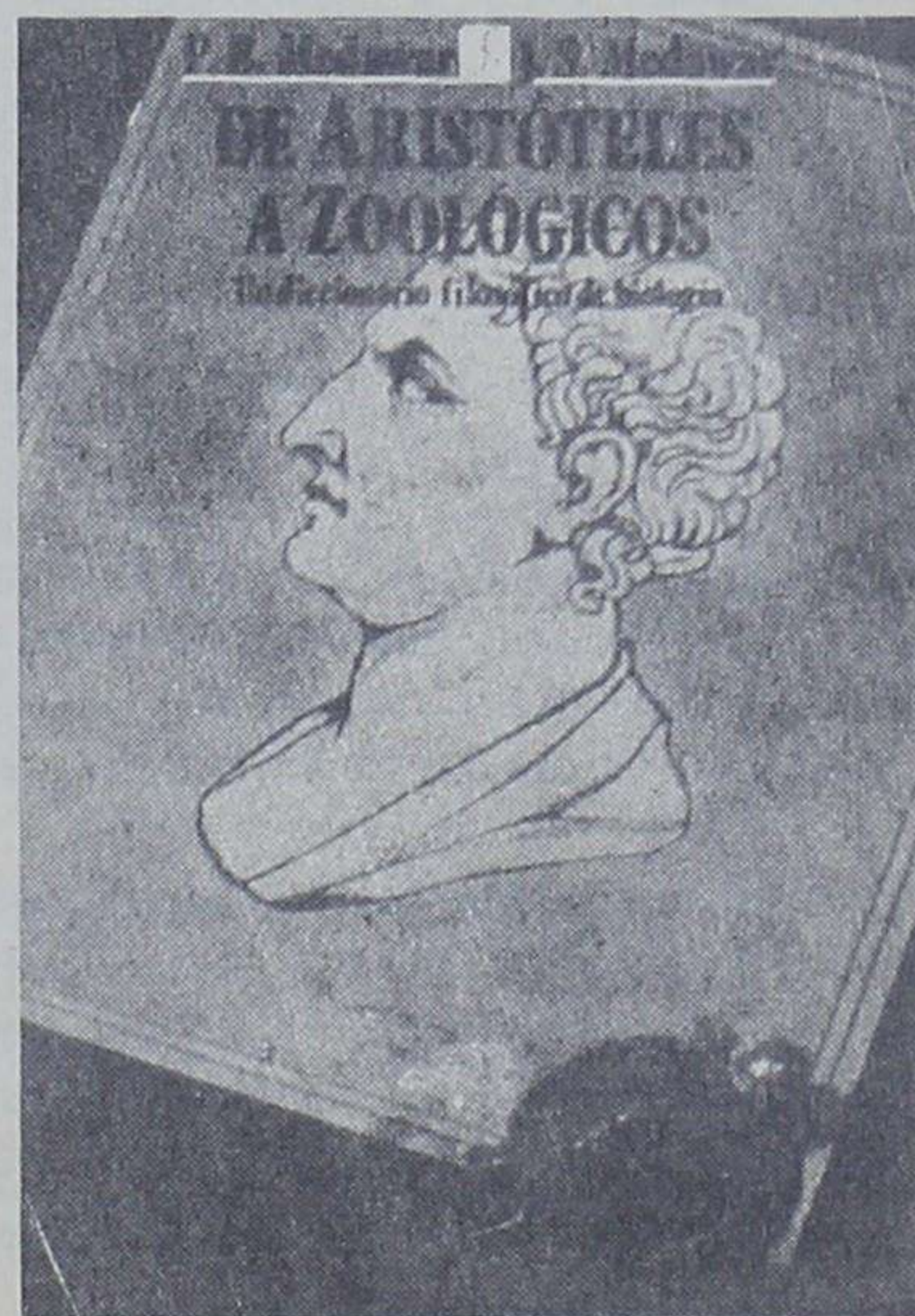
El Dr. Alberto Darszon, profesor titular del Departamento de Bioquímica del CINVESTAV, recibió una beca otorgada por la Fundación John Simon Guggenheim de los EUA para realizar el estudio "Permeabilidad de las membranas durante la fertilización". En esta ocasión, la Fundación Guggenheim otorgó este tipo de apoyo a siete artistas, escritores y científicos radicados en México. El Dr. Darszon ha recibido también el Premio de la Academia de la Investigación Científica en Ciencias Naturales y el Premio Miguel Alemán.

### ***El Cinvestav en la Expo Tecnológica FONEI***



El Fideicomiso para el desarrollo industrial en el Banco de México organizó entre el 4 y el 6 de julio una muestra de los resultados obtenidos por las empresas y centros de investigación que han invertido en el desarrollo tecnológico nacional. El CINVESTAV presentó sus aportaciones en electrosíntesis (Departamento de Química), servicio externo de plantas piloto (Unidad Saltillo), microscopía electrónica (área biológica), planta piloto de fermentaciones (Biotecnología y Bioingeniería) y servicios de calibración y asesoría en sistemas de medición (Metrología).

respectivamente. El curso consistió en la construcción de un detector de centelleo de muones para determinar la vida media de estas partículas; como fuente de muones se utilizó una muy barata: los muones producidos en condiciones normales en la atmósfera por los rayos cósmicos. En este curso participaron, además de estudiantes del CINVESTAV, estudiantes de las Universidades Michoacana, de Guadalajara, y las Autónomas del Estado de México y Puebla. El equipo utilizado en el experimento de los muones fue facilitado por el Fermilab, el IFUG y la U. Michoacana. Se contó también con el apoyo del personal de la Sección de Metrología del propio CINVESTAV, en especial del Ing. Esteban Enríquez Castañeda. Este mismo curso se ofrecerá nuevamente en el Segundo Taller de Partículas y Campos que se celebrará en la Universidad Autónoma de Puebla del 13 al 17 de noviembre próximos y estará organizado por la División de Partículas y Campos de la Sociedad Mexicana de Física. Para mayores informes, comunicarse con la Dra. Rebeca Juárez al tel. 586-2806.





## Graduados entre abril y junio de 1989

**Rafael Alfredo Chávez Rivera**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Bioingeniería, 7 de abril. Digestión acidógena de lodos residuales. Asesor: M. en C. Vicente López Mercado.

**Luis Arturo Bello López**, Maestro en Ciencias en la especialidad de Bioingeniería, 28 de abril. Diseño y caracterización por simulación de un extractor líquido-líquido para la recuperación de cafeína a partir de pulpa de café. Asesor: M. en C. Alfredo Larios Saldaña.

**Antonio Jesús Díaz de León Corral**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biología Marina, 7 de abril. Modelo de optimización no lineal con criterios múltiples aplicado al manejo y control de una pesquería tropical: el caso del pulpo (*Octopus maya*) de la plataforma continental de Yucatán. Asesor: Dr. Juan Carlos Seijo Gutiérrez.

**Ileana Catalina López Galvez**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biología Marina, 5 de junio. Efecto de la salinidad, temperatura y tiempo de inmersión en agua sobre la lixiviación de nutrientes hidrosolubles en dietas comerciales para peces y crustáceos en México. Asesor: Dr. Carlos Antonio Martínez Palacios.

**Martha Alicia González Solís**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biología Marina, 30 de junio. Patrones de distribución geográfica de las clases Bivalvia y Gastropoda de la Península de Yucatán. Asesor: Dr. Ernesto Aarón Chávez Ortiz.

**Rosaura Hernández Rivas**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biología Molecular, 9 de junio. Localización, clonación y estudios de la expresión de alfa tubulina en *Entamoeba histolytica*. Asesora: Dra. María Esther Orozco Orozco. Continúa su programa de doctorado en el CINVESTAV.

**Rodolfo Farías Rodríguez**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biología Vegetal, 6 de mayo. Las poblaciones bacterianas de la rizósfera de papa (*Solanum tuberosum* L.). Asesor: Dr. Juan José Peña Cabriaes.

**María del Carmen Montes Horcasitas**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biotecnología, 12 de mayo. Deshidrogenación del compuesto "s" de Reichstein por células de *arthrobacter simplex* inmovilizadas. Asesor: Dr. Ignacio Magaña Plaza. Se incorporó a la planta de profesores del Departamento de Biotecnología del CINVESTAV.

**Germán Alvarez Mendiola**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Educación, 26 de mayo. El conflicto en la UNAM de 1986-1987. Asesor: Lic. en Fil. Francisco Olac Fuentes Molinar. Continúa su doctorado en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Campiñas, Brasil.

**Joaquín Hernández González**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Educación, 16 de junio. La enseñanza de las ciencias naturales: entre una (Re) descripción de la experiencia cotidiana y una resignificación del conocimiento escolar. Asesora: Dra. Ruth Paradise Loring. Continúa su programa de doctorado en la Universidad de Chicago, EUA.

**Juan Carlos Molina Covarrubias**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Farmacología, 21 de abril. Efectos de la adenosina sobre la recuperación de la función contráctil durante la reperfusión y reoxigenación en corazones aislados de cobayo previamente sometidos a isquemia o a hipoxia. Asesor: Méd. Cir. Jorge Manuel Peón Domínguez. Se incorporó a la Sección de Medicina Interna del Hospital Tacubaa del ISSSTE en México, D.F.

