



AVANCE Y PERSPECTIVA

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



9 770185 14 1010

Volumen 18
Marzo-abril de 1999
México ISSN 0185-1411
\$ 20 pesos

Contando
sobre números

7

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Departamento de Física

Maestría, Doctorado, Posdoctorado

Materia Condensada (teórica y experimental)

Partículas Elementales (teórica y experimental)

Fisicamatemática y gravitación

Física Estadística (teórica y experimental)

Física Nuclear



Examen de admisión a maestría y
cursos propedéuticos en marzo y mayo 31

Inscripciones al doctorado en cualquier época del año

BECAS de Conacyt a estudiantes nacionales admitidos

Coordinación de admisión
Departamento de Física, Cinvestav
Avda. postal 14-740, 07000 México, D.F.
Tel./Fax: (52-5) 747 3831, 747 3838
admission@fis.cinvestav.mx
<http://www.fis.cinvestav.mx>





Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del IPN
CINVESTAV

DIRECTOR GENERAL
Adolfo Martínez Palomo
ASESORA DE LA DIRECCIÓN GENERAL
María de Ibarrola
SECRETARIO ACADÉMICO
René Asomoza
SECRETARIO DE PLANEACIÓN
Manuel Méndez Nonell
SECRETARIO DE RECURSOS
HUMANOS Y MATERIALES
Leonardo Contreras Gómez

AVANCE Y PERSPECTIVA

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

CONSEJO EDITORIAL

J. Víctor Calderón Salinas
BIOQUÍMICA
Luis Capurro Filigrasso
UNIDAD MERIDA
Marcelino Cerejido
FISIOLOGÍA
Eugenio Frixione
BIOLOGÍA CELULAR
Jesús González
LAB. DE QUERÉTARO
Luis Herrera Estrella
UNIDAD Irapuato
Eusebio Juaristi
QUÍMICA
Luis Moreno Armella
MATEMÁTICA EDUCATIVA
Miguel Ángel Pérez Angón
FÍSICA
Héctor M. Poggi
BIOTECNOLOGÍA
Gabino Torres Vega
FÍSICA

Consulte nuestra página
de Internet:

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

RESPONSABLE
Valente Espinoza

AVANCE Y PERSPECTIVA

SUMARIO

Volumen 18

marzo-abril de 1999

- 75 *Contando sobre números*
Laura Elena Morales Guerrero y Martha Rzedowski Calderón
85 *La electrónica: estrategias para desarrollarla en un mundo interdependiente*
Rodolfo Quintero Romo

PERSPECTIVAS

- 101 *Reconocimiento a la química mexicana*
Eusebio Juaristi

NOTICIAS DEL CINVESTAV

- 103 *Adolfo Martínez Palomo, director general del Cinvestav para el periodo 1999-2002*
105 *Carlos Imaz, investigador emérito del Cinvestav*
106 *Gabriel Guarneros, Premio TWAS 1998*
107 *Alonso Fernández Guasti, jefe del Departamento de Farmacología y Toxicología*

DOCUMENTOS

- 108 *El Cinvestav en retrospectiva*

DIALOGOS

- 125 *Para entender el diseño de la vida*
Carlos Chimal

Biblioteca
Ciencias Biológicas y de la Salud
Cinvestav

MATICES

- 131 *Evidencia experimental de nuevas dimensiones*
Gordon L. Kane

Portada: "Sofía en el reino de los números". El triángulo pitagórico 3:4:5, el ritmo de los colores y las formas, todo basado en un número asombroso de simetrías, concordancias y armonías.

Avance y Perspectiva, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación bimestral. El Número correspondiente a marzo-abril de 1999, volumen 18, se terminó de imprimir en febrero de 1999. El tiraje consta de 8,000 ejemplares. *Editor responsable:* Enrique Campesino Romeo. Oficinas: Av. IPN No. 2508 esquina calzada Ticomán, apartado postal 14-740, 07000, México, D.F. Certificados de licitud del título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de Título No. 577-85 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro No. 01603-89, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. *Negativos, impresión y encuadernación:* Litográfica Herfar, S.A. de C.V. calle Dr. García Diego No. 45-H, Col. Doctores, México, D.F. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el número enero-febrero de 1999 página 72. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre que se cite la fuente. *Avance y Perspectiva* se distribuye en forma gratuita a los miembros de la comunidad del CINVESTAV y a las instituciones de educación superior. Suscripción personal por un año: \$ 120.00

ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS
FUNDACION MEXICO-ESTADOS UNIDOS PARA LA CIENCIA
(THE UNITED STATES-MEXICO FOUNDATION FOR SCIENCE)

PROGRAMA DE VISITAS DE PROFESORES DISTINGUIDOS
1999-2000

La Academia Mexicana de Ciencias y la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia convocan al programa de visitas de 15 profesores distinguidos para realizar estancias cortas en México, entre **junio de 1999 y febrero de 2000** bajo las siguientes bases:

1. Podrán ser candidatos aquellos profesores o investigadores radicados en los EE.UU., de reconocido prestigio y con liderazgo internacional en su disciplina.
2. Las propuestas deberán ser enviadas a las oficinas de la Academia Mexicana de Ciencias, incluyendo la siguiente documentación:
 - a) Curriculum Vitae resumido del profesor invitado.
 - b) Agenda o plan de trabajo para la visita.
 - c) Copia de la carta de invitación de la institución anfitriona y fechas probables de la visita.
 - d) Carta de aceptación del candidato.
3. La Academia Mexicana de Ciencias y la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia aportarán la cantidad de US\$200 por día para sufragar los gastos de estancia del profesor invitado, hasta un máximo de **diez días**. El programa no cubre los gastos de pasaje.
4. Los candidatos propuestos serán dictaminados por un Comité ad-hoc nombrado por la Academia Mexicana de Ciencias.
5. La difusión, las publicaciones o productos de investigación resultado de este programa harán mención explícita de los organismos patrocinadores.
6. La institución anfitriona deberá entregar un breve informe a la Academia, de las actividades realizadas durante la visita.
7. Toda la documentación deberá ser entregada a más tardar el **lunes 26 de abril de 1999** en las oficinas de la AMC ubicada en Av. San Jerónimo 260, Col. Jardines del Pedregal, 04500, México, D. F.

Para mayores informes:

Act. Claudia Jiménez

Tel. 56 16 42 83, Fax: 55 50 11 43

e-mail: claujv@servidor.unam.mx

Contando sobre números

Laura Elena Morales Guerrero
Martha Rzedowski Calderón

$$2^5 \times 9^2 = 2592$$

Joseph de Grazia

Como un rubí

Un buen día, escuchamos la voz de un número que decía:

“¿Ser sin motivo de ignorancia objeto?
¿De un mar sin parangón de iniquidades?
Es menester que quienes hagan tales
iconar no puedan ya ni un triste cuento!

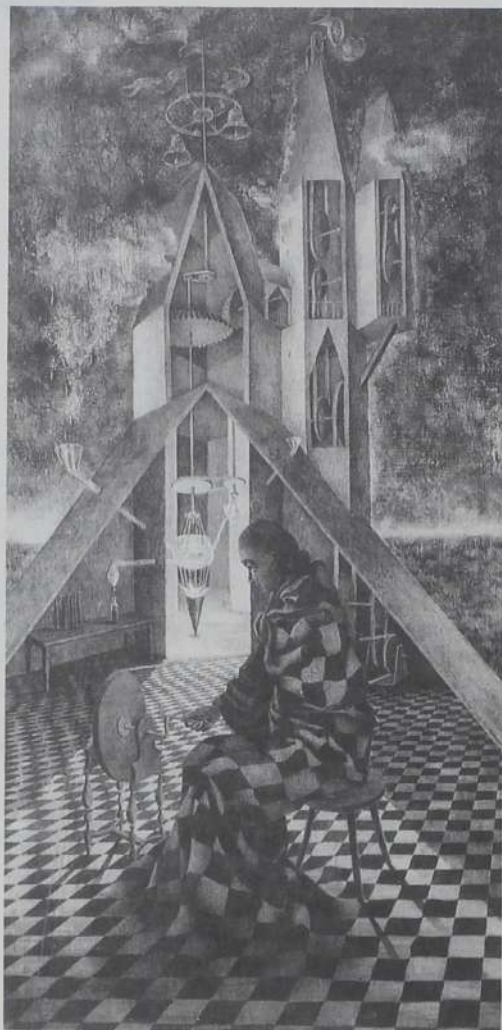
¿Por qué envidiar mi epíteto: perfecto?
si imperfectos existen en los nones
e infortunados son todos los pares
más aún, convertidos en concepto,

se comparte el ideal de cierto primo
de encontrar un conjunto numerable
infinito o finito dice él mismo

donde pueda habitar un amigable
para oponer un campo a aquel abismo
que la maldad tan vil hace insondable.”

Vaya, vaya, replicamos. ¿Podrías decir en qué fundas tu hipótesis de incomprensido? Nos parece que llegas a una tesis muy cómoda de autoconmiseración basándote en argumentos endebles y supuestos absurdos *ad hoc* que resultan en una suposición, aparentemente razo-

La Dra. Laura Elena Morales Guerrero es investigadora asociada al Departamento de Física y la Dra. Martha Rzedowski Calderón es investigadora titular del Departamento de Matemáticas del Cinvestav.



nable, muy desafortunada de tu parte que, además, tendrías que probar.

Fíjate bien, si nos ponemos a pensar (un poquito) en cuál fue el origen de las matemáticas, caemos irremediablemente en los números y, a pesar de las muchas preguntas sin respuesta en torno a este origen, que es más antiguo que la más antigua de las civilizaciones, el arte de contar surgió como una respuesta a las necesidades prácticas del ser humano y, al contar, aparecieron tus parientes, los números y no llegaron en una sola tarde.

Y si en el principio había o no números, o si los números estuvieron siempre "ahí" (¿dónde?), o si tenían que ser inventados, es una cuestión muy discutible y dejaremos que los filósofos continúen su discusión sin nuestra ayuda.

Por lo pronto te diremos que **(Teorema)** itienes familiares célebres!

Vamos a demostrártelo rigurosamente ya que, en matemáticas, toda afirmación tiene que probarse de manera contundente y definitiva. En este requisito *sine qua non* reside el esplendor y la maravilla de la matemática, la más prodigiosa y elegante, sin duda, de las invenciones humanas.

Veamos, **(Demostración)** tú naciste un 28 de abril, 28 es un número muy raro y si los números fueran piedras el 28 sería un rubí porque es un número perfecto. "Números perfectos" son aquellos cuyos divisores propios (es decir, sin incluir al número mismo) suman exactamente el número dado. Por ejemplo el 6. A 6 lo dividen 1, 2 y 3 y $1 + 2 + 3 = 6$. Es el primer número perfecto, el segundo es 28 porque sus divisores 1, 2, 4, 7 y 14 sumados dan exactamente 28. Al seguir avanzando, los números perfectos se van distanciando más uno de otro. El tercero es 496, el cuarto, 8 128, el quinto, 33 550 336 y el sexto es 8 589 869 056.

Para los antiguos, cuya ciencia y matemáticas estaban inmersas en y confundidas con la filosofía y con la metafísica, los números tenían personalidades y a las figuras geométricas se les dotaba con cualidades seudosagradas. Por ejemplo, los romanos atribuyeron el primer número perfecto, el 6, a la diosa del amor ya que está hecho de la unión de los sexos, el 3, un número masculino y el 2, femenino, y $6 = 3 \times 2$. Sobre esta clasificación en números femeninos y masculinos hablaremos más adelante.

Los números perfectos son raros, escasos, difíciles de encontrar, y los hasta hoy conocidos son siempre pares. En la actualidad se conocen, al menos, 33 números perfectos.

¿Formarán un conjunto infinito en el mar de los números? Habría que probarlo. Estas cosas de teoría de números, de apariencia sencilla, pueden complicarse mucho.



En matemáticas se dice que un conjunto es infinito cuando puede establecerse una correspondencia uno a uno entre los miembros del conjunto y los de uno de sus subconjuntos propios. Es decir, en un conjunto infinito, el todo no es mayor que la parte sino equivalente.

Nada personal

Algo que tenemos que reconocer, y dicho sea sin la mínima intención de herir aún más tu susceptibilidad, es que, al igual que sucede con la mayoría de tus parientes célebres, (**Lema**) los números perfectos no han sido de ninguna utilidad. Pero sus historias son interesantes y ellos son interesantes *per se*, y su estudio contribuye al desarrollo armónico de la sociedad. Por eso estamos aquí. Por eso están también otros de tus parientes distinguidos: los "números amigables". Que conste que no se trata de un producto más de la extrema y fantasiosa ociosidad de las matemáticas, son entes con vida *sui generis*. Los amigables (o Los Amorosos como habría dicho Jaime Sabines) son aquellos pares de números en los que la suma de los divisores propios de uno, dan el otro número. Por ejemplo, 220 y 284. Los divisores de 220 son 1, 2,

4, 5, 10, 11, 20, 22, 44, 55 y 110 y la suma de ellos es 284. Por otro lado, los divisores de 284 son 1, 2, 4, 71, 142 y su suma es precisamente 220. Para este par (220 y 284), después de haber sido descubierto allá en Grecia por los pitagóricos (≈ 500 a.C.) y los pares descubiertos por Pierre de Fermat (el 17 296 y 18 416) y por René Descartes en 1638 (9 363 584 y 9 437 056) y aun para los 62 pares de números amigables detectados por Leonhard Euler, se vio siempre que, a pesar de cualquier crisis, ¡"se van cantando la hermosa vida"!

Su musicalidad intrínseca los delata pues en 1866 un muchacho italiano de 16 años, homónimo del excepcional violinista, Niccolò Paganini, descubrió el sencillo par 1 184 y 1 210 cuyos divisores son, respectivamente, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 37, 74, 148, 296, 592 y 1, 2, 5, 10, 11, 22, 55, 110, 121, 242, 605, que no se había mencionado antes. Por supuesto, cercanos a ellos están los comprometidos y los triple y cuádruplemente amigables, todos con "numeralidades" (que no personalidades) bien definidas. Cabe suponer que el conjunto de los pares amigables, descubiertos un poco más tarde que los números perfectos, también es un conjunto infinito, sin embargo, habría que probarlo.

Para que tú valores el impacto que ha tenido el estudio de los números en la vida de algunas personas, sabrás que Herman te Riele encontró 1 427 pares de amigables; algunos pares muy grandes con 32, 40, 81 y 152 dígitos decimales. El más grande conocido hasta entonces tenía 25 dígitos. Además, construyó, de una "lista madre" de 92 pares amigables conocidos, más de 2 000 nuevos pares de hasta 38 dígitos y 5 pares que tienen desde 239 a 282 dígitos. El par amigable más grande conocido hasta mediados de 1993 tiene 1 041 dígitos. Hasta ahora se conocen más de 40 000 pares. El número más pequeño de la pareja más pequeña de amigables, el 220, aparece en el Génesis xxxii, 14 e intrigó a los griegos, a los árabes y a muchos otros desde entonces.

Además de estos especímenes encontramos algunas curiosidades numéricas, por ejemplo, $2^5 \times 9^2 = 2592$. Joseph de Grazia se preguntó alguna vez sobre la existencia de 4 dígitos a, b, c, d tales que $a^b \times c^d = abcd$ y afirmó que la única solución es para la cuarteta 2, 5, 9, 2. A pesar de que su afirmación carece de una prueba rigurosa, la ecuación no deja de ser un poema. ¿Te atreverías a probar para otras cuartetos?

También tenemos otros números únicos y raros, (**Proposición**) por ejemplo, 26, aunque parece inofensivo, está situado entre un cuadrado, $25 = 5 \times 5 = 5^2$ y un cubo, $27 = 3 \times 3 \times 3 = 3^3$. Pues bien, no hay otro número así, situado entre un cuadrado y un cubo. Fermat lo notó y, lo que es más importante, logró probarlo.