**José Angel Marquez Conde**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Farmacología, 19 de mayo. Caracterización del efecto de agonistas serotoninérgicos 5-HT<sub>1</sub> sobre músculo liso vascular. Asesor: Dr. Enrique Hong Chong. Se integró a la planta de profesores de la Universidad Juárez de Durango.

**Zurisaddai Hernández Gallegos**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Farmacología, 8 de junio. Análisis cuantitativo de la relación estructura-actividad de ciertos analgésicos opiáceos y de anticonvulsivantes nuevos. Asesor: Dr. Pedro Alberto Lehmann Feitler. Continúa su doctorado en el Departamento de Farmacología del CINVESTAV.

**Leonardo Palacios Morón**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Física, 20 de abril. Una clase de soluciones tipo D. Asesor: Dr. Jerzy Franciszek Plebański Rosiński. Continúa su doctorado en el CINVESTAV.

**J. Jesús Toscano Chávez**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Física, 20 de abril. El decaimiento  $H \rightarrow \delta \delta$  en teorías de norma con simetría izquierda-derecha. Asesor: Dr. Miguel Angel Pérez Angón. Continúa su doctorado en el CINVESTAV.

**Agustín Enciso Muñoz**, Maestro en Ciencias en la Espe-



cialidad de Física, 18 de mayo. Límite de alta energía y/o masa nula de bosones de norma. Asesor: Dr. José Luis Lucio Martínez. Continúa su doctorado en el CINVESTAV.

**Mauro Napsuciale Mendivil**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Física, 31 de mayo. La formulación de un modelo susy en términos de espinores algebraicos. Asesores: Dr. José Luis Lucio Martínez y Dr. Humberto Antonio Salazar Ibarguen. Se integró a la planta de profesores de la Universidad de Sinaloa.

**Arturo Ponce Balderas**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Fisiología y Biofísica, 28 de junio. Estudios de la biogénesis y polaridad de los canales de membrana de células epiteliales. Asesor: Dr. Marcelino Cereijido Mattioli. Continúa su doctorado en el CINVESTAV.

**Luis Rubén Rusiles Zamora**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 3 de abril. Precompilador de C++ a C. Asesor: Dr. Josef Kolar Sabor. Continúa su doctorado en la Universidad de Osaka, Japón.

**Luis Guillermo De Ita**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 7 de abril. Método RM para la demostración automática de teoremas. Asesor: Dr. Guillermo Benito Morales Luna.

**Alejandro Peña Casanova**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 14 de abril. Implementación de un sistema para el desarrollo de prototipos de software. Asesor: Dr. Josef Kolar Sabor.

**María de la Luz Olvera Amador**, Maestra en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 17 de mayo. Diseño y fabricación de celdas solares de silicio monocristalino con uniones puntuales. Asesores: Dr. José Arturo Morales Acevedo y M. en C. Mauricio Ortega López. Se integró a la planta de profesores de la Sección de Electrónica del Estado Sólido del CINVESTAV.

**Roberto Salas Zúñiga**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 1o. de junio. Identificación de sistemas dinámicos por el método de la variable instrumental. Asesores: Dr. José Luis Leyva Montiel y Dr. Edgar Sánchez Campero. Se integró a la planta de profesores de la Unidad Querétaro del ITESM.

**Antonio Campos Ruiz**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 29 de junio. Diseño de observadores para sistemas no lineales. Asesor: Dr. Jaime Alvarez Gallegos. Continúa su programa de doctorado en la Universidad de Enschede, Holanda.

**Blanca Rosa Pérez Araoz**, Maestra en Ciencias en la Especialidad de Matemática Educativa, 15 de junio. El conteo

en la adquisición del concepto de número. Asesores: Dra. Blanca Margarita Parra Mosqueda y Dr. François Pluvinage. Se incorporó a la planta de profesores del Departamento de Matemática de la UAM-I.

**Germán Carranco Rivera**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Matemáticas, 20 de junio.

**Eduardo Alberto González de los Santos**, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Química Orgánica, 27 de junio. Interacciones anoméricas en elementos del segundo período. Análisis conformacional de 5-metil-5-aza-1, 3-ditiaciclohexanos-2-sustituídos. Asesor: Dr. Eusebio Juaristi y Cosío. Se integró a la planta de investigadores del Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coah.

**Jorge Eduardo Herrera Abarca**, Doctor en Ciencias en la Especialidad de Farmacología, 12 de mayo. Características farmacológicas del TR-5379, un nuevo analgésico opiáceo de baja potencialidad de producir dependencia física. Asesor: Dr. Julián Ernesto Villarreal Castelazo.

**José Alfredo López Mimbela**, Doctor en Ciencias en la Especialidad de Matemáticas, 29 de junio. Teoremas límites para campos aleatorios ramificados multitypo. Asesor: Dr. Luis Gabriel Gorostiza Ortega. Se reincorporó a la planta de profesores de la Universidad Autónoma de Zacatecas.

la  
ciencia  
desde México  
SEP 

Ruy Pérez Tamayo  
40. ACERCA DE MINERVA

Jorge Flores Valdés  
41. LA GRAN ILUSIÓN  
III. Las ondas gravitacionales

Silvia Bulbulian  
42. LA RADIATIVIDAD

Georges Dreyfus Cortés  
43. EL MUNDO DE LOS MICROBIOS

Eduardo Piña Garza  
44. CACERÍA DE CARGAS

Fernando Martínez Cortés  
45. LA MEDICINA CIENTÍFICA Y  
EL SIGLO XIX MEXICANO



## Rincón Epistemológico



# ¿Para qué sirve la Historia de la Ciencia?

**Rolando García**

Un periodista entrevistó cierta vez a la más famosa bailadora flamenca de su época, y al finalizar el reportaje le muestra una foto de ella y le pide le escriba una dedicatoria.

- Pué yo no sé escribí.
- El periodista no pudo ocultar su asombro.
- ¿Cómo, nunca aprendió usted a escribir?
- La respuesta fue cortante:
- Ni mardita la falta que me ha hecho

Y se despidió con una sonrisa, para ir a saludar a la larga fila de admiradores que aguardaban a la salida de los camarines.

Esta anécdota circuló en mi juventud entre los que éramos fanáticos de la música flamenca. Era una juventud, adolescente aún, que si bien escuchaba con

devoción a Andrés Segovia, en sus transcripciones de Bach, creía sinceramente que Carlos Montoya (quien acompañaba a la bailadora) no le iba en zaga ni en el dominio de la guitarra, ni en transmitir emociones.

El episodio me ha vuelto a la mente en numerosas oportunidades, muchos años después, conversando con colegas --científicos "puros" -- acerca del valor y la importancia de la historia de la ciencia la filosofía de la ciencia, la epistemología ... Aunque mis preguntas fueran más elaboradas y mucho más prudentes que la pregunta del periodista, las respuestas eran similares a las de la bailadora. Sólo faltaba el fuego y el acento gitano.

En cierta institución, un grupo de colegas me pidió un seminario sobre epistemología e historia de la ciencia, e informaron a otros grupos, invitándolos a participar. De uno de ellos me mandaron preguntar si no quería ir primero a darles una plática "para tener una muestra de lo que era eso". Respondí, a través del mensajero, que yo no era vendedor ambulante de epistemología, ni me sobraba tiempo para ir distribuyendo propaganda de "mis productos". Ignoro si el mensaje llegó a destino.

---

El Dr. Rolando García es profesor titular y jefe de la Sección de Metodología y Teoría de la Ciencia. Es profesor emérito de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Su campo de investigación es la termodinámica de procesos irreversibles, la teoría de sistemas disipativos aplicada a la evolución de sistemas complejos abiertos, así como el desarrollo de las disciplinas científicas en el siglo XIX.



En contraste con esa actitud, muchos de los grandes científicos (también “puros”) sintieron la necesidad de explorar las raíces y la evolución de los conceptos y teorías que manejaban en su propia disciplina.

Un matemático de la talla de Henri Lebesgue, por ejemplo, estudió a fondo la historia de todos los temas que abordó. Después de una de las brillantes introducciones históricas en el curso que daba Lebesgue en la Escuela Normal Superior de Sevres, una de sus asistentes se atrevió a preguntarle:

- Pero entonces, Maestro, ¿usted hace Historia de la Ciencia?

A lo cual respondió Lebesgue:

- No, señorita, yo hago Ciencia.

En la nota crítica al libro de Niels Nielson sobre los geómetras franceses en el período de la Revolución, hay una reflexión de Lebesgue que da el sentido preciso de aquella respuesta:

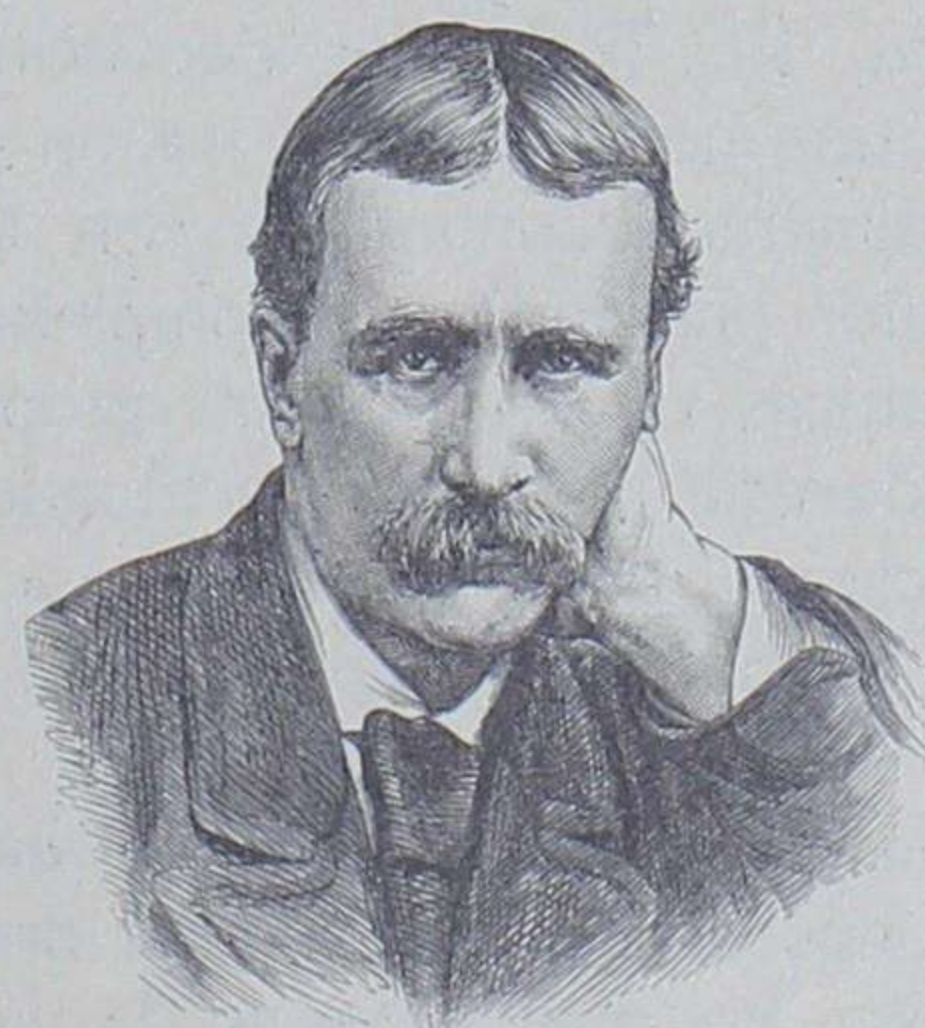
“A diferencia del historiador, el objetivo del matemático, al hacer el estudio del pasado, es el porvenir; va en busca de la manera de seguir adelante”.

Surge, entonces, la pregunta: ¿qué es lo que ese matemático estudiaba del pasado? El propio Lebesgue da la respuesta. En una de sus cartas, donde da consejos a un joven científico que decidió impurificarse y dedicarse a la historia de la ciencia, plantea en qué consiste “la historia de la adquisición de un hecho matemático (*un fait mathématique*)”. Y él -que revolucionó el Análisis- señala que “es siempre la historia de un lento y largo trabajo colectivo”. Pero allí introduce una distinción fundamental. Rechaza la historia que consiste en nombres, fecha y títulos de obras; la historia “que presenta las cosas como si la verdad surgiera de una onda en su clara y radiante belleza, y totalmente armada” (y podríamos agregar: que es la mentira que se transmite a los alumnos a través de cursos y de textos). El practicaba otro tipo de historia “... en los escritos antiguos -dice en la misma carta- se puede seguir de cerca los trabajos, ver los éxitos y los fracasos, poner en evidencia la idea falsa, el prejuicio persistente que había engañado, la versión perspicaz e inteligente que permitió descubrir la

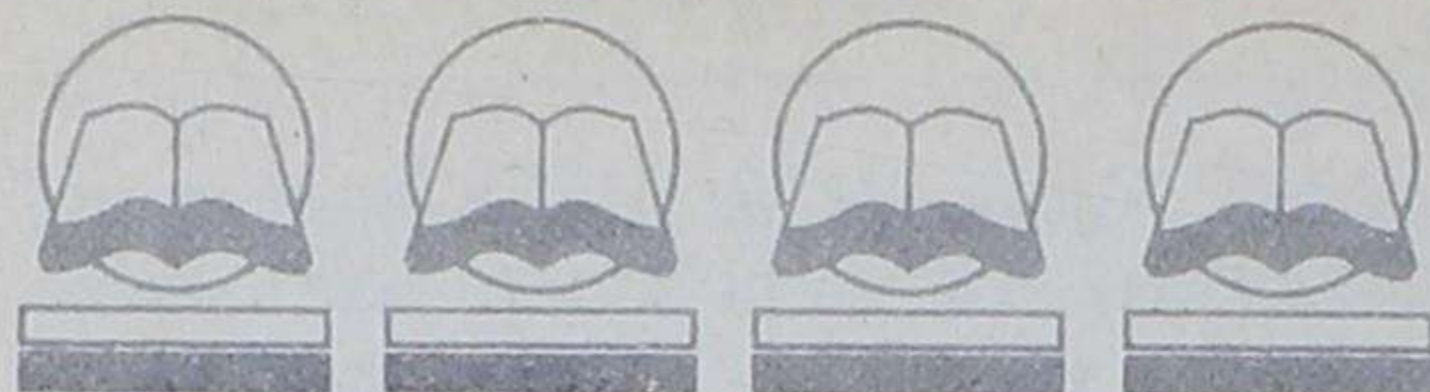
buena senda”. Algunos años más tarde el agudo historiador holandés Dijksterhuis (que, dicho sea de paso, era físico) hizo una distinción similar entre dos tipos de historia. Llamó a la primera “la historia como crónica”; y a la segunda, “la historia como laboratorio epistemológico de la ciencia”. Creo que, en su segunda acepción, la historia de los científicos que hicieron historia de la ciencia, y se metieron en los problemas epistemológicos de su disciplina, muestra que tales preocupaciones no eran un simple “adorno” (como lo era, para las niñas casaderas de antaño, saber ejecutar al piano “Para Elisa”, -sin equivocarse- delante de los padres de sus pretendientes).

No fue una extravagancia de Heisenberg, cuando lo invitó la Universidad de Chicago a dar una serie de conferencias sobre su concepción de la teoría cuántica, comenzar su primera exposición con reflexiones históricas y epistemológicas. Sucedió simplemente que el concepto de “explicación científica” había cambiado (una vez más, pero esta vez más profundamente, una gran lástima, porque antes era tan clarito, ¿no?). Y Heisenberg se sentía obligado a explicar que la explicación que antes se daba para explicar qué era la explicación, ya no servía para explicar lo que él quería explicar; y que si no explicaba eso, nadie entendería sus explicaciones. Dicho de otro modo: para comprender lo que antes no se comprendía, había sido necesario cambiar la noción de “comprender”. Pero la noción de comprender también tiene su historia... que es necesario comprender para poder llegar a tal conclusión. Por eso, la historia de la explicación es parte de la explicación de la historia.

Ahí esta la raíz de la idea de “la historia como laboratorio epistemológico de la ciencia”. Se comprende, ¿no?





**libros**

**Introducción a la estadística en las ciencias biomédicas, Jorge García Peña. Pronfopab (Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas/SEP/Alhambra Mexicana, México, 1988), 135 págs.**

Esta breve pero rigurosa presentación de los conceptos básicos de la estadística, útil no solamente en las ciencias biomédicas, viene a llenar una necesidad imperiosa al proporcionarnos un libro de texto que es adecuado para usarse en cursos introductorios de este tema a nivel licenciatura o superior. Suple adecuadamente otras fuentes poco accesibles que usábamos anteriormente.

Consta de cinco capítulos en secuencia lógica que le permitirán a un lector interesado aprender este tema difícil en forma autodidacta, ya que el autor procede en forma clara al presentar primero los conceptos básicos y, a partir de ellos, edificar sistemáticamente todo el edificio necesario. Estos capítulos son:

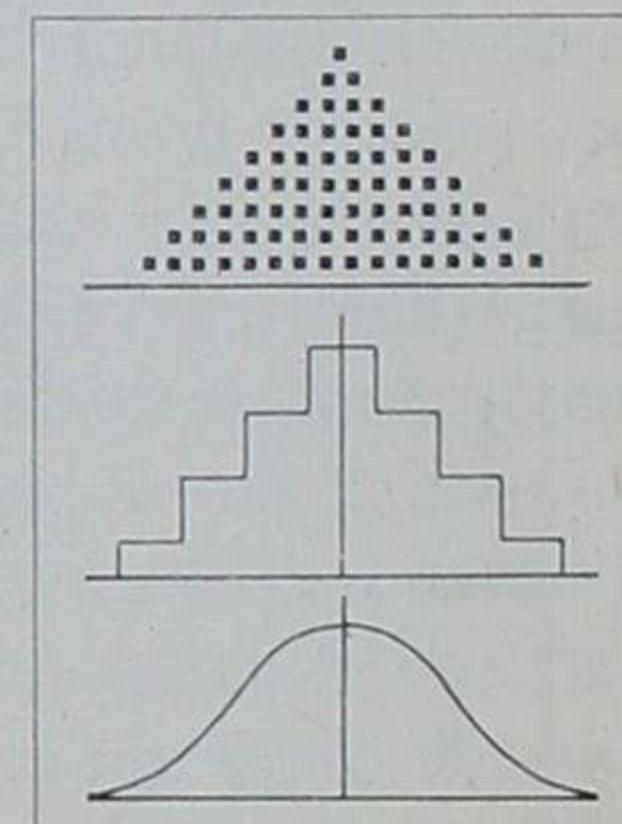
- Estadística y análisis de datos.
- Poblaciones, muestra y el principio de inferencia estadística.
- Inferencia estadística univariada.
- Regresión y correlación lineal.
- Diseño experimental.