Llama la atención que la fama de Fermat se debe más a no haber probado el que se conoce como su último teorema, que a todo lo que sí logró probar. Saber que pasaron 358 años antes de que alguien pudiera hacerlo, cuando tantos grandes lo intentaron, es como para escribir la novela más apasionante. Las raíces de este problema se encuentran en el antiguo Egipto, donde los buenos carpinteros sabían que un triángulo con 3 lados en la relación 3:4:5 debe incluir un ángulo recto. Durante el siglo III, Diofanto de Alejandría se preguntaba si 3 y 4 serían los dos únicos enteros cuya suma de cuadrados igualaría el cuadrado de un tercero, es decir, si sólo

$3^2 + 4^2 = 5^2$ y demostró que hay otras ternas, de hecho un número infinito de ellas con esa propiedad, y dio una regla general para hallarlas. Estos triángulos son los



llamados triángulos de Pitágoras y la escuadra de carpintero o triángulo egipcio, fue el primero de ellos. El problema de construir triángulos de Pitágoras se expresa como una ecuación algebraica: $x^2 + y^2 = z^2$, donde x, y, z deben ser enteros.

En 1621 Fermat compró en París un ejemplar del libro *Arithmetica* de Diofanto. Cuando lo leyó puso una breve nota al margen expresando que mientras la ecuación, $x^2 + y^2 = z^2$ tiene un número infinito de soluciones en números enteros, cualquier ecuación del tipo: $x^n + y^n = z^n$ donde $n > 2$, ($n = 3, 4, \dots$), no tiene solución en números enteros.

Cuius rei demonstrationem mirabilem sane detexi hanc marginis exiguitas non caperet.

"He descubierto una prueba de esto verdaderamente maravillosa —agregaba Fermat— sin embargo, este margen es demasiado estrecho para contenerla".

Y, al parecer, nunca la escribió. Fue Andrew Wiles quien finalmente obtuvo una en 1994.... Por cierto, hay películas al respecto. Un día nos vamos a ver una.

Sopa de pasta

En tanto, te hablaremos del origen de la relación entre números y nombres ya que un tema en estrecha relación con la numerología es la "gemetría" (un nombre quizá obtenido como corrupción de la palabra "geometría"), que asigna valores numéricos a las letras en el alfabeto, en algún orden. Cada nombre y objeto recibe un valor numérico. Junto con la astrología fue una de las ramas antiguas del aprender supersticioso más populares. El origen de la gemetría se conectó directamente con la forma de los sistemas numéricos de los hebreos y los griegos. Los nombres de la Biblia han sido un campo favorito para la gemetría. Por ejemplo, una sustitución numérica que ocurre en los primeros escritos teológicos es terminarlos con el número 99, en griego θ (kopa, teta) ya que es un sustituto gemétrico para Amén: $\alpha\mu\epsilon\eta = 1+40+8+50 = 99$, utilizando la lista de los numerales griegos. Sí, así de fácil.

¿Estás listo para una excursión? ¡Vámonos a pasear por una galería de maravillas numéricas! Será necesario hablar de ciertos primos para lo cual solicitamos tu comprensión y te pedimos que, por un momento, te abstraigas (no que te distraigas ¿eh?). Comenzaremos por convenir en que (**Definición**) un número primo (del latín *primus*, primero) es un número natural, esto es, un entero positivo, diferente de 1, cuyos únicos divisores son 1 y él mismo. Por ejemplo 2, 3, 5, 13 y 59 son números primos, mientras que 1, 4, 6, y 15 no lo son. Notamos que el único primo par es 2 y que los demás primos (que son una infinidad) son impares. Hay primos impares de dos tipos, los que al dividirse entre 4 dejan residuo 1, es decir, son de la forma $4 \times 1 + 1$, $4 \times 3 + 1$, $4 \times 4 + 1$,... esto es, $4n + 1$, para ciertos valores de n , y entre ellos están 5, 13 y 29. Otros son los que al dividirse entre 4 dejan residuo 3, es decir, son de la forma $4n + 3$, como ejemplos tenemos 3, 7 y 19. Tanto de un tipo como del otro, hay una infinidad de primos. Imagina ahora el mundo donde habitan estos números, es una línea recta, e imagina que lo agrandas, le aumentas la dimensión (ya es un plano). Las cosas cambian para sus habitantes y eso es lo que va a suceder al llevarte al mundo de los "enteros gaussianos"

(llamados así en honor del gran matemático C.F. Gauß - léase Gauss). Queremos anticiparte que algunos de tus primos dejarán de serlo (¡pero los puedes recuperar!) en este otro mundo extendido. Verás.

Los primos de la forma $4n + 1$ se pueden escribir como suma de dos cuadrados, como ejemplos: $5 = 1^2 + 2^2$, $13 = 2^2 + 3^2$, $29 = 2^2 + 5^2$, $17 = 1^2 + 4^2$, en tanto que los primos de la forma $4n + 3$, no. Esto es un resultado debido a Fermat que marca una diferencia notable entre los dos grupos de primos, a quienes llamaremos primos usuales.

Ese plano que imaginamos será el mundo de los enteros gaussianos (que son un tipo de números complejos). Un habitante de este mundo es un número de la forma $1 + 2i$, $2 + 3i$, $1 + i$, es decir, $a + bi$ donde a, b son enteros (usuales) e $i = \sqrt{-1}$.

Dijimos que un primo usual (un habitante de la línea recta) es un número que no tiene divisores (o factores), sin embargo, si es de la forma $4n + 1$ y si lo traemos al plano gaussiano (una recta siempre está inmersa en un plano), lo podremos escribir como el producto de 2 factores: lo factorizamos, "le quitamos lo primo". Por ejemplo, 5, lo podemos escribir como el producto de dos nuevos factores, $1 + 2i$ y $1 - 2i$ es decir, $(1 + 2i)(1 - 2i) = 5$ y $13 = (2 + 3i)(2 - 3i)$. Esto es, en el nuevo mundo, 5 y 13, son factorizables. Los desintegramos.

También vemos que 2 se puede escribir como $1 + 1 = (1 + i)(1 - i)$ es decir, el producto de dos factores, a 2 también "se le quitó" lo primo en el mundo gaussiano. Lo hicimos talco.

Viajar así, de un mundo a otro, donde las cosas cambian radicalmente, es como transportarse a través de un agujero de gusano (de los que divierten a Stephen Hawking) a espacios diferentes. Vimos como algunos primos usuales, los bloques de construcción, se convirtieron en polvo y esto nos da pie para justificar una analogía. En una escala de dureza de los materiales el primer lugar lo ocupa el diamante y el último, el talco. Los primos usuales podrían ser para nosotros, como brillantes, diamantes, puesto que ocupan un primer lugar.

Abundantes y deficientes

¡Recorramos la galería! ¿A quién vemos aquí? Al número 12. ¿Qué tan admirable es? ¿Es el número de meses en el año y...? Por pocos es conocido que el 12 es el antiguo y derrotado rival del número 10 en la lucha por el puesto honorífico de base del sistema de numeración. No podemos dejar de mencionar otros números que también se han usado como base de numeración 60, 20 y 2.

Los divisores de 12 son 1, 2, 3, 4, y 6 que sumados dan 16 y esto nos proporciona un nuevo tipo de números, los "números abundantes", y el 12 es el más pequeño de ellos.

Aquí paramos para analizar al número 10. Sus divisores son 1, 2, 5 y suman 8, lo que nos hace hablar de otra clase de números, los "números deficientes", sus factores suman menos que el número mismo.

Las implicaciones morales, tanto de los números perfectos como de los abundantes y de los deficientes, se estudiaron con gran cuidado ya que el origen de la raza humana era atribuida a los números perfectos en las primeras centurias de la civilización.

¿Habías imaginado un origen así del ser humano?

Continuemos en ese pasillo ¡Aquí está 365! él es notable no sólo porque denomina el número de días del año sino porque en la división entre 7 da como residuo 1 y adquiere un gran significado para nuestro calendario de 7 días. Se puede escribir también como:

$$10 \times 10 + 11 \times 11 + 12 \times 12 = 10^2 + 11^2 + 12^2 = 365,$$

o como

$$13^2 + 14^2 = 365.$$

En estas propiedades se basó el problema de S.A. Rachinsky que inspiró el cuadro de Bogdanov Bielsky, *Problema Difícil*:

$$\frac{10^2 + 11^2 + 12^2 + 13^2 + 14^2}{365} = ?$$



¡Mira! el "número de Scherezada", el 1001: es el producto de $7 \times 11 \times 13$, tres números primos consecutivos. Sí, y aunque el 11 y el 13 son números primos gemelos, su interpretación es diferente y, según algunos numerólogos, el 11 es símbolo de problema o dificultad; al 13 lo caracteriza una gloria sombría, como es bien sabido. Por el contrario, el número 7 goza de mucha aceptación, según los pitagóricos es el símbolo de la inteligencia. Es también representativo de muchos periodos de la vida humana. Toda la vida del pueblo judío estaba sujeta a una numerología determinista y es 7 el número que con mayor frecuencia aparece en el Génesis. Y sin lugar a dudas la numerología ha estimulado investigaciones serias en teoría de números.

¿Has notado que al escribir los primeros 7 números comenzando con la unidad: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 su suma es 28? Un número perfecto. El número 7 ha sido estimado desde la antigüedad como un número único entre los primeros 10 ya que ni es producido ni produce ningún otro de esos 10 por multiplicación.

En términos de polígonos regulares, el de 7 lados, es el primero que no puede ser construido con los métodos

tradicionales de regla y compás y si nos fijamos un poquito más en los números primos de la decena, el 7 es el único que no concuerda con cierta regularidad observada. Es decir, 2, 3 y 5 se pueden escribir como potencias de 2 más 1:

$$2^0+1=2, 2^1+1=3, 2^2+1=5 \text{ pero } 7 = 2^3-1.$$

Descubrir una relación entre estas dos características, aparentemente no relacionadas, dio lugar a uno de los dramas más interesantes en teoría de números. Una historia que tiene que ver con nombres muy conocidos en matemáticas.

Times, so many times

Oye, ¿te sientes seguro de conocer bien la tabla del 9?, te está haciendo guiños:

$$9 \times 1 = 09$$

$$9 \times 2 = 18$$

$$9 \times 3 = 27$$

$$9 \times 4 = 36$$

$$9 \times 5 = 45$$

$$9 \times 6 = 54$$

$$9 \times 7 = 63$$

$$9 \times 8 = 72$$

$$9 \times 9 = 81$$

$$9 \times 10 = 90$$

¿A que no te has fijado que en la primera columna después del signo = los números van en orden ascendente del 0 al 9 y en la segunda, esos mismos números están escritos ahora en sentido descendente? Y si te fijas en la mitad de la tabla, en 45 y 54, a partir de ahí los resultados que siguen se obtienen al invertir las columnas de los números que preceden. Más aún, si sumas término a término las columnas, obtienes siempre 9, es bonito, ¿no?

Hablando de multiplicaciones ¿has visto las pirámides numéricas?, vayamos a buscarlas, son curiosísimas. Observa

$$1 \times 9 + 2 = 11$$

$$12 \times 9 + 3 = 111$$

$$123 \times 9 + 4 = 1111$$

$$1234 \times 9 + 5 = 11111$$

$$12345 \times 9 + 6 = 111111$$

$$123456 \times 9 + 7 = 1111111$$

$$1234567 \times 9 + 8 = 11111111$$

$$12345678 \times 9 + 9 = 111111111$$

¿Qué pasaría si el último renglón se multiplicara por sí mismo?, (fíjate que son 9 unos que sumados dan 9) se obtendría

$$111\ 111\ 111 \times 111\ 111\ 111 = 12345678987654321$$

¿No te parece sorprendente? ¿Y qué dices de las que vienen?

$$1 \times 8 + 1 = 9$$

$$12 \times 8 + 2 = 98$$

$$123 \times 8 + 3 = 987$$

$$1234 \times 8 + 4 = 9876$$

$$12345 \times 8 + 5 = 98765$$

$$123456 \times 8 + 6 = 987654$$

$$1234567 \times 8 + 7 = 9876543$$

$$12345678 \times 8 + 8 = 98765432$$

$$123456789 \times 8 + 9 = 987654321$$

$$9 \times 9 + 7 = 88$$

$$98 \times 9 + 6 = 888$$

$$987 \times 9 + 5 = 8888$$

$$9876 \times 9 + 4 = 88888$$

$$98765 \times 9 + 3 = 888888$$

$$987654 \times 9 + 2 = 8888888$$

$$9876543 \times 9 + 1 = 88888888$$

$$98765432 \times 9 + 0 = 888888888$$

Las regularidades asombrosas que presentan las hacen cómplices de la naturaleza y sus simetrías.

Además de estas pirámides tenemos también, como sacados de la manga, (pero en realidad salieron de un sombrero) a los anillos mágicos, y a los cuadrados mágicos, y cuando no hay nada por aquí ni nada por allá, ¡aparecen los números sospechosos!: π , $\sqrt{-1}$, ∞ , e , K , y tantas otras maravillas del reino de los números. Pero hablarte de todos ellos nos llevaría un buen rato; una anécdota en este punto nos caería mejor. Salgamos al jardín.

C'est la vie...

Recordarás que los antiguos griegos estaban tan fascinados con el problema de la división, la operación inversa de la multiplicación de los números, que los clasificaron en dos grupos, los que podían ser divididos entre 2 y los que no podían serlo. Pues bien, a esta propiedad quisieron atribuir un significado misterioso, les parecía tan básica que la tomaron como la gran distinción entre las dos clases de seres humanos. Consideraban que los números divisibles entre 2 pertenecían al género femenino y eran desgraciados (aún del demonio). Los otros eran del género masculino y afortunados (hay que considerar que la mayoría de los matemáticos griegos eran hombres y estaban predispuestos en favor de los hombres). Los números pares fueron vistos como *ephemeral* de ahí, femeninos, los impares como "indisoluble, masculino, el que comparte la naturaleza celestial". Se supuso que la supremacía de los números impares se estableció también por el hecho de que: impar + impar = par, pero, par + par = par. Los neopitagóricos excluyeron al 2 de la lista de primos argumentado que 1 y 2 no son números verdaderos sino generadores de los números impares y pares.

Para terminar, nos gustaría decirte que, no todo fue siempre tan malo para las mujeres. Haz de saber que hubo una francesa, Sophie Germain, por allá en el siglo XVIII, que, como era de esperarse, desde niña enfrentó problemas familiares para poder estudiar y, más tarde, se vio obligada a cambiar de personalidad y de nombre para ser miembro de la comunidad matemática de su tiempo, siendo, quizá, la mujer de intelecto más profundo que Francia haya producido. Pero ella tuvo la fortuna de acercarse a Carl Friedrich Gauß, a quien ya mencionamos

con anterioridad, pero de quien ahora te diremos que fue el más grande en teoría de números; llamado "el príncipe de los matemáticos"; uno de los más grandes matemáticos de todos los tiempos y el único que opaca los nombres de los otros involucrados en la misma trama. Sophie se ocultó bajo el seudónimo de Monsieur Le Blanc para escribirle a Gauß, al temer su rechazo por su condición femenina, no obstante su ya bien merecido reconocimiento profesional en Francia. Su trabajo sobre el último teorema de Fermat constituye su máxima aportación a las matemáticas. La intervención de Napoleón en Alemania descubrió a Gauß la identidad de Le Blanc ya que Sophie pidió al general en jefe de las tropas invasoras proteger la existencia del gran hombre (seguramente recordando que fue la historia de la trágica muerte de Arquímedes la que dio un sesgo definitivo a su vida).

Al saber de esto Gauß, lejos de enojarse por "la decepción" de descubrir que su amigo era una mujer, le reiteró su admiración por ella y el interés por su valioso trabajo y, con gran placer, reconoció la valentía y cualidades excepcionales, de una gran mujer que, además, honró a la ciencia con su predilección por estas artes.