A lo largo de ellos se lleva de la mano al lector con ejemplos numéricos indispensables para comprender conceptos abstractos como son varianza, desviación estándar, correlación, intervalos de confianza, hipótesis nula, etc. Especialmente loable es la habilidad con la cual el autor muestra cómo, a partir de los estadísticos calculables, se pueden hacer inferencias probabilísticas aplicando alguna de las distribuciones bien conocidas (normal, t de Student, chi-cuadrada, F). Todas las derivaciones se hacen claramente y empleando una notación en sí misma consistente e igual a la usada internacionalmente. Congruente con la naturaleza didáctica de su obra, el autor prescinde por completo de cálculo diferencial y del uso de matrices que, según mi propia experiencia, confunden al estudiante de este nivel. No he tratado de resolver los 30 ejercicios que se incluyen pero supongo, por la experiencia docente del autor, que ya han sido depurados al probarse en las aulas.

La presentación y edición son en general buenas pero se han colado algunos errores que deben darse a conocer en una fe de erratas. Entre los más notorios: la fig. 1.1 no corresponde a su

## INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA EN LAS CIENCIAS BIOMÉDICAS

Jorge García Peña


SOCIEDAD  
MEXICANA  
DE CIENCIAS  
FISIOLÓGICAS



descripción en la pág. 17; hay un error numérico en el ejemplo 1.3.1.1, a pesar de lo que se dice en la pág. 21, no se ha definido la mediana; el símbolo aceptado para la desviación estándares "ese" minúscula como en la pág. 115 y no mayúscula como en la pág. 23, las ecuaciones en las págs. 28 y 29 son incompletas y, por lo tanto, erróneas; en la pág. 35 debe decir fórmula 2.3.1; la fig. 2.8 no se designa así y no concuerda con su descripción en la pág. 47; en la pág. 67,  $\chi^2$  debe decir chi-cuadrada; las fig. 4.7 c y d no se mencionan en el texto; en la tabla de la pág. 107 falta un número. Es lamentable que el libro no tenga índice de materias.

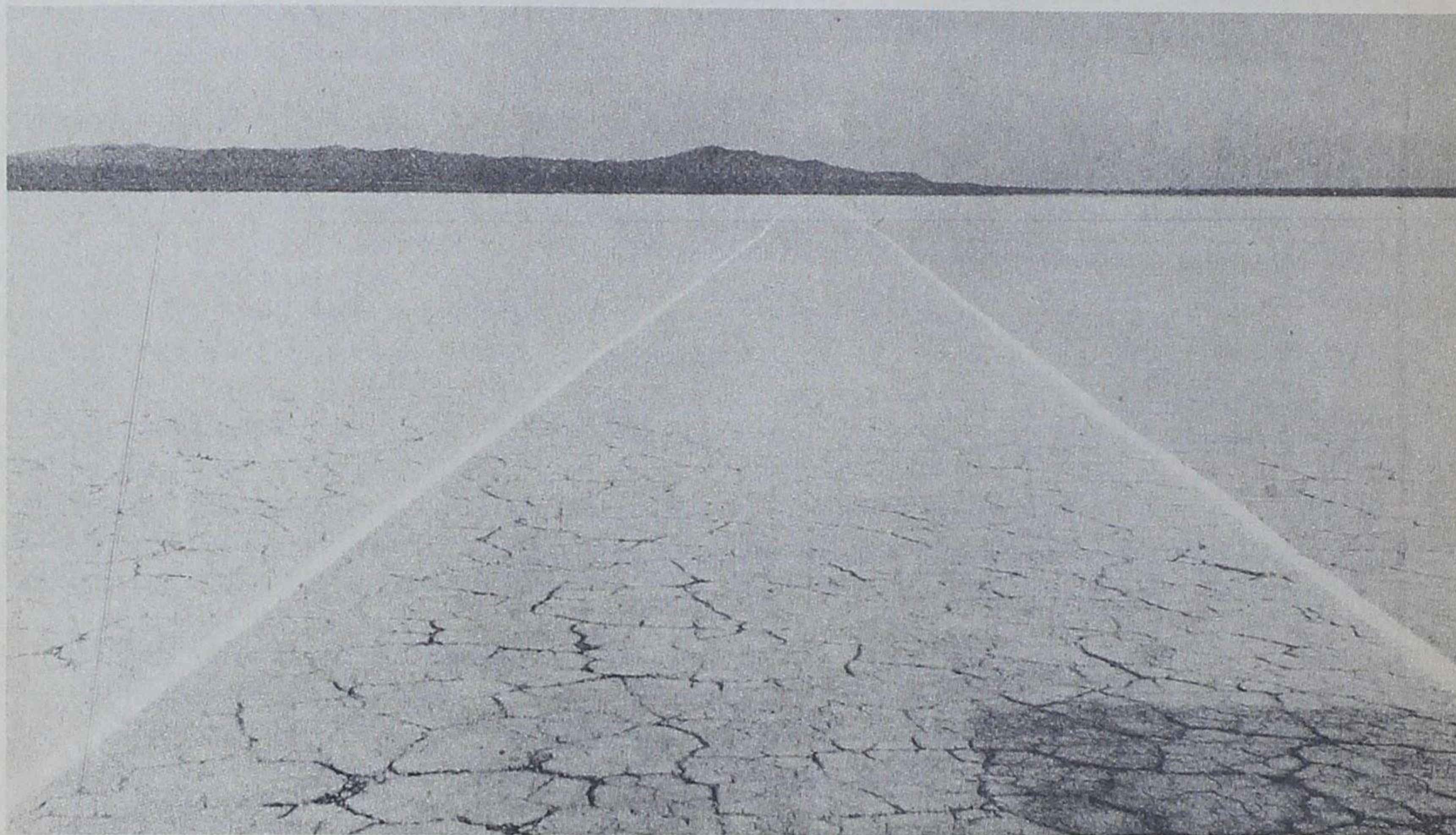
Más como sugerencias para una futura edición que como críticas, considero que el libro podría mencionar y describir el método probit, discutir más extensamente el método logit (ambos indispensables para muestras cuantales o categóricas como les llama el autor), el empleo de métodos no-paramétricos (p. ej. Mann-Whitney) y una introducción al uso de computadoras, tanto para soluciones aritméticas de problemas estadísticos cotidianos, como para la estimación de parámetros en regresiones no-lineales.

A pesar de estas limitaciones, recomiendo este libro de estadística tanto como texto auxiliar en cursos introductorios, como para aprendizaje autodidacta.

*Pedro A. Lehmann F.*  
*Departamento de Farmacología*  
*y Toxicología.*



# Newtonismo, reduccionismo y el Supercolisionador



**Steven Weinberg**

*Walter de Maria, Mile Long Drawing, 1968.*

Steven Weinberg es profesor de la Universidad de Texas en Austin. Compartió el Premio Nobel de Física en 1979 con Sheldon Glashow y Abdus Salam por sus aportaciones que condujeron al establecimiento de lo que se conoce ahora como el modelo estándar de las interacciones electromagnéticas, débiles y fuertes de las partículas elementales. Este ensayo lo presentó en la Universidad de Oxford en 1987 para conmemorar el tercer centenario de la publicación de los *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* de Isaac Newton y fue publicado en *Nature* de diciembre del mismo año. Sus planteamientos sobre la construcción de los grandes aceleradores de partículas son todavía relevantes después de que en noviembre pasado el Departamento de Energía de los EUA decidió construir el Supercolisionador Superconductor debajo de los campos de maíz y algodón cercanos al poblado de Waxahachie, Texas, así como de la reciente puesta en marcha en Ginebra, Suiza, del acelerador de electrones y positrones más grande del mundo. (Nota de Miguel Angel Pérez Angón y traducción de Carlos Chimal.)

## Un proyecto de 4.4 billones

Hablaré esta ocasión sobre filosofía de la ciencia, más que de la misma ciencia. Esto es un poco frecuente en mí y, supongo, en general entre quienes trabajan en ciencia. He escuchado la sentencia (aunque he olvidado de dónde procede) de que la filosofía de la ciencia es casi tan útil para los científicos como la ornitología para los pájaros.

Sin embargo, precisamente en este momento ha surgido una cuestión en los Estados Unidos que afectará el rumbo de la investigación en física hasta bien entrado el siglo XXI, y me parece que está condicionada en gran medida por un asunto de índole filosófica. El 30 de enero de este año la presente administración en Washington anunció que había decidido seguir adelante con la construcción de un nuevo y enorme acelerador de partículas, el Supercolisionador Superconductor (SSC). "Enorme" en este caso significa que su circunferencia tendría unos 85 kilómetros. Su radio está determinado por la necesidad de acelerar protones a energías de 20 TeV ( $2 \times 10^{13}$  electrones volts).



Dentro de este anillo viajarán dos haces de protones en direcciones contrarias que chocarán en diversas regiones de intersección. Se ha proyectado que la intensidad de los haces sea tal que, para un proceso típico (con una sección transversal de un nanobarnio), habrá en promedio una colisión cada segundo aproximadamente. Todos estos parámetros en cuanto al diseño conducen a uno fundamental: se calculaba que el costo en 1986 era de 4,400 millones de dólares.

La razón principal para querer continuar con la construcción de este acelerador es que abrirá un nuevo campo en altas energías que aún no hemos podido estudiar. Así como cuando los astrónomos comenzaron a examinar el cielo en una nueva longitud de onda, o cuando los físicos del estado sólido lograron disminuir un factor de diez más en la temperatura, cada vez que los aceleradores de partículas escalan un factor de diez en energía, descubrimos una nueva y apasionante física. Este ha sido en términos generales el motivo principal para construir nuevos aceleradores. También podemos señalar descubrimientos específicos que se pueden anticipar a partir de un nuevo acelerador en particular. Un ejemplo es el Bevatrón, construido en Berkeley hace más de 30 años, que fue capaz por vez primera de producir partículas con masas de 1 GeV. (En aquel entonces los físicos hablaban de BeV en lugar de GeV.) El Bevatrón fue diseñado para generar antiprotones, y en efecto los produjo muy poco después de haber entrado en operación. Esto no fue lo único interesante que se hizo en este acelerador. Para nuestra sorpresa, se descubrió una extensa región de nuevos estados mesónicos y bariónicos, lo cual nos llevó a modificar nuestra concepción de lo que queríamos decir por partícula elemental. Pero al proyectar el Bevatrón, fue agradable saber de antemano que al menos podíamos confiar en llevar a cabo un importante descubrimiento.

Lo mismo sucede ahora con el SSC. Este acelerador ha sido proyectado con sumo cuidado para que nos descubra la partícula conocida como el bosón de Higgs, a condición de que este bosón no sea demasiado pesado. Si lo es, entonces el SSC descubrirá algo más igualmente interesante.

Explicaré un poco más todo esto. Como muchos de ustedes se habrán enterado, se ha producido una cierta unificación entre las fuerzas de la naturaleza. Esta unificación conlleva la idea de que la simetría entre las fuerzas, especialmente entre la nuclear débil y la electromagnética, se rompe de manera espontánea. No sucede así con la simetría de las fuerzas que conocemos, es decir, las nucleares débil y fuerte y la electromagnética; por tanto, debe haber una nueva fuerza en la naturaleza responsable del rompimiento de la simetría, al igual que la fuerza de intercambio fonón en un superconductor. No sabemos con exactitud qué es esta fuerza. La idea más simple es que tiene que ver con la existencia de una nueva clase de partícula escalar. Los miembros de multipletes de partículas escalares elementales que se observarían como partículas físicas se llaman bosones Higgs.

Ahora bien, no estamos seguros de que esta sea la manera correcta de representar el mecanismo mediante el cual se rompe la simetría electrodébil, y ciertamente no

conocemos la masa del bosón Higgs. El SSC sería capaz de descubrir este bosón si su masa no excede unos 850 GeV y, por supuesto, si existe. No obstante, el SSC (en palabras de M. Chanowitz<sup>1</sup>) no es un proyecto perdido, ya que si el bosón de Higgs no existe, o si su peso es más mayor que 850 GeV, habría interacciones fuertes entre partículas W polarizadas longitudinalmente, las cuales podrían ser descubiertas mediante el SSC. Estas interacciones fuertes revelarían la naturaleza del rompimiento espontáneo de la simetría entre las interacciones débil y electromagnética.

En este momento sólo resta que el Congreso decida autorizar o no la construcción de este acelerador y apruebe el presupuesto. Dos comités de las dos cámaras del Congreso, el Comité para el Espacio, la Ciencia y la Tecnología de la Cámara de Representantes, y el Subcomité para la Investigación y Desarrollo de la Energía del Comité del Senado para los Recursos Naturales y la Energía, anunciaron audiencias sobre el SSC, ambas a partir del 7 de abril. En marzo se me pidió que asistiera a rendir mi testimonio, y debo confesar que me sentí más alarmado que invitado. Durante algún tiempo estuve trabajando activamente en la construcción del SSC, y en ese periodo había tenido una pesadilla en la que tenía que presentarme ante un tribunal y una voz inflexible me preguntaba por qué valía la pena gastar 4.4 billones de dólares para encontrar el bosón de Higgs. Además, yo había testificado ante el Congreso sólo una vez, y no me consideraba un maestro en el arte de rendir testimonio frente a semejante auditorio.

De hecho, los físicos de partículas de los Estados Unidos están muy casados con la idea de que este es el acelerador adecuado que hay que construir ahora. (Como dije, su propósito no se ha limitado a encontrar el bosón de Higgs, lo cual es únicamente un objetivo, sino, más bien, abrir un nuevo campo de energías.) Pero ha habido una fuerte oposición al SSC por parte de otros físicos en este país. Según he leído, se trata quizá del asunto más polémico que jamás ha dividido a los físicos norteamericanos<sup>2</sup>. Pienso que en Gran Bretaña hay un debate similar, no acerca del SSC, sino sobre la permanencia de los británicos en el CERN, asunto sobre el cual entiendo que no todos los científicos británicos están de acuerdo.

## Pesos completos

Supe en Washington que habría dos pesos completos que testificarían enérgicamente en contra de seguir con el SSC. Uno de ellos sería Philip Anderson, conocido por todos como uno de los más importantes físicos de materia condensada en el mundo. Anderson se ha opuesto durante muchos años a gastar tanto dinero en física de altas energías. Otra persona que presentaría su testimonio sería James Krumhansl, también un distinguido físico del estado sólido. El, como sucede, me enseñó física cuando estaba en el último año en Cornell, pero además, y sospecho que esto importa más, ha sido nombrado para ocupar la presidencia de la Sociedad Estadounidense de Física dentro de dos años.



Sabía que ambos se opondrían al SSC, y que expondrían argumentos con los cuales yo no podría realmente discrepar. Esperaba en particular que mencionaran el hecho de que nadie puede asegurar que el dinero gastado en física de partículas elementales, física de altas energías o como quiera llamársele, produzca inmediatos avances tecnológicos como sucedería en física de materia condensada o en otros campos. Yo tendría que convenir con eso (si bien destacaría los beneficios que resultan de los descubrimientos impredecibles y los giros inesperados). También me parecía que afirmarían que la física de partículas elementales no es más profunda en términos intelectuales que otras áreas de la física, como, digamos, la física de materia condensada. También estaría de acuerdo con eso. En realidad, hemos presenciado en las últimas décadas un continuo intercambio de ideas entre estas dos disciplinas de la física. Nosotros aprendimos sobre el rompimiento de la simetría de ellos, y ellos aprendieron de los grupos de renormalización de nosotros. Y ahora hablamos de teorías cuánticas del campo conformes en dos dimensiones (no sé quién la aprendió de quién). Pero es evidente que la física de materia condensada ni de partículas elementales carecen de profundidad matemática.

El tema del gasto de grandes cantidades de dinero en física de partículas elementales debe exponerse de otra manera. Por lo menos tiene que basarse en parte en la idea de que la física de partículas (y aquí, a modo de paréntesis, debo decir que bajo "física de partículas" incluyo la teoría cuántica del campo, la relatividad general y áreas afines de astrofísica y cosmología) es *de alguna manera* más fundamental que otras áreas de la física. Esto fue rechazado más o menos en forma explícita por Anderson y Krumhansl en sus testimonios, así como por la mayoría de los oponentes al SSC. No veía yo cómo evitar este asunto al intentar la defensa del SSC, pues se trata de un argumento peligroso. Tiende a irritar a los amigos en otras áreas de la ciencia. Pongamos un ejemplo, y habré de citarme porque quiero referirme a otros temas desde mi propio punto de vista.

En 1974, poco después de que el modelo estándar adquirió su forma final con el éxito de la cromodinámica cuántica, escribí un artículo para *Scientific American* llamado "Teorías unificadas de las interacciones entre partículas elementales". Apenas había iniciado el artículo, dejaba ir algunas perogrulladas: "Una de las esperanzas más antiguas del hombre ha sido encontrar unas cuantas leyes generales simples que expliquen por qué la naturaleza con toda su aparente complejidad y variedad es como es. Hasta este momento, lo más que podemos acercarnos a un punto de vista unificado de la naturaleza es una descripción en función de partículas elementales y sus interacciones mutuas". En realidad no trataba de destacar nada con esto; era tan sólo una manera de decir las cosas (como, por ejemplo, Einstein: "La prueba última del físico es llegar a esas leyes elementales universales a partir de las que puede construirse el cosmos por pura deducción"). Una década más tarde, MIT Press me pidió que dictaminara un libro, una colección de artículos de diversos científicos. Uno de ellos era de un amigo mío de Harvard, Ernst Mayr, quien es uno de los biólogos evolucionistas más eminentes de nuestra época.

Encontré que Mayr citaba los comentarios de mi artículo de *Scientific American* como "un horroroso ejemplo de la manera en que los físicos piensan". Me calificaba de "reduccionista consumado".