La correspondencia con Gauß fue para ella el apoyo, la inspiración y el motivo que dio sentido a su permanencia en matemáticas puras (... y como lo que sigue no es tan claro, dejemos en suspenso nuestra historia, no mencionemos más pena ni gloria, a veces es mejor pasar de largo).

Y colorín colorado ...

Como ves, los números han sido y serán siempre objeto de interés de muchos. Lo que te presentamos es solamente un poco, muy poco, de lo muchísimo que comprende su estudio, que es tan solo una de las ramas de la matemática moderna.

Dinos ahora, ¿no es cierto que estás convencido de que no hay tal rechazo, tal menosprecio a los números como tú lo crees? Con lo anteriormente expuesto es imposible que alguien en algún momento pueda ignorarte, aunque tú nos dirías, claro, que **(Tesis)** sería una de aquellas cosas de un imposible siempre posible en matemáticas hasta que llegue el momento de probarlo y que

también tú aprendiste a creer en 6 cosas imposibles antes del desayuno. De acuerdo, te vamos a dar la oportunidad de que definas tu último motivo de queja, pero, es hora de regresar. Piénsalo bien.

A la mañana siguiente respondió (**Corolario**):

"En mi afán por definirlo
para poder trascenderlo
no reparé en el desvelo
sin lograr reconocerlo.

No obteniendo resultado
en aras de un bien mayor
intentado he lo vedado
lo más nuevo, lo mejor.

Busqué sobre mis escombros
algún relámpago vivo
y al no lograr mi objetivo
indagué sin más asombros.

Pregunté al gavioto sabio:
¿Qué haces tú para saber?
"Yo vuelo para entender"
y partió en su ansioso empeño
(de sus actos siempre dueño
en su quehacer solitario).

Fui donde la roca brota
para hablar con el tritón
"Vete, me dijo, al arcón
concéntrate en lo que canta".

Ella saliendo del agua
con voz dulce tarareó
"Haz de buscar en la arena
que el arcángel que cayó
se va cuando el día se acaba."

Cavilando sobre el polvo
me habló lo que fue un lucero
"Llegarás donde el sol nace
con la luna en este viaje."

Fui por la luna al estanque
y a ver nacer a la estrella



busqué en los granos de arena
como explicó la sirena
volé al espacio vacío
que aquel enigma dejó
pero fue la aurora bella
en la transfiguración
la que pudo responderme
que aún al no entender comprenda
la claridad de lo oscuro
tengo en mi afán el fin mismo
la propia motivación
porque la definición
incluye a lo definido
y en esta tautología
que requiere explicación
para situar lo buscado
con mucha sabiduría
se ve que el motivo dado
sólo se encuentra presente
desde lejos hasta siempre
por ahí, en mi sinrazón".

Y dándonos la razón, se retiró complacido.

Y nosotras nos despedimos convencidas de que
todavía se pueden hacer cosas peores que dejarse llevar
por el encanto de los números.

F I N

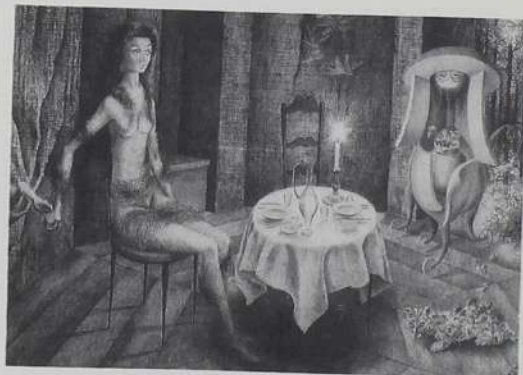
(Comunicación personal sólo para teóricos en números: el sol es una estrella) **Nota:** Por cosas del azar se comenzó el mecanografiado de este trabajo un martes 13, no obstante, tuvimos la suerte de contar con Araceli Guadarrama Ríos, a quien agradecemos su eficiente labor al respecto.

Agradecemos también a Adrian Pérez Galván sus valiosos comentarios.



Referencias bibliográficas

1. I. Asimov, *El Reino de los Números* (Diana, 1981).
2. C.B. Boyer, *A History of Mathematics* (Wiley, 1968).
3. H. Dörrie, *100 Great Problems of Elementary Mathematics* (Dover, 1965).
4. G. Gamow, *Uno, Dos, Tres ... Infinito* (Espasa-Calpe, 1969).
5. R.K. Guy, *Unsolved Problems in Number Theory* (Springer-Verlag, segunda edición, 1994).
6. H. Hiriart, "Números Delirantes", *La Jornada Semanal* (29 de marzo de 1998).
7. I. Kaplansky, *Mathematica* (Encyclopædia Britannica Yearbook, 1975).
8. C.S. Ogilvy y J.T. Anderson, *Excursions in Number Theory* (Dover, 1988).
9. O. Ore, *Number Theory and Its History* (Dover, 1988).
10. Y.I. Perelman, *Aritmética Recreativa* (Ediciones de Cultura Popular, 1975).
11. C. Reid, *From Zero to Infinity* (Apollo Edition, 1961).
12. G.F. Simmons, *Introduction to Topology and Modern Analysis* (Mc Graw-Hill Kogakusha, 1963).
13. S. Singh, *Fermat's Last Theorem* (Fourth Estate, 1998).
14. S. Valiente, *Algo Acerca de los Números* (Alhambra Mexicana, 1989).
15. A. Wiles, "Modular elliptic curves and Fermat's Last Theorem", *Ann. of Math.* **142**, 443 (1995).



La electrónica: estrategias para desarrollarla en un mundo interdependiente

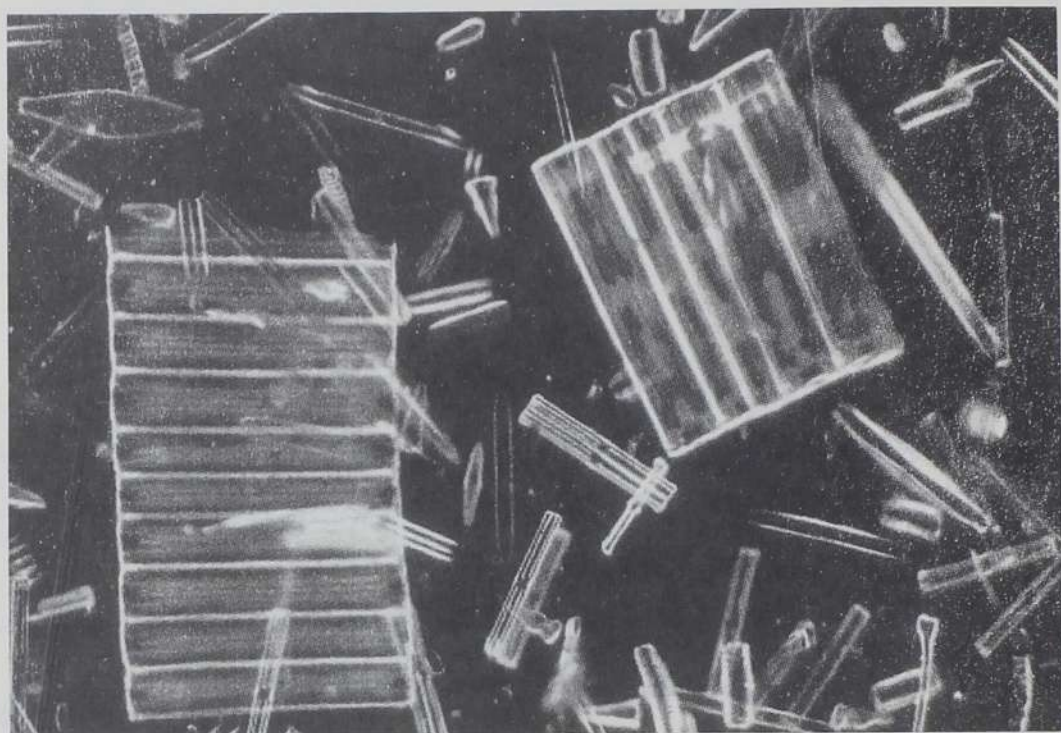
Rodolfo Quintero Romo

Ciencia, técnica e industria del siglo XX

Los medios de comunicación electrónica, las computadoras personales, los robots industriales y los televisores, son productos de la industria electrónica (IE). Sus productos son parte de nuestra vida cotidiana y su importancia económica es equiparable con la que han tenido en el pasado las máquinas de vapor y la generación de energía eléctrica. No hay aspecto de la vida del hombre actual que no tenga que ver, directa o indirectamente, con dichos productos. Su importancia en los medios educativos y su efecto en la elevación de la productividad industrial, crecen rápidamente. Por otro lado, los beneficios de las comunicaciones y de la información alcanzan cada vez a un número mayor de personas, venciendo con facilidad distancia y aislamiento geográfico.

La IE nació en los EUA en el primer cuarto de este siglo, pasó rápidamente a Europa y después de la Segunda Guerra Mundial empezó a desarrollarse en otros países. En los años 50, Japón desarrolló capacidad de producción, basada en mano de obra barata, para luego ascender a productos más complejos, con tecnología propia y alto valor agregado, desplazando en muchos casos a los EUA y a Europa. Otros países de Asia siguieron el ejemplo, de tal suerte que en la actualidad la producción combinada de Japón y los Tigres Asiáticos (Taiwán, Corea, Singapur y Hong Kong)

El M. en C. Rodolfo Quintero Romo es investigador de la Sección de Electrónica del Estado Sólido del Cinvestav. Dirección electrónica: rquinter@enigma.red.cinvestav.mx



es la más grande del mundo, seguida por la de los EUA y Europa

La electrónica es una industria que crece con rapidez: en 1920, producía radios y fonógrafos por 20 millones de dólares (mdd) mientras que en 1990 el valor de la producción sobrepasaba ya los 700,000 mdd. Se espera que en el año 2000 el valor la producción mundial rebase los 1,300,000 mdd. Su crecimiento de 6.8% anual rebasa el promedio de la industria manufacturera mundial de 3.8% y el del producto interno bruto (PIB) mundial de 3.1%. Para el año 2000, se espera que las industrias de la electrónica representen el 4% del PIB mundial y el 14% del valor agregado de las manufacturas. Es también una fuente importante de empleo, que absorbe a 2.4 millones de trabajadores en los EUA y a 1.8 millones en Japón.

La IE se caracteriza por ciclos de producción cortos impulsados por constantes innovaciones tecnológicas, variaciones bruscas de la demanda de sus productos y plantas productivas costosas. Como los entornos técnico,

financiero e industrial tienen que responder satisfactoriamente a estas exigencias, la gran mayoría de los países no está en condiciones de desarrollarla. En el pasado, varios países, en particular los asiáticos, se iniciaron exitosamente en esta industria ensamblando aparatos de bajo costo, para los que las exigencias de inversión y conocimiento tecnológico eran menores. En la actualidad, sin embargo, la entrada como ensamblador requiere de inversiones cuantiosas dada la naturaleza global de la industria, que exige tecnologías de proceso y de control de calidad avanzadas, aun en el caso productos simples. Cualquier aspirante a desarrollar la IE, por lo tanto, tendrá que hacer un esfuerzo extraordinario y muy bien dirigido. Si bien para un país la decisión de tener o no una IE depende de sus prioridades y capacidades, la de promover su uso parece ineludible. Los expertos coinciden en que su impacto en la productividad es siempre positivo, sin importar el nivel de desarrollo socioeconómico, y que puede ser mayor en los países menos desarrollados. Los mayores aportes económicos de la electrónica provienen, según los indicios, de su uso y no de su producción.

En este artículo se presenta primero un bosquejo de los principales desarrollos científicos y técnicos relacionados con la electrónica. Siendo la electrónica, además de un desarrollo científico-técnico, una industria pujante que resulta tanto de la visión e iniciativa empresarial, como de los esfuerzos dirigidos de gobiernos nacionales, se describen a continuación ambas formas de desarrollo y cómo tuvieron lugar en diversas partes del mundo. Para terminar, se aborda el caso de la IE mexicana, su evolución y posibles formas de promoverla.

Aunque la industria de la electrónica en su forma actual consiste de una infinidad de aportaciones técnicas y científicas, es posible señalar como elementos centrales el tubo de vacío, el transistor y la computadora. El primero marcó el paso del desarrollo de la industria durante la primera mitad del siglo, en particular las comunicaciones inalámbricas. En la segunda mitad del siglo, el transistor y la computadora se han desarrollado en un proceso de espiral ascendente de mutuo apoyo, gracias al cual se vive en la actualidad la rápida expansión y fusión de medios de comunicación y computadoras.

La primera patente relacionada con la transmisión inalámbrica, o de radio, fue registrada por G. Marconi en 1896. Posteriormente, en 1901, el mismo Marconi realizó exitosamente la transmisión de señales de radio desde Inglaterra, y su recepción de la misma en Newfoundland. Con este experimento se inicia la era del inalámbrico y de la electrónica. Sin embargo, el advenimiento de la radio comercial como la conocemos no hubiera sido posible sin la invención de los tubos de vacío: el diodo o tubo de dos terminales de John Fleming (1904), y el de tres terminales o triodo de Lee De Forest (1906). La operación de ambos tubos depende del flujo de partículas cargadas eléctricamente (electrones) a través de un espacio sin aire (vacío). La característica sobresaliente del diodo es que permite el paso de la corriente eléctrica en una sola dirección y, gracias a ella, es posible detectar señales de radio muy débiles. En la válvula de De Forest, además, es posible controlar el flujo de corriente eléctrica entre dos electrodos, mediante un tercer electrodo, que le confiere la capacidad de amplificar señales eléctricas. Con ello fue posible transmitir señales de manera inalámbrica. Ambas invenciones contribuyeron al desarrollo de la radio comercial a partir de 1920. La era de los tubos de vacío culminó con la invención del radar, durante la Segunda Guerra Mundial,

pero fueron la radio y la televisión comerciales las que impulsaron la IE, pues cada transmisor de radio o televisión y cada receptor de ambas tenía en su interior varios tubos de vacío, por lo que el mercado y la industria crecieron enormemente.

Las máquinas de cálculo, a diferencia de la radio que se basaba en descubrimientos recientes de la física, son casi tan antiguas como los cálculos aritméticos mismos, como lo demuestran los ábacos chinos de hace 5000 años. Blaise Pascal inventó en 1642 la primera máquina automática de cálculo, capaz de sumar y restar, y Charles Babbage en 1830 la primera computadora en la que las instrucciones se ejecutaban de manera automática. Esta última no fue en realidad terminada, en parte por las limitaciones de fabricación mecánica de la época. Una computadora digital moderna es en esencia un conjunto de por lo menos unos miles de interruptores que al ser comandados por algoritmos o recetas matemáticas plasmados en programas, permite llevar a cabo series de operaciones aritméticas y lógicas con una rapidez que depende de los interruptores utilizados: la máquina llamada Mark I, construida por la IBM y la Universidad de Harvard en 1944, era una enorme mole de 15 metros de largo y 2.5 de altura, en la que los interruptores eran electromecánicos. Posteriormente se construyó en la Universidad de Pennsylvania la computadora de propósito general ENIAC, que en lugar de relevadores utilizaba tubos de vacío. Con sus 17468 tubos, era capaz de efectuar 5000 operaciones por segundo, por lo que era 1000 veces más rápida que la máquina electromecánica Mark I. Estas primeras computadoras, sin embargo, mostraron la limitación inherente a los tubos de vacío, pues los miles de tubos requeridos las hacían de tamaño enorme, inmensamente costosas, poco confiables, y consecuentemente se utilizaban sólo en aplicaciones extremas. El pleno desarrollo de las computadoras tuvo que esperar la llegada del transistor, que sustituiría por completo al tubo de vacío en las aplicaciones de cómputo.

Irrupción del transistor

En diciembre de 1947, los Bell Telephone Laboratories dieron a conocer el invento llamado transistor, realizado por sus investigadores John Bardeen y Walter Brattain,



en el laboratorio dirigido por William Shockley. Shockley inventaría tres años después el transistor de unión, que es el que se utiliza en la actualidad. Con estos descubrimientos se inicia, aunque primero lentamente, el abandono del tubo de vacío en favor del transistor. En este nuevo dispositivo, el lugar del vacío del tubo es tomado por un sólido (germanio o silicio) y además se hace presente una nueva carga positiva (huecos de electrones), inexistente en los tubos. Tanto el paso de corriente en una sola dirección por el sólido, como su control mediante un tercer electrodo, son posibles, por lo que, al igual que el tubo de vacío, es capaz de detectar señales y de amplificarlas. La diferencia crucial de este nuevo dispositivo, sin embargo, es que aún en sus versiones más primitivas era más pequeño que los tubos de vacío más pequeños de 1947, y no consumían las enormes cantidades de energía requeridas por los tubos, donde los electrones tenían que ser suministrados por un filamento caliente similar al de un foco. El enorme potencial del transistor fue visualizándose sólo poco a poco, conforme se refinaban los procesos de fabricación del material básico semiconductor (primero germanio, luego silicio). Gracias al transistor, la segunda generación de computadoras iniciada en 1959 era mucho más confiable, consumía mucho menos energía y aprovechaba el reducido tamaño de los transistores. Ninguna otra aplicación electrónica se beneficiaba tanto, en esta

etapa de desarrollo, como la computadora. El siguiente paso conceptual crucial en la dirección de la tecnología de semiconductores como la conocemos actualmente, fue la invención del circuito integrado, en el mismo año de 1959, por Jack Kelby y Robert Noyce. Esta invención, mediante técnicas similares a las fotolitográficas utilizadas en la impresión de libros y revistas, permitía no solamente integrar los transistores de un circuito electrónico sobre un pequeño pedazo de semiconductor, sino también fabricar simultáneamente muchos de estos circuitos completos con la consiguiente dramática reducción de costos. En esta etapa, el silicio había ya desplazado por completo el germanio y los elementos básicos estaban dados para que tuviera lugar la segunda etapa de desarrollo de la electrónica, esta vez más explosiva. Los tubos de vacío, excepto en aplicaciones de gran potencia como radares y radiodifusoras, iban a ser desplazados por los transistores, y a la vez iban a surgir nuevas aplicaciones inconcebibles sin los transistores y los circuitos integrados.

El Valle del Silicio

La IE en los EUA ha sido el resultado de la combinación de descubrimientos científico-técnicos con empuje empresarial, apuntalada en momentos críticos con fondos públicos a través de proyectos nacionales como los espaciales y los militares. El empuje empresarial en la IE está simbolizado por el Valle del Silicio.

El Valle del Silicio fue impulsado en sus inicios por Frederick Emmons Terman, decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Stanford, después de la Segunda Guerra Mundial con el objetivo de promover una comunidad intelectual que rivalizara con las mejores de la época. Dos de sus estudiantes, Dave Packard y Bill Hewlett habían ya fundado en 1939 con sus propios recursos la compañía Hewlett Packard (instrumentos de medición y computadoras). Cuando William Shockley recibió junto con Brattain y Bardeen el Premio Nobel de Física por la invención del transistor en 1956, ya había fundado en el Valle del Silicio un año antes su empresa Shockley Labs, dedicada a la fabricación de transistores. Sin embargo, las páginas brillantes después de la invención del transistor no serían escritas por Shockley ni por su empresa, sino por ocho jóvenes llevados por él de la costa este de los EUA: Gordon Moore, Sheldon

Roberts, Eugene Kleiner, Robert Noyce, Victor Grinich, Julius Blank, Jean Hoerni y Jay Last. Los ocho fundaron en 1957 la compañía Fairchild Semiconductor, la primera que trabajaría únicamente en silicio, tras la desaparición de la compañía de Shockley. Fue en esta compañía donde Robert Noyce ideó el circuito integrado (1959). Una característica de las compañías en el Valle del Silicio es que de ellas han surgido nuevas empresas: Fairchild surgió de Shockley Labs, y de ella nacieron a su vez otras, entre las que se cuentan Intel (Pentium), que en la actualidad es el productor de circuitos integrados más grande del mundo, así como National Semiconductors, AMD, Cirrus Logic y Signetics.

El llamado Valle del Silicio es en la actualidad un corredor de 80 Km de largo en el norte de California que abarca, entre otras, poblaciones como Menlo Park, Palo Alto, Santa Clara y San José, en la que se alojan compañías relacionadas con la industria de la informática como Intel, Cisco Systems, 3Com, Sun Microsystems (*workstations*) y Netscape Communications (*navegadores de Web*). Estas compañías combinadas suman ingresos anuales de más de 40,000 mdd, y tienen un capital conjunto de 257,000 mmd, suma que es mayor que el total de las tres grandes compañías fabricantes de automóviles General Motors, Ford y Chrysler. El Valle del Silicio es, sin embargo, mucho más que el sitio donde se asientan grandes empresas: están también allí establecidas más de 7000 compañías relacionadas con la electrónica y el *software* y cada semana se crean 11 nuevas, de las cuales la mayoría no prospera. Dos características comunes a todas estas empresas, pequeñas y grandes, son que se dedican a la alta tecnología y que en todas ellas ésta ha sido iniciada por mentes jóvenes y creativas, provenientes sobre todo de las Universidad de Stanford y la Universidad de California, y en menor proporción del resto de los Estados Unidos y del mundo.

El Valle del Silicio es en la actualidad la más alta expresión de los ideales empresariales estadounidenses: una combinación de libertad de empresa e individual, donde nada cuenta más que el talento, con capital de riesgo siempre disponible, que atrae talento de todo el mundo y que crea millonarios como pocas actividades empresariales. El Valle tiene también otra característica, propia de su ambiente cultural: los empresarios pueden fallar en una empresa e intentar una nueva, pues fallar

y aprender de los errores es considerado parte del camino que conduce finalmente al éxito y esto, desde luego, es entendido por el capital de riesgo.

En una industria dinámica como la electrónica, el líder ensaya nuevas tecnologías que le permitan mantenerse a la cabeza. Para este fin requiere una fuerte base científica que sea el fundamento de nuevas ideas y una clase empresarial altamente emprendedora. La creación de productos tecnológicos de algún valor comercial suele ir precedida de muchos intentos fallidos. Este alto riesgo es asumido más fácilmente por pequeñas firmas de emprendedores que desaparecen al fallar en el intento, que es lo más probable, o se convierten en empresas exitosas junto con el producto tecnológico que inventaron y promovieron. El Valle del Silicio representa un ejemplo sobresaliente de esta estrategia de liderazgo.

Estrategias de los seguidores

El Valle del Silicio parecería ser la confirmación de la superioridad de las fuerzas de mercado en el desarrollo de una industria en constante renovación, como la de la electrónica. Sin embargo, la historia del desarrollo de esta industria está marcada en todo el mundo, por la decidida intervención gubernamental. Desde sus primeros años, la industria de semiconductores de los EUA fue apoyada con fondos públicos. La Texas Instruments, por ejemplo, sobrevivió al principio gracias a la compra garantizada de sus transistores por parte de las fuerzas armadas de los EUA. La importancia militar de los transistores, así como la de otros productos de alta tecnología, ha hecho que muchos recursos económicos, al margen de las fuerzas de mercado, incidan en el desarrollo tecnológico comercial.

Desde los años 50, todos los países que se han empeñado en desarrollar la IE, excepto el líder por supuesto, han utilizado estrategias de seguidor, con el estado como promotor principal. Así, aunque Europa ha sido el origen de importantes tecnologías, su industria ha sido siempre débil, y por lo tanto ha tenido que recurrir a políticas de seguidor. En Inglaterra, por ejemplo, el gobierno creó en 1968 la compañía de computadoras ICL (International Computers Limited, ahora propiedad de Fujitsu), a partir de la fusión de varias empresas, la proveyó de financiamiento y puso a su disposición

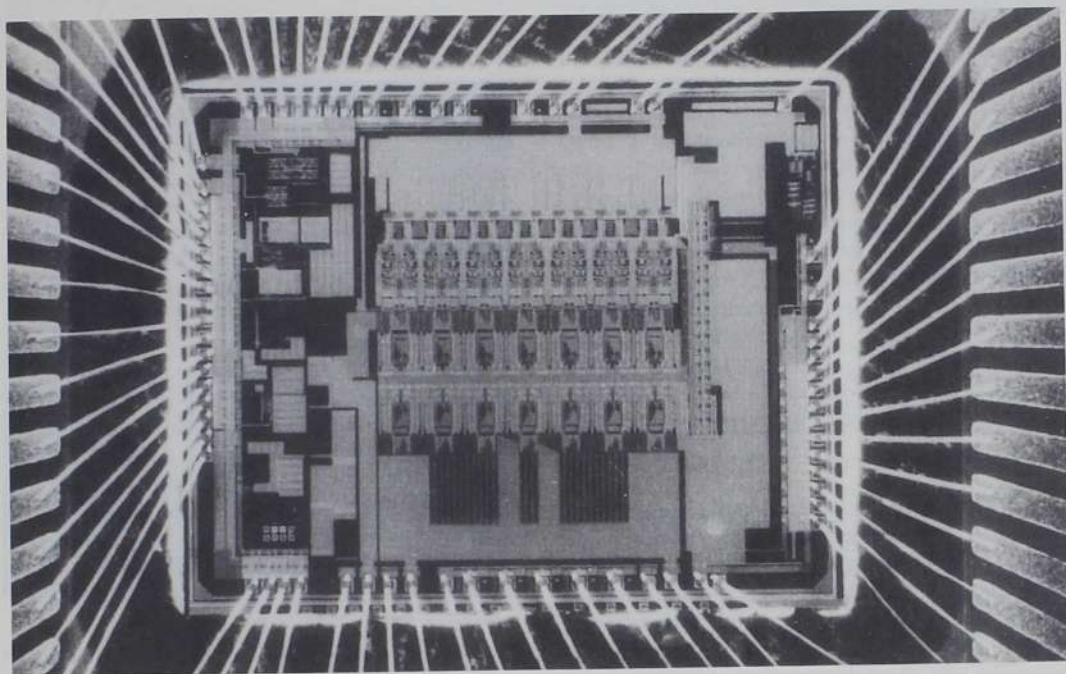
instituciones públicas de investigación. Francia, por su lado, lanzó el Le Plan Calcul en 1964, para hacer frente a la competencia de la IBM; dentro del mismo, creó la compañía pública CII, a partir de la fusión de dos empresas, la financió ampliamente, la protegió de sus competidores locales y garantizó la compra de sus productos. Las compañías europeas de esta época tienen en común que crearon un solo campeón nacional, que gozaron de fuerte financiamiento público, que las protegieron fuertemente de la competencia tanto nacional como extranjera y que, no obstante, no tuvieron éxito.

La efectividad de la intervención gubernamental para promover la IE fue puesta en duda por los resultados negativos de los proyectos europeos mencionados y los de otros similares llevados a cabo en otras partes. Esta percepción es rota por el consorcio japonés de *Very Large Scale Integration* (VLSI, 1975-1979) con el que sorpresivamente Japón rebasó a los EUA en el área de circuitos integrados de memoria dinámica (DRAM). Para lograr esta hazaña, que consistía sobre todo de mejoras paulatinas, y no de innovaciones radicales, Japón había seguido una estrategia en nada parecida a la del Valle del Silicio. Para empezar, la necesidad de desarrollar dichas memorias había sido identificada por la IBM en su calidad de líder. El reto fue aceptado por la burocracia de MITI (Ministry of International Trade Industry) que vio la necesidad de tomar el proyecto para proteger la carrera ascendente de la industria japonesa. En este caso, y contra las reglas de libre competencia, MITI se arrogó la tarea de coordinar las acciones conjuntas de las compañías NEC, Toshiba, Fujitsu, Hitachi y Mitsubishi.

Es sin duda Japón el primer país de la posguerra que muestra avances importantes en electrónica, como país seguidor, que la llevan de prácticamente inexistente a ser la segunda en tamaño después de la de los EUA. Al centro de este éxito se encontraba la más sobresaliente burocracia en el campo del desarrollo industrial dirigido, que desde los años 50 había ideado los más diversos planes de promoción industrial. Gracias a MITI, por ejemplo, la IBM tuvo que ceder tecnología a cambio de permitírsele producir en Japón y, gracias a este arreglo, Japón logró hacer una industria de computadoras propia, al tiempo que Europa y compañías como Xerox y General Electric se rendían ante el poder de la IBM. MITI es un ministerio poderoso, superado en influencia

sólo por el Ministerio de Finanzas. Como es el caso para todos los ministerios japoneses, los burócratas de MITI son reclutados entre los egresados de licenciatura de las mejores universidades, en particular la Universidad de Tokio. Así es como los burócratas de MITI inician su larga carrera en el Ministerio a muy temprana edad. El método de reclutamiento, promoción y permanencia en el Ministerio, hace que estos burócratas sean capaces, diligentes y leales. Esta burocracia del MITI se ha encargado durante décadas de adelantarse a la evolución de la industria japonesa y de promover cambios estructurales en ella, haciendo uso de una gran variedad de instrumentos de política industrial. El poder y la influencia ejercidos por el MITI no serían explicables, sin embargo, si no se tomara en cuenta su relación con la política. En Japón, a diferencia de los EUA, los burócratas han tenido más poder que los políticos. La acción política del Ministerio consiste en impedir que los políticos interfieran con sus actividades: las políticas industriales son elaboradas y aplicadas por el Ministerio, sin "interferencia" política. Debe señalarse, no obstante, que el MITI ha acumulado también muchos y muy sonados fracasos. MITI fue particularmente exitoso en la promoción industrial cuando el atraso japonés exigía estrategias de seguidor. Conforme Japón se fue acercando a la vanguardia tecnológica, MITI emprendió actividades de vanguardia en el mundo, como el Proyecto de Computadoras de Quinta Generación, que no fue exitoso. Aunque sería difícil asegurar que gracias a MITI la industria electrónica japonesa es la segunda del mundo, sería todavía más difícil demostrar lo contrario.

El éxito del proyecto de VLSI japonés, sin duda el más citado y analizado, dio bríos a la actividad promotora de varios gobiernos: se convierte en el modelo a seguir de muchos países atrasados e influye fuertemente aun en los EUA y Europa. En la década de los años 80 EUA había empezado a perder el mercado de los circuitos integrados y temía perderlo totalmente, como había ocurrido antes con el de televisores. Japón había asumido el liderazgo y en los EUA se señalaba como causa directa el proyecto japonés de VLSI, por lo que consideraban que era necesario responder con programas de investigación similares en los que colaboraran diversas industrias. Tales iniciativas, sin embargo, eran vigorosamente combatidas mediante la ley antimonopolio debido a los abusos que se habían dado en el



pasado, como el de una industria automotriz que más que colaborar para producir una mejor tecnología, había entrado en contubernio para mantener un *estatus quo* conveniente. La ley antimonopolios tuvo por lo tanto que ser modificada para que se diera la colaboración deseada. Es así como en este periodo, y contra los principios de libre mercado y competencia profesados por los EUA, se establecieron dos importantes consorcios: SEMATECH y MCC, en los que la industria colaboró para desarrollar tecnología que permitiera conservarse en el liderato mundial de la tecnología de semiconductores.

Estimulada también por los éxitos japoneses y la necesidad de protegerse, Europa sigue haciendo ensayos de promoción de las industrias de la informática, entre los que sobresalen los grandes proyectos patrocinados por la Unión Europea. En 1984, por ejemplo, lanza el European Strategic Program for Research (ESPRIT). Este programa de 2750 mmd, que duraría 10 años, tenía por fin cerrar la brecha en informática que los separaba de EUA y Japón. En él se persiguieron tecnologías precompetitivas en las que colaboraban gobiernos y

empresas de los países miembros. En éste y otros proyectos, y aprendiendo de los fracasos pasados, la Unión Europea procura no eliminar las fuerzas de mercado y evita promover campeones nacionales.