## Reduccionismo flexible

Hoy en día, casi no tengo dudas de que no existe una discrepancia real entre Ernst Mayr y yo, y que de hecho simplemente hablamos de más, por lo que debemos tratar de entendernos más que de pelear acerca de este asunto. No me considero un reduccionista consumado. Me considero un reduccionista flexible. Me gustaría tratar de decir en qué manera la física de partículas elementales es más fundamental que otras áreas de la física, e intentar de reducir esto de tal forma que todos podamos llegar a un acuerdo.

Permítanme empezar por algunas de las cosas que no quiero decir. Y aquí es útil referirnos de nuevo al texto de Ernst Mayr, ya que él es el principal adversario de la tendencia reduccionista en biología, así como en la ciencia en general. El escribió un libro<sup>5</sup> en 1982, *The Growth of Biological Thought* (El desarrollo del pensamiento biológico), que contiene un famoso ataque al reduccionismo, así que fui a él para ver qué pensaba Mayr que era el reduccionismo, y si me consideraba a mí mismo o no, en sus términos, un reduccionista.

El primer tipo de reduccionismo que Mayr combate es el que él llama "reduccionismo teórico". Hasta donde puedo comprender, se trata de la idea según la cual las ciencias perderán con el tiempo su autonomía y serán absorbidas por la física de partículas elementales; todas serán vistas simplemente como ramas de la física de partículas elementales.

Yo no creo eso. Incluso dentro de la misma física, dejando de lado la biología, ciertamente no preveo la extinción de la termodinámica y la hidrodinámica como ciencias separadas; ni siquiera podemos imaginar que vayan a ser reducidas a física molecular, mucho menos a la física de partículas elementales. Después de todo, si alguien supiera todo sobre las moléculas del agua y contara con una computadora lo suficientemente buena para determinar la forma en que cada molécula en un vaso de agua se mueve en el espacio, todo lo que tendría sería una montaña de bytes. ¿Cómo reconocería esa persona las propiedades que le interesan sobre el agua, tales como vorticidad, turbulencia, entropía y temperatura?

Existe en literatura un término, emergencia, que se utiliza para describir cómo, a medida que uno asciende en los distintos niveles de organización, surgen los nuevos conceptos necesarios para comprender el comportamiento en ese nivel. Anderson resumió esto con gran elegancia en el título de un interesante artículo<sup>6</sup> en *Science*, en 1972: "Más es diferente".

Otra clase de reduccionismo es llamado por Mayr "reduccionismo explicatorio". Como yo lo entiendo, es la idea de que se requiere de un progreso en el nivel más



pequeño, digamos el nivel de la física de partículas elementales, a fin de progresar en otras ciencias, como hidrodinámica, física de materia condensada, etcétera.

Tampoco creo eso. Me parece que probablemente sabemos todo lo que necesitamos saber sobre física de partículas elementales para los propósitos del físico del estado sólido, por ejemplo, o del biólogo. En su libro, Mayr señala algo que me sorprendió (pero supongo que es cierto; él sabe mucho más de esto que yo), y es que incluso el descubrimiento del ADN no tuvo en realidad gran valor en la ciencia de la transmisión genética. Mayr escribe: "A decir verdad, la naturaleza química de una serie de cajas negras en la teoría genética clásica fueron llenadas por el descubrimiento del ADN, ARN y otros, pero esto no afectó de ninguna manera la naturaleza de la transmisión genética".

No discrepo con ninguna de estas afirmaciones, pero me parece que en sus ataques al reduccionismo, Mayr y también físicos como Anderson y Krumshansl entre otros, están perdiendo la brújula. De hecho, todos tenemos una noción de que existen niveles de lo fundamental. Así, incluso Anderson<sup>7</sup> llama al ADN el "secreto de la vida". Tenemos una sensación de que el ADN es fundamental para la biología. No es que sea necesario para explicar la transmisión genética, y evidentemente no se requiere para explicar la conducta humana, no obstante el ADN es fundamental. Entonces, ¿qué tuvo de fundamental el descubrimiento del ADN para la biología? ¿Y qué tiene de fundamental la física de partículas para todas las cosas?

Una vez que me he referido con cierta amplitud a lo que no quiero decir, ahora voy a referirme a lo que sí quiero decir. Pero no voy a intentar aquí decir nada nuevo, que todos ustedes no sepan ya. Lo que estoy tratando de hacer es precisamente lo contrario: identificar lo que podemos estar de acuerdo.

En todas las ramas de la ciencia buscamos descubrir generalizaciones sobre la naturaleza, y luego siempre nos preguntamos por qué son verdaderas. No quiero decir por qué creemos que son verdaderas, sino por qué son verdaderas. ¿Por qué la naturaleza es así? Cuando respondemos esta pregunta, parte de la respuesta siempre se encuentra en sucesos, es decir, que una parte se halla precisamente en la naturaleza del problema que enfrentamos, y otra parte en otras generalizaciones. Y, por tanto, existe un sentido, una dirección en la ciencia, de que algunas generalizaciones son "explicadas" por otras.

Para poner un ejemplo relacionado con la celebración del tricentenario de los *Principia*: Kepler hizo generalizaciones sobre el movimiento planetario, Newton hizo generalizaciones sobre la fuerza de la gravedad y las leyes de la mecánica. No hay duda que históricamente Kepler llegó primero y que Newton, y también Halley y Wren y otros, derivaron la ley del cuadrado inverso de la gravedad de las leyes de Kepler. En lógica formal, puesto que las leyes de Kepler y las de Newton son verdaderas, no se puede decir que una implica la otra. (Después de todo, en lógica formal la afirmación "A implica B" sólo significa que nunca sucede que A sea verdadera y B no, pero si A y B son verdaderas, entonces se puede decir que A implica a B y viceversa.)

## Leyes fundamentales

Sin embargo, muy aparte de la lógica formal, y muy aparte de la historia, comprendemos de manera intuitiva que las leyes del movimiento y gravitatoria de Newton son más fundamentales que las leyes del movimiento planetario de Kepler. No sé exactamente que quiero decir con esto; tal vez tenga que ver con la mayor generalidad de las leyes newtonianas, pero no es fácil ser preciso. Sin embargo, todos sabemos qué queremos decir cuando afirmamos que las leyes de Newton "explican" las de Kepler. Probablemente sería de utilidad la ayuda de los filósofos profesionales para formular con exactitud lo que esta aseveración significa, pero quiero dejar claro que se trata de una afirmación sobre la forma de ser del universo, no sobre la manera en que se comporta la física. Del mismo modo, aun cuando "emergen" nuevos conceptos cuando estudiamos fluidos o sistemas multicorporales, comprendemos perfectamente bien que la hidrodinámica y la termodinámica son lo que son debido a los principios de la física microscópica. Nadie piensa que los fenómenos de transiciones de fase y caos (para tomar dos ejemplos citados por Krumshansl) pudieran haber sido entendidos sobre la base de la física atómica sin la participación de nuevas y creativas ideas científicas, pero ¿alguien tiene dudas de que la materia real exhiba estos fenómenos debido a las propiedades de las partículas de las cuales está compuesta?

Otra complicación al tratar de aclarar el concepto de "explicación" es que muy a menudo las "explicaciones" lo son sólo en principio. Si conocemos las leyes del movimiento y del cuadrado inverso de la gravedad de Newton, podemos deducir las leyes de Kepler, algo no muy difícil. Por otra parte, también podríamos decir que el comportamiento químico, la forma en que las moléculas se comportan en términos químicos, se explica mediante la mecánica cuántica y la ley de Coulomb, pero no podemos deducir de esa manera el comportamiento químico de moléculas sumamente complejas. Lo podemos hacer para moléculas simples; podemos explicar la forma en que dos átomos de hidrógeno interactúan para formar una molécula de hidrógeno si resolvemos la ecuación de Schrödinger, y estos métodos pueden extenderse a moléculas muy largas, pero no podemos aclarar el comportamiento químico del ADN mediante la ecuación de Schrödinger. En este caso podemos al menos recurrir a la observación de que si bien no podemos en realidad calcular el comportamiento químico de moléculas tan complicadas a partir de la mecánica cuántica y la ley de Coulomb, podríamos hacerlo si quisiéramos. Contamos con un algoritmo, el principio de variación, con el cual podemos calcular cualquier cosa en química siempre y cuando tengamos una computadora lo suficientemente poderosa y estemos dispuestos a esperar.

El significado de "explicación" es aún menos evidente en el caso del comportamiento nuclear. Nadie sabe cómo calcular el espectro del núcleo de hierro, o el comportamiento del núcleo de uranio cuando se fisiona, a partir de la cromodinámica cuántica. Ni siquiera tenemos un al-



goritmo; inclusive con la computadora más grande imaginable y todo el tiempo, no sabríamos cómo realizar tales cálculos. Sin embargo, la mayoría de nosotros estamos convencidos de que la cromodinámica cuántica explica el comportamiento de los núcleos. Decimos que lo explica "en principio", pero no estoy realmente seguro de que lo que quiero decir con esto.

No obstante, confiados en esta idea intuitiva de que diferentes generalizaciones científicas explican otras, tenemos un sentido de dirección en ciencia. Existen flechas de la explicación científica, que se cuelan por todo el espacio de las generalizaciones científicas. Una vez descubiertas muchas de estas flechas, podemos ahora observar su pauta de emergencia y notamos algo extraordinario: tal vez el descubrimiento científico más grande de todos. ¡Estas flechas parecen converger en una fuente común! Empezemos en cualquier región de la ciencia y, como un intolerante niño, no paremos de preguntar "¿Por qué?". Al final llegaremos al nivel de lo muy pequeño.

Hacia mediados de la década de los 20, las flechas de la explicación se habían remontado hasta el nivel de la mecánica cuántica de los electrones, fotones, núcleos atómicos y, en algún rincón, la teoría clásica de la gravedad. Por los años 70, habíamos alcanzado un nivel más profundo: una teoría cuántica del campo de cuarks, leptones y bosones intermediarios, conocida como el modelo estándar, y todavía con la gravedad en cierta forma aislada, descrita por una no muy satisfactoria teoría cuántica del campo de los gravitones. Muchos de nosotros pensamos que el próximo paso es la teoría de las supercuerdas, aún en desarrollo. En lo personal, aunque recién llegado a este campo, confieso mi entusiasmo por él. Pienso que nos ofrece la mejor esperanza de avanzar en el modelo estándar.

## Reduccionismo objetivo

Así, el reduccionismo, como lo he descrito en función de la convergencia de flechas de explicación, no es un hecho de los programas científicos, sino una realidad de la naturaleza. Supongo que si tuviera que darle un nombre, le llamaría reduccionismo objetivo. Está muy lejos de ser un truísmo. En particular, estas flechas de explicación podrían habernos conducido a muchas fuentes distintas. Pienso que es importante recalcar que, hasta en fecha muy reciente, la mayoría de los científicos pensaban que este era el caso; el descubrimiento de que las flechas de explicación apuntan hacia una fuente común es muy nuevo. (En un comentario a una versión anterior de esta charla, Ernst Mayr me informa que lo que he llamado "reduccionismo objetivo" es a lo que él se refiere por "reduccionismo teórico". Quizá, pero prefiero mantener separados los términos porque quiero enfatizar que a lo que aquí me refiero no es la organización futura de la empresa científica humana, sino a un orden inherente de la naturaleza misma.)

Para subrayar esto, me gustaría mencionar unos cuantos ejemplos del punto de vista contrario que sobrevivió hasta muy entrado el siglo XX. El primero es el vitalismo biológico, la idea de que las reglas ordinarias de la

física y la química deben modificarse cuando se aplican a los organismos vivos. Uno podría pensar que esta idea habría sido aniquilada por el desarrollo de la química orgánica y la biología evolutiva del siglo XIX. Sin embargo, Max Perutz, en su conferencia durante el centenario de Schrödinger en Londres, en abril, nos recordaba que tanto Niels Bohr como Erwin Schrödinger creían que las leyes de la física, como se entendían en los años 20 y 30, eran inadecuadas para comprender la vida<sup>8</sup>. Perutz explica que el problema del sentido del orden de la vida que inquietaba a Schrödinger fue aclarado por los avances en la comprensión de la catálisis enzimática. Ernst Mayr fue cuidadoso en su libro en desautorizar cualquier vínculo prolongado con el vitalismo: "Todo biólogo está absolutamente consciente del hecho de que la biología molecular ha demostrado de manera concluyente que todos los procesos en los organismos vivos pueden explicarse en función de la física y la química". (Mayr, por cierto, utiliza la palabra "explicarse" exactamente en el mismo sentido que yo aquí.)

Un segundo ejemplo. Lord Kelvin, en un discurso ante la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia, a principios de siglo, decía: "No hay nada nuevo que descubrir en física hoy. Todo lo que resta es medir con más y más precisión". Hay un comentario similar de Michelson que se cita con frecuencia<sup>10</sup>. Estas afirmaciones de Kelvin y Michelson se emplean generalmente como ejemplos de arrogancia científica y ceguera, pero pienso que se trata de una interpretación incorrecta de lo que ellos querían decir. La razón de semejantes comentarios es, me parece, que tenían un concepto muy estrecho de lo que era la física. Según su idea, el tema central de la física es el movimiento, electricidad, magnetismo, luz y calor, pero no mucho más. Ellos sentían que esa clase de física estaba tocando a su fin, y en cierta forma así fue en realidad. Posiblemente Kelvin, en 1900, no podía haber pensado que la física había explicado ya el comportamiento químico. No lo pensaba, pero tampoco creía que era una tarea para la física. El pensaba que la física y la química eran ciencias, en lo fundamental, al mismo nivel. Nosotros no pensamos de esa manera en la actualidad, pero no hace mucho así pensaban los físicos.

Dije que estas flechas de explicación podrían haber conducido a una serie de ciencias separadas. También podrían haber descrito un círculo. Esta es aún una posibilidad. Existe entre los físicos y cosmólogos no muerto del todo, el "principio antrópico", según el cual hay constantes de la naturaleza cuyo valor es inexplicable excepto mediante la observación de que si esas constantes tuvieran otros valores que los que tienen, el universo sería tan distinto que los científicos no estarían allí para formular sus preguntas. Si el principio antrópico fuera verdad, habría una especie de circularidad inherente a la naturaleza, y entonces, supongo, uno tendría que decir que no existe ningún nivel fundamental, pues las flechas de explicación viajan en círculos. Creo que la mayoría de los físicos considerarían el principio antrópico como un último recurso, decepcionante, al cual recurrirían sólo si fracasáramos una y otra vez al tratar de explicar las constantes de la naturaleza y sus otras propiedades de una forma puramente microscópica. Ya veremos.



Ahora bien, aunque lo que he llamado reduccionismo objetivo se convirtió en parte del pensamiento científico general en fecha relativamente reciente (después del desarrollo de la mecánica cuántica en los 20), sus raíces pueden remontarse a Newton (¿a quién más?). Newton fue el primero en demostrar la posibilidad de una comprensión de la naturaleza que fuera general y al mismo tiempo cuantitativa. Otros antes que él, desde Tales hasta Descartes, habían tratado de concebir afirmaciones amplias sobre la naturaleza, pero ninguno aceptó el reto de explicare las observaciones reales en forma cuantitativa en una teoría física general.

No conozco ninguna parte donde Newton expusiera abiertamente este programa reduccionista. Lo más cercano es un comentario en el Prefacio a la primera edición de los *Principia*, escrito en mayo de 1686. Newton dice: "Me gustaría que pudiéramos inferir el resto de los fenómenos de la naturaleza mediante la misma clase de razonamiento que usamos para los principios mecánicos (supongo que se refiere a los de los *Principia*), pues por muchos motivos me siento inclinado a pensar que quizá todos ellos dependen de ciertas fuerzas". Me parece que el ejemplo más notable de la posibilidad que Newton abre de acceder a una comprensión amplia, cuantitativa, de la naturaleza se halla en el tercer libro de los *Principia*, donde Newton especula que si la luna se halla 60 veces más lejos del centro de la Tierra que Cambridge (ambos Cambridge) entonces la aceleración de la luna hacia la Tierra debe ser menor que la aceleración de una manzana en Cambridge por un factor de  $60^2$ . Con este argumento Newton une la mecánica celestial y las observaciones de la caída de frutas de tal forma que, a mi parecer, captura por vez primera el enorme poder del razonamiento matemático para explicar no sólo sistemas ideales, como planetas que se mueven en sus órbitas, sino finalmente todo.

Una digresión. Puesto que he estado hablando de Newton y también del SSC, un excelente ejemplo de "gran ciencia", no resisto hacer notar que Newton mismo estuvo implicado en la gran ciencia<sup>11</sup>. En 1710, como presidente de la Sociedad Real, por mandato del rey se le encomendó a Newton el control de las observaciones en el laboratorio nacional más grande dedicado a la ciencia que entonces existía en Inglaterra, el Observatorio Greenwich. También se le dio la responsabilidad de supervisar la reparación de los instrumentos científicos mediante el cargo de Jefe de Oficiales de Inspección, una interesante conexión con el ejército. (Dicho sea de paso, esta disposición enfureció al astrónomo real, Flamsteed.)

## Lagunas

Existen muchas lagunas, por supuesto, y tal vez haya muchas más en lo que he llamado las cadenas de explicación. Los grandes momentos en la historia de la ciencia se presentan cuando estos vacíos se llenan, como por ejemplo cuando Darwin y Wallace explicaron cómo los seres vivos, con todas sus adaptaciones a su ambiente, pueden desarro-

llarse sin la constante intervención del exterior. Pero no obstante hay lagunas.

Asimismo, en ocasiones no es claro hacia dónde se dirigen las flechas de explicación. He aquí un ejemplo, pequeño, pero que me ha preocupado durante muchos años. Sabemos en términos matemáticos que una consecuencia de la teoría general de la relatividad de Einstein es que las ondas gravitacionales deben ser ondas de espín doble, y por tanto cuando se expresan en términos cuánticos, la teoría de la gravedad debe tener partículas de masa cero y espín dos. Por otra parte, también sabemos que todas las partículas de masa cero y espín dos deben comportarse como lo describe Einstein en la teoría general de la relatividad. La pregunta es: ¿cuál es la explicación de qué? ¿Cuál es más fundamental, la relatividad general o la existencia de partículas de masa cero y espín dos? He vacilado al pensar en ello durante años. Hasta este momento en la teoría de cuerdas, el hecho de que el gravitón tenga masa cero y espín dos aparece como una consecuencia inmediata de las simetrías de dicha teoría, y el que la gravedad sea descrita por el formalismo de la geometría de Riemann y la relatividad general es de alguna manera un hecho secundario, que surge de un modo que aún sigue siendo un misterio. Pero no sé si esta es la respuesta final. Menciono este ejemplo para demostrar que si bien no siempre sabemos cuáles verdades son más fundamentales, es aún una cuestión que vale la pena formular ya que se trata de un asunto que tiene que ver con el orden lógico de la naturaleza.