Por otro lado, al éxito asiático hay que agregar, además del de Japón, el de los llamados Tigres Asiáticos. En estos países el estado ha intervenido de maneras diversas, apartándose todos en mayor o menor medida del modelo japonés. Sin embargo, algo común a todos ellos es que, al igual que Japón, han tenido éxito, aunque sin alcanzarlo en la punta tecnológica. En todos ellos, y a diferencia de las experiencias europeas de los años 70 y principios de los 80, no se eliminaron sino que se manipularon las fuerzas de mercado.

Otros países que han logrado desarrollar una IE local de cierta importancia son la India y Brasil, aunque sin llegar a ser tan exitosos en el plano comercial como los Tigres Asiáticos. En estos países la IE, que en algunos casos como el de conmutadores telefónicos en Brasil alcanzaron un grado respetable de dominio tecnológico, fue desarrollada para el mercado interno, a diferencia

de las empresas asiáticas, orientadas a la exportación. En general, los productos de estos dos grandes países son tecnológicamente atrasados, de inferior calidad y más caros que los que compiten en el medio internacional. Por otro lado, esta industria está fraccionada y adolece de grandes omisiones. En el caso brasileño, por ejemplo, la industria de componentes se ha desarrollado muy poco. Los asiáticos en cambio, incluyendo Japón, siguieron una estrategia de mejoras paulatinas, empezando por tecnologías maduras que requerían mucha mano de obra barata, hasta alcanzar después de cuatro décadas, el alto nivel que tienen en la actualidad. La India y Brasil, en cambio, brincaron directamente a la alta tecnología sin pasar por la etapa de aprendizaje del ensamblado para el mercado de exportación.

Puede concluirse que la intervención de los gobiernos nacionales, a través de diversas combinaciones de políticas industriales, ha sido exitosa tanto en el plano de la adquisición de habilidades tecnológicas como en el comercial, en el caso de Japón y de los Tigres Asiáticos. Brasil, India y China lograron desarrollar industrias nacionales con un grado tecnológico notable aunque inferior al de los Tigres, pero con poca capacidad para competir en el exterior. En todos estos países sus respectivos gobiernos intervinieron decididamente a favor de la industria con una diferencia crucial: en los primeros se hizo que las fuerzas del mercado jugaran un papel decisivo. En el caso del proyecto de VLSI, por ejemplo, el MITI tuvo cuidado de trazar una frontera dentro de la cual la tecnología recibió el nombre de pre-competitiva, por ser del dominio de las compañías participantes en el proyecto. Fuera de esta frontera el resto de la tecnología complementaria era ya propiedad de cada compañía y constituía la base para competir en el mercado. Brasil y la India, en cambio, protegieron por completo sus industrias de los competidores externos, por lo que no fueron capaces de desarrollarse plenamente.

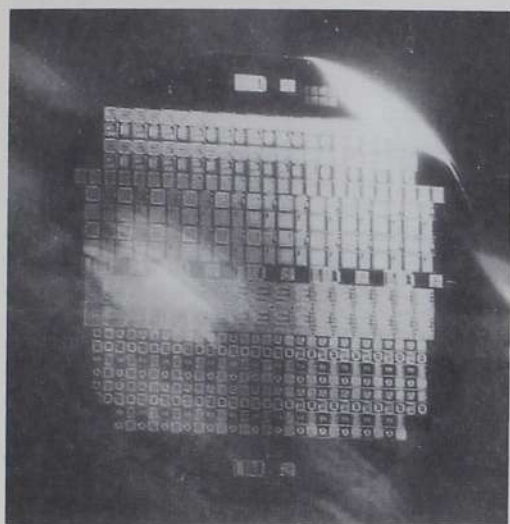
Recomendaciones

De las diversas experiencias descritas, se desprende un conjunto de observaciones útiles para aquellos países que, habiendo decidido desarrollar una IE local, deseen aprender de las experiencias ajenas.

Como no hay ejemplo que demuestre lo contrario, la intervención del estado es indispensable para el desarrollo de la IE en países atrasados. El cúmulo de intervenciones gubernamentales fallidas en todo el mundo demuestra que éstas, si bien indispensables, tienen que ser cuidadosamente diseñadas. No parece acertado, por ejemplo, que la industria sea privada totalmente del beneficio de la competencia local y extranjera. Las industrias favorecidas con fondos públicos deben mostrar, a cambio de ellos, mayor capacidad para competir en mercados abiertos. Una estrategia de desarrollo debe incluir también una secuencia de actividades industriales que empiece por las más simples, como el ensamblado de aparatos de consumo de bajo costo, y que ascienda equilibradamente en la escala de complejidad y valor agregado, sin saltos demasiado grandes que dejen huecos importantes, como en el caso de los componentes en Brasil. Una estrategia exitosa debe incluir una cuidadosa selección de las industrias a desarrollar, como la experiencia positiva de Asia lo demuestra. Por último, de las experiencias ajenas debe adoptarse la esencia y no el detalle, por la rápida evolución de esta industria. Actualmente por ejemplo, la industria de los productos de consumo más simples hace uso de tecnologías avanzadas de producción, lo que hace más caro el costo de entrada al mercado, y resta importancia al costo de mano de obra, que puede ser la ventaja comparativa más importante para los países de nuevo ingreso. El esfuerzo gubernamental debe incluir, por lo tanto, la asesoría de expertos nacionales y contratados en el extranjero, que identifiquen las mejores oportunidades. Se desprende también de las experiencias descritas que para la elaboración y puesta en práctica de estrategias para el desarrollo de la IE, se requiere de una sólida burocracia altamente preparada para sostener el rumbo durante varios años y para corregirlo cuando las cosas no marchen según lo previsto.

Las estrategias de desarrollo tecnológico pueden clasificarse en tres niveles de especificidad decreciente:

(1) Programas y acciones gubernamentales diseñados para industrias específicas y en casos extremos para productos concretos. En este nivel se tienen, por ejemplo, los laboratorios nacionales (Japón), los parques industriales patrocinados por el gobierno (Taiwán), y los proyectos de investigación en colaboración con los sectores público, privado y académico (Japón). Cae



también en esta categoría la garantía de compra del producto tecnológico por parte del gobierno.

(2) Actividades gubernamentales en áreas más genéricas como investigación y desarrollo, inversión y educación técnica. Aunque a este nivel las actividades no son específicas para un sector, industrias como la electrónica, por su fuerte dependencia de la tecnología, resultan beneficiadas preferencialmente. En este nivel cae la investigación tecnológica de las universidades, las barreras arancelarias y las restricciones a las importaciones

(3) A la tercera dimensión, la más horizontal, pertenecen la promoción de un ambiente macroeconómico propicio y el grado en que políticas e instituciones permitan el ajuste flexible de capital y mano de obra, según las cambiantes condiciones del entorno.

El primer grupo causa más fricciones comerciales con el exterior, y el tercero es el más benigno.

La electrónica en México

La IE mexicana empieza a producir, a partir de fines de los años 50, televisores blanco y negro y a color 10 años después. La industria de este periodo crece al amparo

de un esquema de sustitución de importaciones, que reserva por completo el mercado nacional a empresas establecidas en México y con capital mayoritariamente mexicano, aunque muchas de ellas eran de origen extranjero. Para 1981, año en que alcanza la máxima producción, existían 15 empresas productoras de televisores y equipos de audio, y muchas otras que producían un porcentaje considerable de los componentes requeridos, tales como transformadores, circuitos impresos, gabinetes, resistencias, condensadores y tubos de rayos catódicos blanco y negro. No se producían ni se ensamblaban, sin embargo, componentes importantes como circuitos integrados y tubos de rayos catódicos para televisores a color. Los métodos de producción eran los que se requerían para un mercado cautivo, aislado de toda competencia del extranjero y que al no estar planeados para la exportación, eran atrasados e ineficientes. En general la calidad de los componentes y productos finales era baja y los costos de producción elevados. Parecía existir, tanto entre productores como entre consumidores, la convicción resignada de que los productos no podían ser ni mejores ni más baratos.

En el mismo año de 1981 se inician las actividades industriales en el área de microcomputadoras, al cobrar vigencia el "Programa para el Fomento de la Producción de Computadoras y Periféricos", que tenía por fin apoyar compañías productoras de microcomputadoras. El capital de las empresas tenía que ser mayoritariamente nacional. Esta política dio por resultado el establecimiento de empresas mexicanas asociadas con empresas extranjeras. Para las segundas, esta estrategia les permitía conservar el acceso al mercado mexicano, y a las nacionales les daba acceso a tecnología extranjera. La industria resultante es aún menos integrada que la de televisores y audio, porque los componentes requeridos son más difíciles de sustituir localmente, como es el caso de circuitos integrados, unidades de disco, monitores, tarjetas diversas y componentes electromecánicos de impresoras. El número de componentes tradicionales como resistencias y condensadores en una computadora es muy reducido en comparación con los televisores. Bastaba una inspección superficial del interior de esas máquinas para constatar que literalmente todo lo que había en su interior era importado.

La crisis económica de 1982 marca el inicio de la caída de las políticas de sustitución de importaciones.

En ese año, la demanda de equipos de audio y video cae, por lo que algunas compañías filiales de empresas extranjeras se retiran del mercado. Una nueva coyuntura se presenta con la puesta en vigor a finales de 1984 del Programa Nacional para el Fomento Integral de las Exportaciones (PRONAFICE) y del Programa para el Fomento Integral de las Exportaciones (PROFIE). Con estos programas se ponía fin al requerimiento de licencias de importación para el caso de muchos productos intermedios y se reducían además las tarifas de importación. Estas medidas fueron desastrosas para la IE, que no estaba ni remotamente preparada para competir con productos importados, y como resultado, de los 15 productores de televisores quedaron sólo 8 en 1986. La producción de televisores se redujo en 1988 al 58% de la de 1981, y el número de productores siguió bajando a 4 en 1990 y a 1 en la actualidad. Muchos de los fabricantes se convirtieron en importadores y comercializadores de aparatos importados.

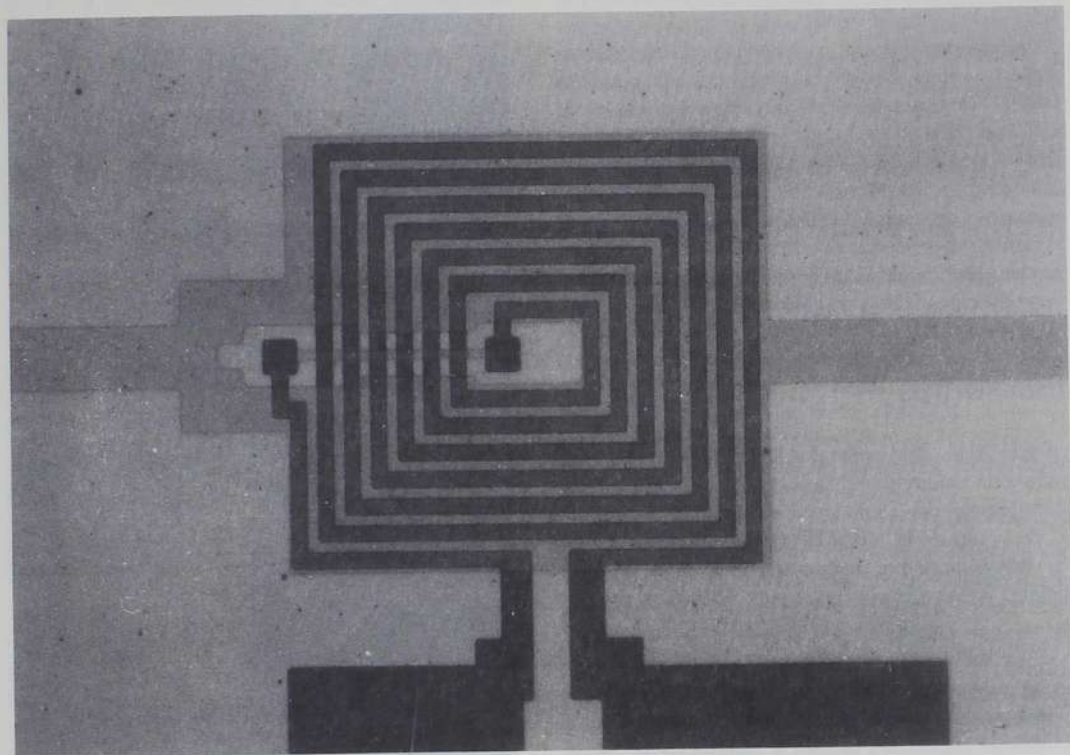
En el campo de las microcomputadoras, la coyuntura importante se da en 1985, cuando la IBM logra, contra lo estipulado en el programa de fomento de 1981 aún vigente en ese año, establecer una fábrica de microcomputadoras en Guadalajara con capital 100% extranjero. Este suceso precipitó el establecimiento de otras compañías con capital 100% extranjero, que producirían en México bajo la condición de que exportaran la mayor parte de su producción. El ingreso de México al GATT en 1986 marca definitivamente el fin de la época del proteccionismo: se abolen los permisos requeridos para la importación de componentes de computadora, se reducen aún más los aranceles, y si bien continuaban vigentes las restricciones a la importación de computadoras terminadas, en la práctica era fácil superar este obstáculo, importando kits para armar. En 1990, con el Decreto para Establecer Incentivos Fiscales para la Modernización de la IE, se abole por completo el requerimiento de licencias de importación, bajan los impuestos de importación y se eliminan las restricciones sobre la relación exportación/importación. Este decreto establece, sin embargo, la condición de que los productores deben mantener un equilibrio entre sus ingresos y egresos en moneda extranjera. Se establece así la base para una industria de grandes volúmenes de producción, basada en mano de obra barata, en la que IBM y HP dominarían el mercado.

Maquiladoras

Por otro lado, empieza a establecerse a lo largo de la frontera con los EUA una industria maquiladora a partir de los años 60, que para los EUA representaba una salida a la necesidad de competir con mano de obra barata, del tal suerte que la Zenith, el único fabricante de televisores de los EUA que sobrevivió a la competencia asiática, ensambla en la actualidad toda su producción en México. Para México, las maquiladoras representan ante todo una fuente de empleos, aunque de baja remuneración. La industria maquiladora empieza a crecer aceleradamente en la misma época en que la nacional empieza a declinar. La producción de televisores de 1990, de 3.8 millones de aparatos, crece a 13.2 millones en 1995. Un dato revelador sobre esta industria es que en sus más de 30 años de existencia, el contenido local de su producción no ha logrado rebasar el 3%. Como contraste, Taiwan y Corea, que empezaron con una industria similar en la misma época, superaron ampliamente esa etapa y tienen en la actualidad industrias de electrónica de consumo bien integradas y volcadas a la exportación. La industria maquiladora tiene, desde un punto de vista económico, una mejor cara: es superavitaria, a diferencia de la nacional, que siempre ha sido deficitaria. La industria maquiladora actual adolece de cuando menos dos puntos débiles: siendo su principal ventaja comparativa los bajos salarios, éstos no pueden ser incrementados aunque la productividad crezca porque, de hacerlo, las ensambladoras emigrarían a otro país de más bajos salarios. Otro defecto es que si estas empresas emigran o quiebran, localmente queda muy poco. La bonanza durará únicamente mientras estén presentes las maquiladoras y su presencia está condicionada a que los salarios sean bajos.