Pienso que el reduccionismo objetivo, el reduccionismo como una afirmación sobre la convergencia de flechas de explicación en la naturaleza está ahora profundamente arraigada entre los científicos, no solamente entre los físicos, sino también entre biólogos como Ernst Mayr. Pongamos un ejemplo. Una cita del discurso de Richard Owen al asumir la presidencia de la Asociación Británica en 1858 (ref. 12). Owen fue anatomista, generalmente considerado como el más destacado de su momento, y gran adversario de Darwin. En su alocución, Owen dice: "Tal vez el resultado más importante y significativo de la investigación paleontológica ha sido el establecimiento del axioma de la operación continua de la adaptación ordenada de los seres vivos". No me queda muy claro que quiere decir precisamente Owen con este axioma. Pero lo que me interesa es hacer notar que en la actualidad ningún biólogo haría semejante afirmación, aunque supieran qué significa este axioma pues ninguno de ellos se conformaría con un axioma sobre el comportamiento biológico acerca del cual no pudiera imaginarse que tuviera una explicación en un nivel más fundamental. Ese nivel más fundamental tendría que ser el nivel de la física y la química, y la contingencia de que la edad de la Tierra es de billones de años. En este sentido, todos somos reduccionistas hoy en día.

Ahora bien, estas reflexiones no plantean por sí mismas la cuestión de si vale la pena gastarse 4.4 billones de dólares en el SSC. De hecho, este podría ser un problema complejo si se nos presentara simplemente la alternativa de gastarlos en el SSC o en otras áreas de la investigación científica. Sin embargo, no creo que esta pudiera ser la



alternativa frente a la que estamos. Hay pruebas de que gastar en la "gran ciencia" tiende a aumentar el gasto en otras ciencias, y no al revés. No sabemos en realidad contra qué competirá el SSC por los fondos. En cualquier caso, no he pretendido aquí de plantear la cuestión de si el SSC debe o no construirse con esos 4.4 billones, pues se trata de un asunto complicado, con muchos argumentos colaterales. Todo lo que he intentado de probar aquí es que cuando diversos científicos presentan sus credenciales en busca de apoyo público, credenciales como valores prácticos, productos, etc., hay una credencial especial de la física de partículas elementales que debe ser tomada en cuenta y tratada con respeto, y es la que tiene que ver con la naturaleza en un nivel más cercano a la fuente de las flechas de explicación de lo que se encuentran otras áreas de la física. Pero, ¿cuánto importa esto? Es un asunto de gusto y juicio, y no se me ha pagado para tomar la decisión final. No obstante, me gustaría poner en la balanza un punto más a favor del SSC.

He subrayado el hecho de que las flechas de explicación parecen converger en una fuente común, y en nuestro trabajo sobre física de partículas elementales pensamos que nos estamos aproximando a esa fuente. Existe un indicio en la física de partículas elementales de hoy que no sólo estamos en el nivel más profundo al que podemos llegar ahora, sino que estamos en un nivel que, de hecho, se halla en términos absolutos muy profundo, tal vez cercano a la fuente final. Y aquí nuevamente quisiera citarme, citar mi propio testimonio ante el Congreso, porque enseguida voy a citar algunos comentarios a estas observaciones, y quiero que sepan sobre lo que giraban dichos comentarios:

"Hay una razón para creer que en física de partículas elementales estamos aprendiendo algo sobre la estructura lógica del universo en un nivel sumamente profundo. Digo esto porque conforme hemos alcanzado energías cada vez más altas y estudiado estructuras cada vez más pequeñas, hemos encontrado que las leyes, los principios físicos, que describen lo que aprendemos se vuelven más y más simples. No estoy diciendo que las matemáticas sean más sencillas, Dios sabe que no es así. Tampoco afirmo que siempre encontramos menos partículas en nuestra lista de partículas elementales. A lo que me refiero es a que hemos descubierto a volvernlos cada vez más coherentes y universales. Estamos empezando a sospechar que no se trata de un accidente, que no es solamente un accidente de los problemas particulares que hemos elegido estudiar en este momento de la historia de la física, sino que existe una simplicidad, una belleza que estamos descubriendo en las reglas que gobiernan la materia, que refleja algo inherente a la estructura lógica del universo en un nivel muy profundo. Pienso que esta clase de descubrimiento es algo que se halla en el curso de nuestra civilización actual, cosa que los hombres y mujeres del futuro, y no sólo los físicos, mirarán con respeto."

Luego de estas observaciones, hubo comentarios de otros expertos y enseguida preguntas de miembros del Comité para el Espacio, la Ciencia y la Tecnología. Voy a citar a algunos de ellos. El primero es Harris W. Fawell, congresista republicano por Illinois. A lo largo de su cuestionamiento Fawell había estado a favor del SSC. El segundo es Don Ritter, representante de Pennsylvania, también republicano, quien había sido el congresista más reactivo al

SSC durante toda la mañana. (Supongo que algunos de ustedes juzgarían este como un moderno diálogo entre Sagredo y Simplicio.) Cito aquí de la transcripción de las audiencias sin editar:

"Sr. Fawell: Muchas gracias. Agradezco el testimonio de todos ustedes. Me pareció excelente. Si alguna vez quisiera explicarle a alguien las razones por las que el SSC debe ser construido, estoy seguro que recurriría a su testimonio. Sería de gran ayuda. Quisiera a veces que tuviéramos una sola palabra que pudiera expresarlo todo, aunque eso sea algo imposible. me parece quizá que el Dr. Weinberg se acercó un poco a ello y, no estoy seguro, pero anoté lo siguiente. Usted dijo que sospecha que todo esto no es un accidente, que hay reglas que gobiernan la materia y yo apunté esto: ¿nos llevará a encontrar a Dios? Estoy seguro que usted no hizo esta afirmación, pero ¿realmente nos permitirá comprender mucho más sobre el universo?"

Sr. Ritter: ¿Aceptará usted este planteamiento? (Los congresistas se dicen algo entre ellos.) Si el caballero lo admitiera por un momento, yo diría...

Sr. Fawell: No estoy seguro de quererlo.

Sr. Ritter: Si es así, esta máquina me hará cambiar de opinión y apoyaré el proyecto."

En tanto este diálogo continuaba, pensaba en cantidad de observaciones maravillosas que podía hacer a fin de apuntarme tantos para el SSC. Sin embargo, para el momento en que el Sr. Ritter lograba su comentario final yo había decidido mantener mi boca cerrada. Y eso, mis amigos, es lo que aprendí acerca del arte del testimonio congresional.

## Notas

1. Chanowitz, M.S., presentada en la 23 Conferencia Internacional sobre Física de Altas Energías, Berkeley, California. Julio 16-23 de 1986 (Publicación del Laboratorio Lawrence Berkeley no. 21973).
2. Dixon, B. *The Scientist*. Junio 15, p. 13 (1987).
3. Weinberg, S. *Scientific American* 231, 50 (1974).
4. Mayr, E., en *Evolution at a Crossroads* (Depew, D.J. y Weber, B.H., comps.). MIT Press, Cambridge, 1985.
5. Mayr, E. *The Growth of Biological Thought* 58-66 Harvard University Press, Cambridge, 1982.
6. Anderson, P. *Science* 177, 393 (1972).
7. Anderson, P. Carta al *New York Times*, junio 8 (1987).
8. Perutz, M., en *Schrödinger, Centenary Celebration of a Polymath* (Kilmister, C.W., comp.) 234, Cambridge University Press, Cambridge, 1987.
9. Salam, A., en una conferencia durante el simposio El reto de las altas energías, Oxford (1982).
10. Michelson, A. A. *Light Waves and Their Uses* (1903).
11. Mark, H. *Navigation* 26, 25 (1979).
12. *Edinburgh Review* 11, 487-532 (1960); véase también Hull, D.L. en *Darwin and his Critics*, Harvard University Press, Cambridge, 1973.

Fueron de suma utilidad en la preparación de la conferencia en Cambridge, y por tanto de este artículo, las conversaciones que sostuve con G. Holton, H. Mark, E. Mayr y E. Mendelsohn. También agradezco profundamente los valiosos comentarios a una versión escrita con anterioridad de J. Krumhansl, E. L. Goldwasser, E. Mayr, M. Perutz y S. Wojicki.





**CENTRO DE  
INVESTIGACION  
Y DE ESTUDIOS  
AVANZADOS DEL IPN.**

# **MAESTRIA Y DOCTORADO EN FISICA**

**PRIMAVERA 1990**

**Examen de admisión**

**7-8 de marzo**

**Cursos propedéuticos**

**12 de marzo al 8 de junio**

**VERANO 1990**

**Examen de admisión**

**11-12 de junio**

**Cursos propedéuticos**

**14 de junio al 17 de agosto**

**Inicio de cursos de maestría**

**4 de septiembre**

**Para mayor información:**

**Apdo. Postal 14-740**

**07000**

**México, D. F.**

**Tel. 754-68-01**





CENTRO DE INVESTIGACION  
Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL IPN