Conclusiones

Como conclusión sobre la industria nacional puede afirmarse que durante la época de sustitución de importaciones, las políticas de fomento fueron inadecuadas e insuficientes. Durante este periodo, México cometió el mismo error que Brasil y la India al proteger excesivamente el mercado local. Por otro lado, y a diferencia de estos dos países, las políticas de fomento fueron tan tibias que los avances tecnológicos fueron



despreciables. Como contraste y con muchas dificultades, Brasil integró una industria propia de micro y minicomputadoras y desarrolló los conmutadores telefónicos Trópico, de 192 a 80000 líneas. Para escalar técnicamente como Brasil, México hubiera necesitado, primero que nada, objetivos más ambiciosos y visionarios para la industria nacional, y para llevarlos a cabo, dado su atraso, habría tenido que recurrir a medidas más directas como el establecimiento de laboratorios nacionales, o de parques industriales de alta tecnología, en un ambiente de colaboración estrecha y comprometida de los sectores público y privado. Por otro lado, la iniciativa privada mostró capacidad de innovación y deseos de competir extremadamente limitados. Ninguno de los productores locales, por ejemplo, parecía querer aumentar su tajada de mercado ofreciendo mejor calidad o precio y menos aún, exportar. La IE, como el resto de la industria nacional, era una isla semiestática, que carecía de incentivos y medios económicos para adquirir la tecnología más avanzada. En el caso de las maquiladoras, por otro lado, es evidente

que no han existido políticas efectivas para aumentar el contenido local de su producción.

Cabría preguntarse qué empresas eran mejores: las de la época de sustitución de importaciones o las actuales maquiladoras. Económicamente, las primeras arrojaban un déficit comercial, mientras que las segundas son superavitarias. Económicamente, entonces, las segundas son mejores que las primeras. Sin embargo, un aspecto que no debe minimizarse es que las formas de producción son además expresión de la capacidad intelectual y de hacer de la población. Desde esta perspectiva, las viejas compañías ofrecían una mayor posibilidad de ejercer control local sobre el proceso de producción, incluyendo la concepción de los productos, aunque cada aspecto fuera una expresión atenuada de las prácticas a nivel internacional. Las maquiladoras, en cambio, son unidades de producción altamente especializadas, de productos simples y en grandes volúmenes, en las que el conocimiento sobre los fundamentos y diseño del producto final puede ser

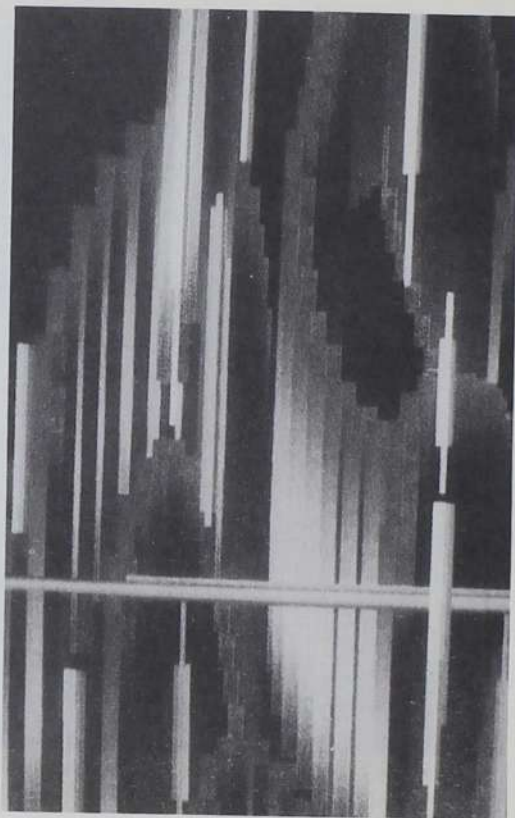
totalmente irrelevante, debido a que esta parte proviene de las compañías matrices completamente traducido a reglas y normas estrictas de producción. En suma, la principal ventaja de las viejas compañías es que se ejerce más control local de lo que se produce, si bien con limitaciones técnicas. La ventaja de las maquiladoras es que hacen uso de técnicas de producción modernas, aunque aplicadas en el estrecho sector del eslabón menos importante y de menor valor agregado de la cadena de producción. La posibilidad de ejercer algún control sobre la producción en las maquiladoras es remota.

Estrategias

Se identifican claramente dos líneas de desarrollo que requieren estrategias diferentes. La primera y más inmediata tendría como fin consolidar la IE existente, y el propósito de la segunda, mucho más difícil, sería hacerla avanzar por encima del nivel de las maquiladoras, en un régimen de mercado abierto.

El sector más importante de la IE es el de exportación, en el que sobresalen maquiladoras como las de televisores, y no-maquiladoras como la industria de computadoras personales. Si bien la balanza comercial de productos ensamblados finales es superavitaria, la de componentes para los mismos es todo lo contrario. En el caso de televisores, por ejemplo, las exportaciones superan unas ocho veces las importaciones, pero en el renglón de tubos de rayos catódicos, el componente más costoso del televisor, las importaciones son siete veces mayores que las exportaciones. En general, la industria de componentes está subdesarrollada y es la principal causa de que el contenido local de los productos ensamblados sea menor que el 3%. Algunas de las grandes maquiladoras desarrollaron proveedores, pero únicamente de los insumos que más les interesaban. Por lo tanto, se requieren programas financiados con fondos públicos para el desarrollo de proveedores locales. Esta profundización de la producción, además de incidir positivamente en la balanza comercial, contribuiría a arraigar las maquiladoras y a acelerar la transferencia tecnológica y el desarrollo de las prácticas empresariales.

Un aspirante a proveedor de maquiladoras debe entender los exigentes requerimientos de diseño, calidad y tiempos de entrega de las ensambladoras. Es un



mercado donde el demandante fija las reglas, a diferencia del medio nacional, en el que es el fabricante quien tiende a imponer su producto y tiempos de entrega. Los productos demandados son generalmente de diseño especial, según las necesidades del cliente, y son requeridos en grandes volúmenes. Una tendencia reciente, aunque no generalizada, es que también el diseño sea realizado por el proveedor. Los requerimientos señalados hacen que la actividad de proveedor sea altamente especializada y por lo tanto de difícil acceso a los candidatos a proveedores.

Por esta razón, en un programa de desarrollo de proveedores deben diseñarse estrategias para:

(a) Refinar los métodos para identificar y promover permanentemente las oportunidades de suministro de componentes a las ensambladoras. Los encuentros de

oferentes con demandantes en ferias, organizados frecuentemente por dependencias gubernamentales, deben complementarse con encuentros más selectivos, que intensifiquen y aceleren el diálogo entre las partes.

b) Fomentar la formación de empresarios, que entiendan la cultura empresarial de las maquiladoras. Podría explorarse, por ejemplo, la conversión de empleados de maquiladoras en empresarios. Estos nuevos empresarios tendrían la ventaja de conocer, desde el principio, la idiosincrasia de las empresas para las que serían proveedores.

(c) Promover que las empresas de la decadente industria nacional se instalen como proveedores en las zonas de maquiladoras. Esta transferencia sería costosa, debido a que dichas empresas se encuentran en su mayoría en el centro del país, mientras que las maquiladoras se sitúan mayoritariamente cerca de la frontera con los EUA.

(d) Hacer más oportuna la enseñanza técnica. En el caso de una industria en continua evolución como la IE, se requiere un esfuerzo permanente para mantener los programas de estudio al día y para que satisfagan la demanda. Es frecuente que las compañías se enfrenten a una escasez en el mercado del personal que requieren, y que los egresados de escuelas técnicas, a su vez, experimenten dificultades para conseguir empleo, debido a los desajustes mencionados. Por otro lado, para que la enseñanza técnica sea útil, se requiere un financiamiento adecuado para laboratorios de prácticas, que con frecuencia son costosos.

(e) Mejorar la tecnología. Un estudio reciente calificó minuciosamente la calidad de la tecnología de la IE tradicional en los siguientes aspectos: instalaciones de producción, equipo de control de calidad, tecnología de producción y sistema de control de calidad. En promedio, las industrias con 100 a 200 empleados obtuvieron una calificación de 8, mientras que para las de menos de 100 empleados el promedio fue de 7.4. Según esta evaluación, con escala de 0 a 10, la calificación mínima para proveedores es de 9. La calificación de 8 significa que la tecnología es buena, aunque tiene que modificarse en algunos aspectos, mientras que 7.4 implica que mejoras sustanciales son requeridas. Como comparación, la industria de autopartes obtuvo calificaciones de

8 a 8.8 en un ejercicio similar. Es por lo tanto necesario atacar este problema, mediante acciones diversas como la asesoría desde centros de tecnología y el mejoramiento de los servicios de pruebas y certificación.

(f) Ampliar los servicios financieros. Empresas nuevas y pequeñas requieren financiamiento para llevar a cabo las medidas propuestas. La banca comercial, sin embargo, tiende a considerar estas iniciativas como de alto riesgo, por lo que no otorga financiamiento en las condiciones preferenciales requeridas. El beneficio que estas empresas representan a mediano plazo, en términos de empleo y mejora de la balanza comercial de pagos, las hace sujetos de crédito en condiciones favorables, financiados con fondos públicos. Muchas empresas medianas y pequeñas señalarán como su principal problema el financiamiento, aún sin tener planes de expansión para convertirse en proveedores de las grandes ensambladoras.

Todas las necesidades mencionadas han sido abordadas por programas diversos de fomento y, sin embargo, el objetivo central de aumentar el contenido local no ha sido debidamente alcanzado. Si bien es posible mejorar los programas para cada uno de los renglones señalados, lo que ha faltado en mayor medida, a mi juicio, ha sido un nivel de compromiso y determinación para lograr el modesto objetivo planteado. Estos actores son, por un lado, las empresas, y por el lado del sector público, los encargados del fomento como SECOFI, gobiernos de los estados, SEP y CONACYT.

Las maquiladoras representan el eslabón menos especializado en la IE global, para el que se requiere menor conocimiento y que es intensivo en mano de obra menos calificada. Por lo tanto, el valor agregado en estas operaciones es menor. Como las maquiladoras mexicanas están sometidas a una intensa competencia de países con bajos niveles de ingresos como el nuestro, los salarios deben mantenerse bajos aunque haya aumentos sustanciales de productividad, so pena de que las mismas emigraren a sitios con mano de obra más barata. La creación de vínculos más estrechos con proveedores locales descrita en la sección anterior, que ayudaría a restar sensibilidad al costo de la mano de obra, tendría que ser seguida de la promoción de una IE cuya ventaja comparativa dejara de ser la mano de obra barata, incursionando en actividades de mayor valor agregado como el diseño de procesos y productos.

Las acciones que tendrían que emprenderse estarían acotadas por las experiencias en todo el mundo y por el entorno económico del país. De la experiencia mundial, se sabe que las fuerzas del mercado pueden manipularse para beneficio de la industria local, pero si se abusa o si se llega al extremo de eliminarlas por completo, los resultados son negativos. Para que la industria crezca, requiere, como el ser humano en lo individual, estar sometida a un nivel de competencia que la motive, pero que no llegue a ser tan intensa que la destruya. Una competencia regulada de manera creciente es absolutamente necesaria para que la industria progrese. Se sabe también que los avances más sólidos se dan con mejoras paulatinas, más que con grandes saltos hacia adelante, por lo que conviene ver la estrategia de desarrollo de proveedores descrita anteriormente como prerrequisito de estrategias más ambiciosas. De las experiencias exitosas en otros países se desprende también que la intervención decidida del estado es condición necesaria, aunque de ninguna manera suficiente, para hacer que la IE evolucione a niveles más altos de complejidad. El entorno económico también impone limitaciones a las acciones que conviene emprender: estando México comprometido en permitir el libre flujo de mercancías con diversas regiones del mundo, a través de tratados como el GATT y el TLC, resultaría impensable utilizar medidas extremas como la de reservar el mercado local para empresas locales. Sin embargo, medidas menos drásticas que entorpecieran la entrada de productos extranjeros no deben descartarse, pues siguen siendo práctica común en otros países. Por otro lado, el régimen de libre mercado al que está adherido el país tiene como ideal no favorecer a compañía ni a sector alguno, pues hacerlo sería alterar las fuerzas de "libre mercado". Consecuentemente, no tendrían cabida las políticas de desarrollo selectivo requeridas para promover la industria. Las prácticas en otros países formalmente adheridos a este principio, sin embargo, demuestran que el estado sigue teniendo no poca libertad para intervenir.

Una vez acotado el campo de acción, pueden sugerirse algunas líneas estratégicas, a manera de ejemplo, de las que deberían surgir no de ejercicios como el presente, sino de una práctica continua de prospección y planeación por parte de las autoridades competentes.

Proyectos de cooperación entre la industria y las universidades. De este acercamiento, debe surgir un plano de actividades de desarrollo que no sólo refleje las preocupaciones del industrial, sino que las proyecte por encima de ellas. El investigador aportaría su saber-hacer científico-técnico en un nuevo campo acotado por la lógica y necesidades del mercado. El principal impedimento en esta dirección es que las políticas científico-técnicas aplicadas por el CONACYT, principal administrador de fondos públicos para la investigación, desalientan en vez de fomentar estas acciones. El CONACYT y otras instancias competentes deben encargarse de estudiar las oportunidades de cooperación y presentarlas como factibles y deseables tanto al sector académico como al industrial.

Desarrollo de laboratorios industriales dentro de las empresas. Un laboratorio de desarrollo de procesos y productos abriría el espacio físico que alojaría las actividades de cooperación ya iniciadas en el paso previo. En esta etapa, como en la anterior, la emigración de académicos a la industria sería una de las consecuencias previsibles y deseables. Como en la etapa anterior, es necesario que el estado financie parcialmente el establecimiento de estos laboratorios. Por otro lado, aunque muchas industrias declaran poseer laboratorios de desarrollo, éstos distan mucho de merecer tal nombre. Las autoridades competentes deben fijar normas y desarrollar el ojo experto necesario para que las estadísticas reflejen la realidad.

En las modestas estrategias planteadas el papel del estado sería crucial. Tendría que hacerse de una burocracia que, siguiendo el ejemplo de la japonesa, fuera altamente calificada en todos los aspectos técnicos relevantes: planteamiento de estrategias visionarias que fueran a la vez ambiciosas y factibles. Sería necesario desarrollar una presencia prestigiosa en los medios industriales y académicos, por lo que sería indispensable contar con personal altamente capacitado en todos los aspectos de la electrónica. Tendría que mostrar también solidez como administrador de proyectos.

Bastaría con llevar a cabo exitosamente las estrategias hasta aquí descritas para que la industria diera un cambio cualitativamente importante, de lo que se desprenderían naturalmente otras acciones más ambiciosas, como la creación de industrias avanzadas.



Bibliografía

1. Sobre la historia de la electrónica: *Encyclopedia Britannica* (1990); "The Solid State Century: the past, present and future of the transistor", *Scientific American* (número especial, 1997).
2. Sobre el Valle del Silicio: "Silicon Valley: How it Really Works", *Business Week* (18/08/97).
3. Sobre el desarrollo de la industria electrónica en el mundo: B. Wellenius; A. Miller; C.J. Dahlman, "Developing the Electronics Industry", *A World Bank Symposium* (1993).
4. Sobre los proyectos de alta tecnología japoneses: C. Scott, *Divided Sun: MITI and the Breakdown of Japanese High-Tech Industrial Policy* (Stanford University Press, 1995).



VIII Congreso de Biotecnología y Bioingeniería

IV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Biotecnología y Bioingeniería

Bahías de Huatulco, Oaxaca, México,
del 11 al 17 de septiembre de 1999

Se convoca a todas las personas interesadas en someter a
consideración sus trabajos, a enviar un resumen a más tardar
el viernes 7 de mayo de 1999

Mayor Información:

Dra. Mayra de la Torre

Presidente del Comité Organizador

Depto. de Biotecnología, CINVESTAV-IPN
México, D. F.

Tel.: (5) 5747 7084 ó 5747 7000 ext. 3900, 3903

Fax: (5) 5747 7002 ó 5747 7000 ext. 3905

e-mail: mmdelato@mail.cinvestav.mx

Dr. Octavio Tonatiuh Ramírez

Presidente del Comité Científico

Instituto de Biotecnología, UNAM
Cuernavaca, Morelos

Tel.: (73) 29 16 46 ó (5) 5022 7646

Fax: (73) 17 23 88

e-mail: huatulco@ibt.unam.mx

Reconocimiento a la química mexicana

Eusebio Juaristi

Es un honor para mí dirigir a ustedes estas palabras de agradecimiento y de reflexión en este día especial, inolvidable para muchos de nosotros. De agradecimiento señor Presidente, porque con actos como el que nos reúne en esta ceremonia, refrenda su gobierno el reconocimiento y apoyo continuado a la educación, la ciencia y la cultura nacionales. Desde el punto de vista político y social, sabemos todos que el desarrollo científico original es indispensable para alcanzar la independencia económica y cultural esencial para nuestro país. Sabemos todos que sólo mediante la educación, la ciencia y la tecnología propias podrá México competir favorablemente ante la creciente agresividad de un mundo globalizado.

Al proporcionar una capacitación moderna a los millones de jóvenes mexicanos, se incrementarán su confianza, sus perspectivas de un futuro prometedor al mismo tiempo que disminuyen las posibilidades de que nuestros jóvenes cedan ante las tentaciones de las drogas y de los actos ilícitos.

Reconocemos que diversas iniciativas llevadas a cabo durante las últimas décadas, como son la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, del Sistema Nacional de Investigadores y del Sistema Nacional de Creadores han sido de gran importancia para formar y apoyar a los líderes científicos y artísticos que permiten en este momento el fortalecimiento de las áreas prioritarias para el desarrollo de México. Es por supuesto deseable el canalizar recursos crecientes a la Secretaría

El Dr. Eusebio Juaristi, investigador titular del Departamento de Química del Cinvestav, es miembro del Consejo Editorial de Avance y Perspectiva. Este texto fue leído en la ceremonia de entrega de los Premios Nacionales de Ciencias y Artes 1998, Palacio Nacional, 15 de diciembre de 1998.



de Educación Pública. Esperamos que las dificultades e incertidumbres actuales se puedan superar lo antes posible. Es indispensable también que el sector productivo privado contribuya de manera mucho más decidida al financiamiento de la ciencia y de las artes.

El Premio que hoy recibe un servidor es también un reconocimiento a la química, ciencia que desafortunadamente no siempre cuenta con el prestigio que merece. La química es una ciencia creativa, esencial para aumentar la productividad de México y para mejorar la calidad de vida de los mexicanos. En este contexto, la química jugará un papel social relevante durante el Siglo XXI. Ayudará a resolver los problemas derivados de una producción insuficiente de alimentos, así como a continuar el esfuerzo por reducir el crecimiento elevado de la población. En el área de la salud, desarrollaremos otros productos que contribuyan a superar la fase de transición epidemiológica que hoy vivimos y produciremos fármacos más baratos y efectivos para que todo mexicano disfrute de una vida que ya es más larga, pero que debe ser más sana y más satisfactoria.

Debemos encontrar fuentes alternas de energía viables, baratas y limpias, ya que el petróleo seguramente se agotará antes del fin del Siglo XXI. La tecnología química coadyuvará a aliviar la contaminación ambiental y el deterioro ecológico, tan graves en nuestro país.

La química tiene pues aún mucho que proporcionar a México. Para ello requerimos apoyo y esquemas de trabajo que hagan de la química una disciplina más atractiva para los jóvenes, que permitan mejorar la preparación de los estudiantes de la especialidad, que faciliten el diálogo y la colaboración entre la academia y la industria, y que eleven el nivel y diversidad de las actividades de investigación en el área de la química.

A nivel personal, me permito expresar mi agradecimiento a los doctores Domínguez, Eliel, Streitwieser y Seebach, por sus enseñanzas y por su ejemplo. A los doctores Manuel Ortega, Héctor Nava, Feliciano Sánchez y Adolfo Martínez Palomo, por su respaldo como directores del Cinvestav en el transcurso de los últimos 20 años. Gracias también a mis estudiantes y colaboradores, pues son su trabajo y su contribución intelectual los que hacen posible este reconocimiento. Finalmente, deseo hacer constar que la solidaridad y ayuda de mi esposa, hijos y familiares han sido fundamentales para lograr la estabilidad, dedicación y constancia que se asocian a nuestro trabajo. A usted, señor Presidente, mi agradecimiento reiterado por su presencia y su apoyo a las actividades que realizamos los hoy premiados. Recibimos el premio no sólo como un reconocimiento a nuestra labor, sino sobre todo, como un compromiso por redoblar esfuerzo, energía y creatividad para la superación científica, tecnológica y cultural de nuestro país.



Adolfo Martínez Palomo, director general del Cinvestav para el periodo 1999-2002

El pasado 7 de diciembre el Lic. Miguel Limón Rojas, secretario de Educación Pública, por acuerdo con el Presidente de la República, designó al Dr. Adolfo Martínez Palomo como director general del Cinvestav por un segundo periodo de cuatro años.

El Dr. Adolfo Martínez Palomo es médico cirujano (1964) y doctor en ciencias médicas (1971) graduado en la Facultad de Medicina de la UNAM. Se incorporó al Cinvestav en 1972, fue jefe del Departamento de Biología Celular (1980-1984) y del Departamento de Patología Experimental (1990-1994). Su campo de investigación es la biología celular del cáncer y de parásitos del hombre. Entre sus principales contribuciones científicas destacan sus trabajos sobre las alteraciones ultra-estructurales de las superficies de las células cancerosas. Esta línea de investigación fue reconocida por el Institute for Scientific Information de Filadelfia, EUA, con una cita clásica, distinción que se asigna a los artículos publicados que han recibido más de 300 citas en la literatura científica. El Dr. A. Martínez Palomo ha realizado importantes contribuciones en el campo de la biología celular de las enfermedades parasitarias, en particular de la amibiasis, campo en el que ha publicado numerosos artículos de investigación y cuatro libros publicados en Inglaterra, Holanda, Argentina y México. Asimismo, el Dr.



Dr. Adolfo Martínez Palomo

A. Martínez Palomo se ha interesado en el desarrollo de la ciencia en América Latina, tema en el que ha publicado un buen número de artículos en revistas de divulgación y en periódicos de circulación nacional.

Entre las distinciones académicas que ha recibido el Dr. Martínez Palomo, destacan el Premio Nacional de Ciencias y Artes (1987), el Premio de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (1988), el Premio de Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias (1975), el Premio Luis Elizondo (1996), fue presidente de la Academia Mexicana de Ciencias en el periodo 1985-1987 y de la Academia Nacional de Medicina en 1989-1991, y es miembro de El Colegio Nacional.

Entre el grupo de colaboradores más cercanos al Dr. A. Martínez Palomo, se encuentran la Dra. María de Ibarrola como



Dra. María de Ibarrola

asesora de la Dirección General, el Dr. René Asomoza como secretario académico, y el Dr. Manuel Méndez Nonell como secretario de planeación.

La Dra. María de Ibarrola, investigadora titular del Departamento de Investigaciones Educativas, obtuvo el grado de doctora en ciencias con especialidad en Educación por el mismo Cinvestav. Su campo de investigación es la sociología de la educación, el diseño curricular y el análisis del discurso en las clases de ciencias. Tuvo bajo su responsabilidad la jefatura del Departamento de Investigaciones Educativas (1984-1990) y de la presidencia de la Fundación SNTE para la Cultura del Maestro (1993-1998).

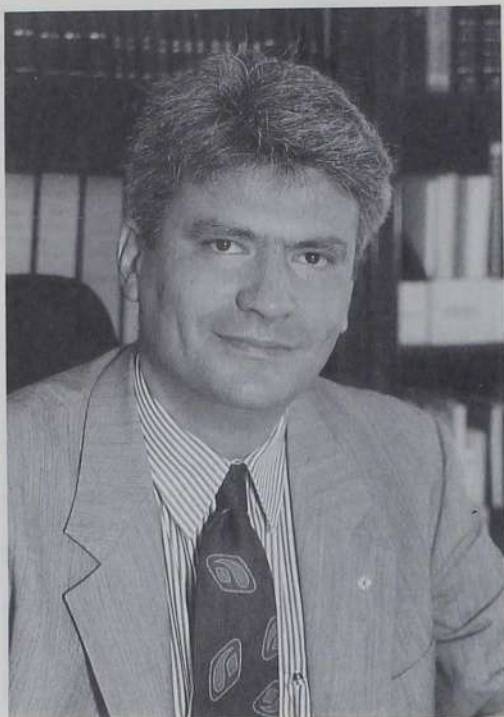
El Dr. René Asomoza, investigador titular del Departamento de Ingeniería Eléctrica, es físico egresado de la Escuela Superior de Física y



Dr. René Asomoza

Matemáticas del IPN y doctor en ciencias (Física del Estado Sólido, 1980) por la Universidad de París en Orsay. Su campo de investigación es el estudio de las propiedades de transporte eléctrico de semiconductores y la espectrometría de masas de iones secundarios. Hasta el momento de su nuevo nombramiento, tenía bajo su responsabilidad la jefatura del Departamento de Ingeniería Eléctrica.

El Dr. Manuel Méndez Nonell, investigador titular de la Unidad Saltillo, es ingeniero químico metalúrgico egresado de la Facultad de Química de la UNAM y doctor en ciencias (Metalurgia, 1985) por la Universidad de Sheffield en Inglaterra. Su campo de interés es el tratamiento del metal líquido, así como los procesos de refinación y solidificación de metales y aleaciones. Tuvo bajo su responsabilidad la dirección de la Unidad Saltillo (1989-1995) y hasta su nuevo nombramiento

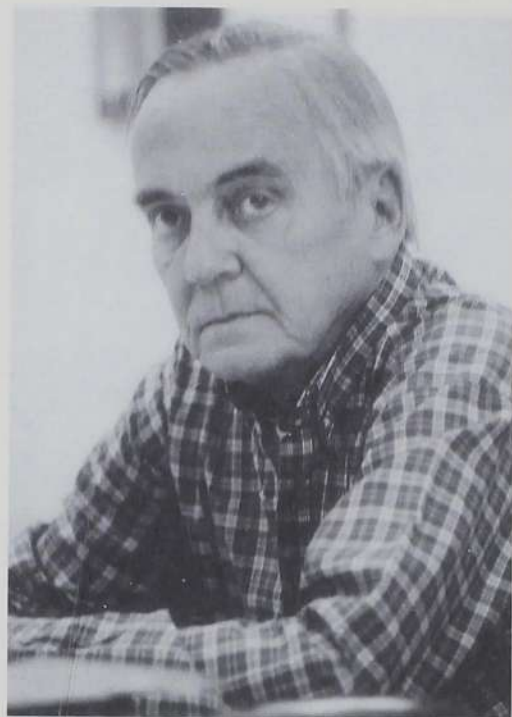


Dr. Manuel Méndez Nonell

se desempeñó como secretario académico del Cinvestav.

Carlos Imaz, Investigador Emérito del Cinvestav

El pasado 2 de diciembre se entregó al Dr. Carlos Imaz Jahnke el nombramiento de Investigador Emérito del Cinvestav. Este nombramiento reconoce las contribuciones excepcionales realizadas en el ámbito académico por investigadores titulares con la máxima categoría y nivel (3F), y que hayan prestado sus servicios en el Cinvestav por lo menos durante 30 años. Los investigadores eméritos tienen el derecho de recibir en forma vitalicia el salario y prestaciones correspondientes a su categoría y nivel académicos.



Dr. Carlos Imaz

El Dr. Carlos Imaz Jahnke, investigador titular del Departamento de Matemática Educativa, se incorporó a la planta académica del Cinvestav en 1968. Obtuvo su grado de doctor en ciencias (Matemáticas) en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Su campo de investigación está asociado al estudio de los modelos infinitesimales que se utilizan en la enseñanza del cálculo.

Gabriel Guarneros, Premio TWAS 1998

La Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS por sus siglas en inglés) otorgó el Premio TWAS 1998 a la investigación en el área de la biología al Dr. Gabriel Guarneros, investigador titular del Departamento de Genética y Biología Molecular del Cinvestav. Al otorgar esta distin-



Dr. Gabriel Guarneros

ción, se destacaron en particular las contribuciones que el Dr. Guarneros ha realizado en la caracterización de nuevas señales genéticas en la región de integración del cromosoma lambda bacteriófago, el cual regula la translación del mensajero de ARN.

El Dr. Guarneros obtuvo su doctorado en ciencias en la Universidad de California en Berkeley, EUA (1972). Ha tenido bajo su responsabilidad la jefatura del Departamento de Genética y Biología Molecular (1980-1984). Recibió la beca John, S. Guggenheim (1987) y un apoyo especial del Howard Hughes Medical Institute de los EUA. En la actualidad, el Dr. Guarneros estudia el papel que juegan los "minigenes", una de las entidades genéticas recién descubiertas, en la regulación de síntesis de proteínas. En 1994 recibió en el Cinvestav una distinción por su destacada actividad en la formación de investigadores: 10 tesis de

doctorado, 14 de maestría y 10 de licenciatura dirigidas.

José Alonso Fernández Guasti, Jefe del Departamento de Farmacología y Toxicología

El Dr. José Alonso Fernández Guasti fue nombrado jefe del Departamento de Farmacología y Toxicología por un periodo de cuatro años a partir del 15 de noviembre de 1998. Sustituye en el cargo al Dr. Enrique Hong, quien terminó su segundo periodo de cuatro años como responsable de la jefatura de este departamento.

El Dr. J.A. Fernández Guasti, biólogo egresado de la UAM-I, obtuvo su grado de maestría en ciencias fisiológicas en el Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM y el de doctorado en ciencias en el Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav. Realizó en 1984 una estancia posdoctoral en la Universidad de Gotenburgo, Alemania, y en 1985 se incorporó a la planta académica del Departamento de Farmacología y Toxicología del Cinvestav. Su campo de investigación es el estudio de la ansiedad en animales, en particular del mecanismo de acción de los ansiolíticos serotogénicos en ratas macho y los cambios en el ambiente hormonal de ratas hembra. Sobre estos estudios ha publicado más de 50 artículos en revistas de



Dr. José Alonso Fernández Guasti

reconocido prestigio, que a su vez han generado más de 350 citas en la literatura científica. En el aspecto de formación de recursos humanos, ha graduado cinco estudiantes de doctorado, tres de maestría y dos de licenciatura. En 1997 recibió el Premio de Investigación en el área de las ciencias naturales que otorga la Academia Mexicana de Ciencias.

Notas Breves

El Dr. **Jerzy Plebański**, investigador emérito del Departamento de Física del Cinvestav, recibió la Orden del Mérito de la República de Polonia, máxima condecoración que otorga Polonia a sus ciudadanos, por su destacada labor para desarrollar la colaboración entre México y Polonia. Esta condecoración le fue entregada el pasado 1 de diciembre con motivo de la visita a México de Jerzy Buzek, Primer Ministro de la República de Polonia.

Los doctores **Ricardo Cantoral Uriza** y **Rosa María Farfán Márquez**, investigadores titulares del Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav, recibieron el Premio Internacional Thales-San Fernando 1998 en la modalidad de investigación en educación matemática.

El Dr. **José Herman Muñoz Nungo** recibió el Premio Weizmann 1998 en el área de las ciencias exactas que otorga la Academia Mexicana de Ciencias a las mejores tesis doctorales realizadas por investigadores menores de 35 años en una institución mexicana. El título de la tesis premiada es "Decaimientos suprimidos de mesones pesados", fue presentada en febrero de 1998 en el Departamento de Física del Cinvestav bajo la dirección del Dr. **Gabriel López Castro**, investigador titular de este departamento.

Nueve investigadores del Cinvestav fueron admitidos como miembros regulares de la Academia Mexicana de Ciencias en la promoción correspondiente a 1998.

Dr. **Román E. Castro Rodríguez**, Física, Unidad Mérida

Dr. **Julien J. Dendooven Vanderbeken**, Biotecnología y Bioingeniería

Dr. **Isidoro Gitler Goldwain**, Matemáticas

Dr. **Jorge G. Hirsch**, Física

Dr. **Jorge E. Ibarra Rendón**, Biotecnología y Bioquímica, Unidad Irapuato

Dr. **Lorenzo Leija Salas**, Ingeniería Eléctrica

Dr. **Jorge A. León Vázquez**, Matemáticas

Dr. **Pablo Muriel de la Torre**, Farmacología y Toxicología

Dr. **Enrique Ramírez de Arellano**, Matemáticas

El Cinvestav en retrospectiva

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) fue creado por un Decreto Presidencial que expidió el Lic. Adolfo Mateos, el 17 de abril de 1961, y que modificó también por Decreto el Lic. José López Portillo, el 17 de septiembre de 1982.

Según las disposiciones del Decreto, el Cinvestav es un organismo descentralizado de interés público, con personalidad jurídica y patrimonio propios. Los objetivos fundamentales que el Cinvestav persigue son: preparar investigadores y profesores especializados que promuevan la constante superación de la enseñanza y generar las condiciones para la realización de investigación originales en diversas áreas científicas y tecnológicas que permitan elevar los niveles de vida e impulsar el desarrollo del país.

En la actualidad, el Cinvestav cuenta con los siguientes departamentos académicos: Biología Celular; Bioquímica, Biotecnología y Bioingeniería; Farmacología y Toxicología, con sus secciones de Farmacología, Terapéutica Experimental y Toxicología Ambiental; Física; Fisiología, Biofísica y Neurociencias, con un Laboratorio de Reproducción Animal en Tlaxcala; Genética y Biología Molecular; Ingeniería Eléctrica, con sus Secciones de Bioelectrónica, Computación, Comunicaciones, Control Automático, Electrónica del Estado Sólido, Metrología y Proyectos de Ingeniería; Investigaciones Educativas; Matemática Educativa; Matemáticas; Patología Experimental y Química. Cuenta, además, con un Programa

Multidisciplinario en Biomedicina Molecular y una Sección de Metodología y Teoría de la Ciencia. En los estados se han establecido la Unidad Irapuato, con departamentos de Biotecnología y Bioquímica e Ingeniería Genética de Plantas; la Unidad Mérida, con departamentos de Ecología Humana, Física Aplicada y Recursos del Mar; la Unidad Saltillo, dedicada a las ingenierías metalúrgica y cerámica; la Unidad Guadalajara, dedicada a la ingeniería eléctrica y ciencias de la computación; y la Unidad Querétaro, dedicada a la investigación en materiales.

En el Cinvestav se imparten cursos para estudiantes de posgrado, a quienes se otorgan los grados académicos de Maestro o de Doctor en Ciencias en la disciplina que hayan cultivado.

En el presente documento se muestran en forma gráfica indicadores de la evolución del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, en algunos casos desde su origen hasta el año de 1998; en otros se señala el avance obtenido en los años en los que fue posible contar con información detallada, la cual se

obtuvo de fuentes internas del Centro, así como de documentos del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

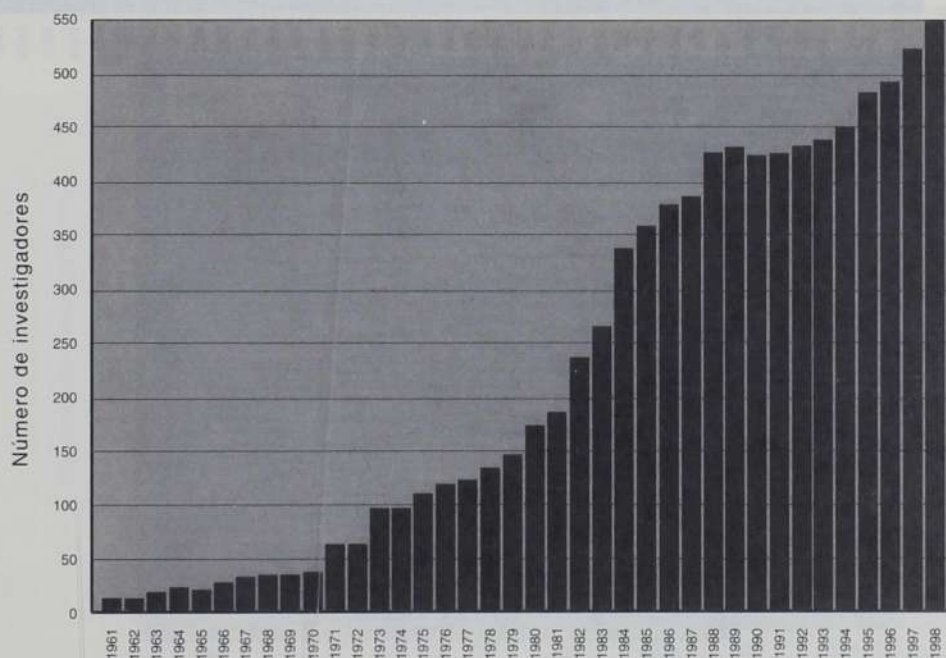


Figura 1. Total de investigadores.

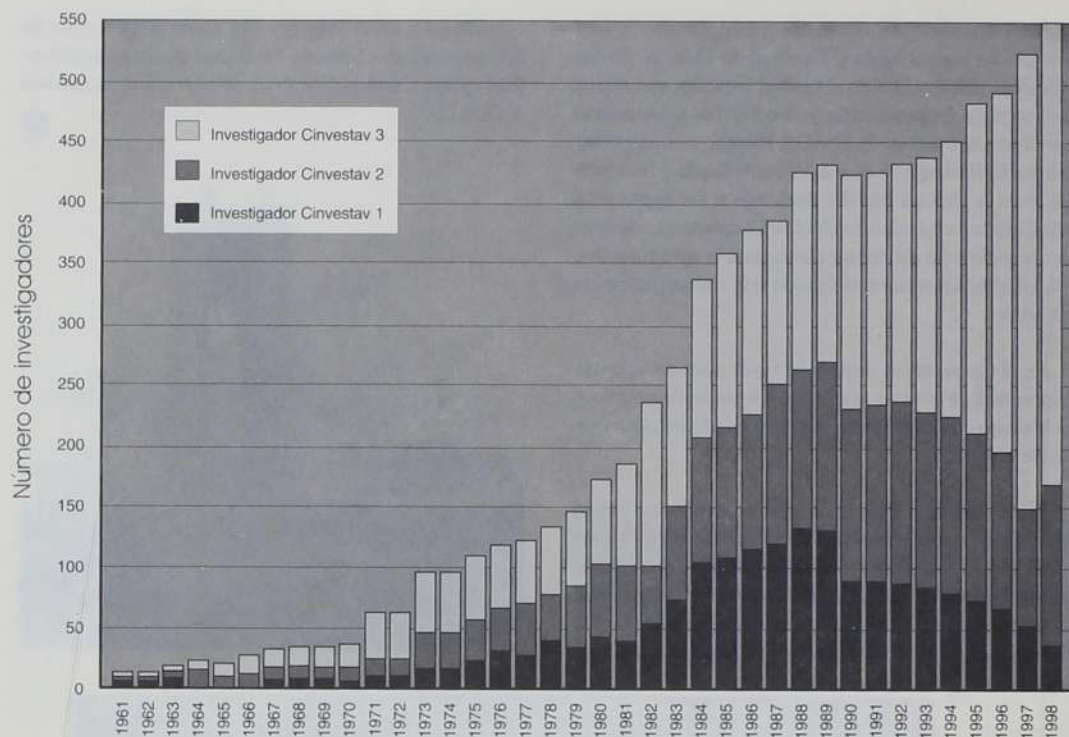


Figura 2. Investigadores por categoría académica.

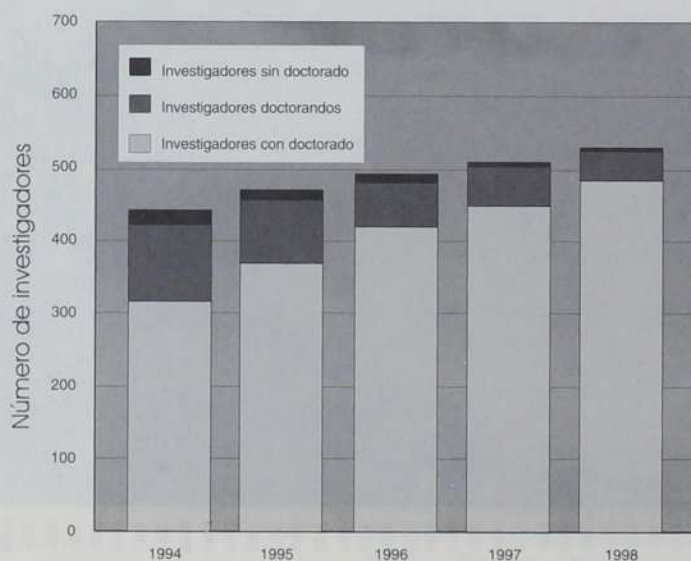


Figura 3. Grado académico de los investigadores.

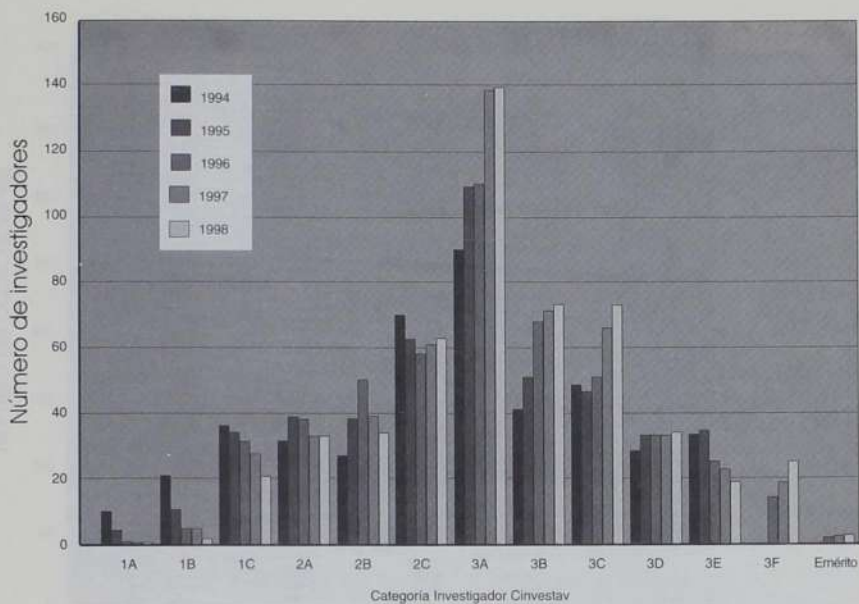


Figura 4. Promociones de categoría académica.

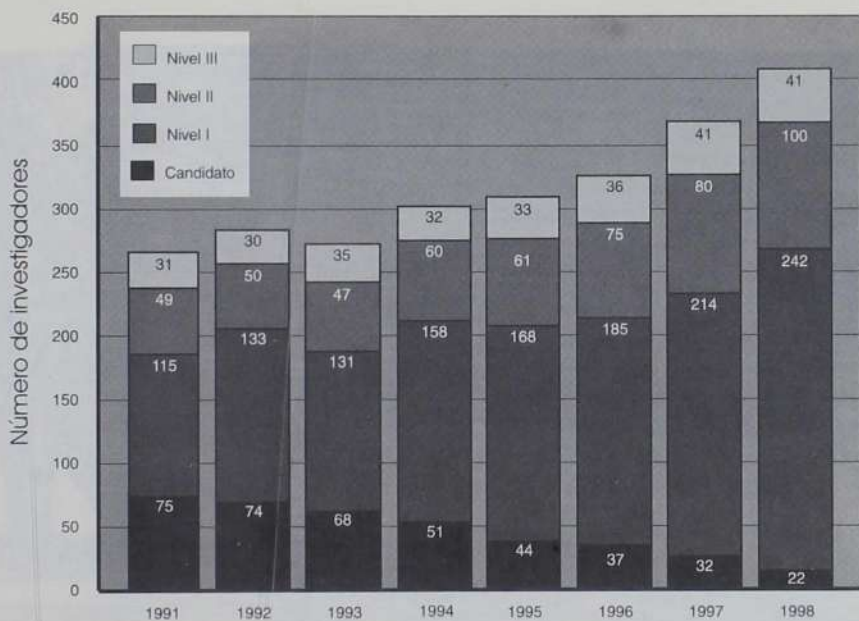


Figura 5. Investigadores miembros del SNI por nivel.

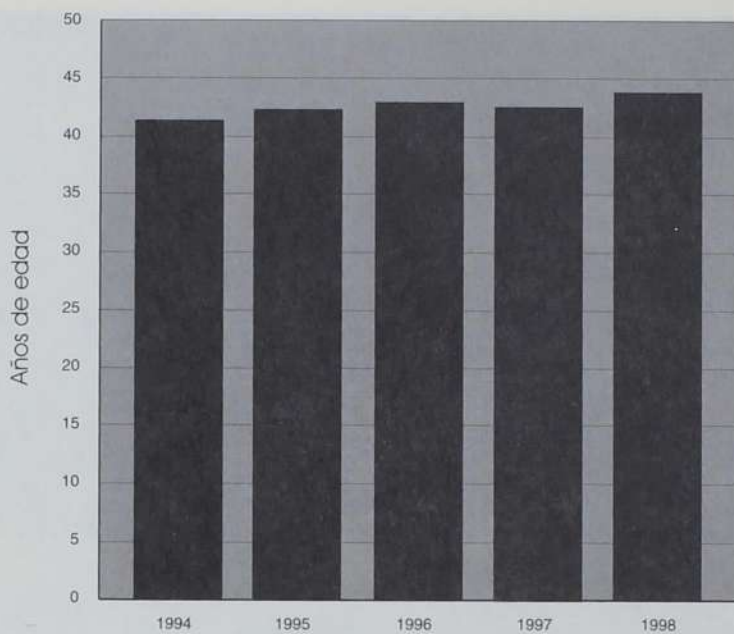


Figura 6. Edad promedio de los investigadores.



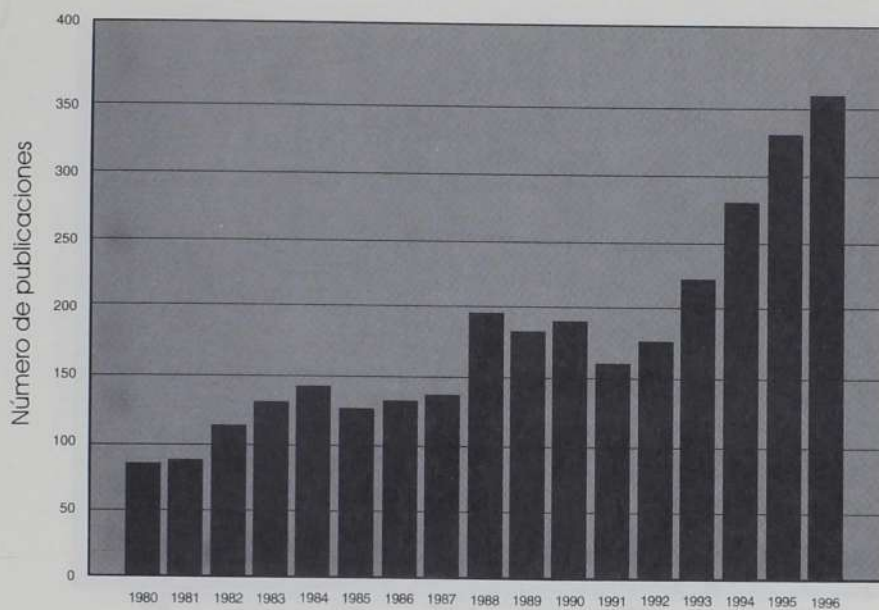


Figura 7. Publicación de artículos científicos en revistas internacionales con factor de impacto.

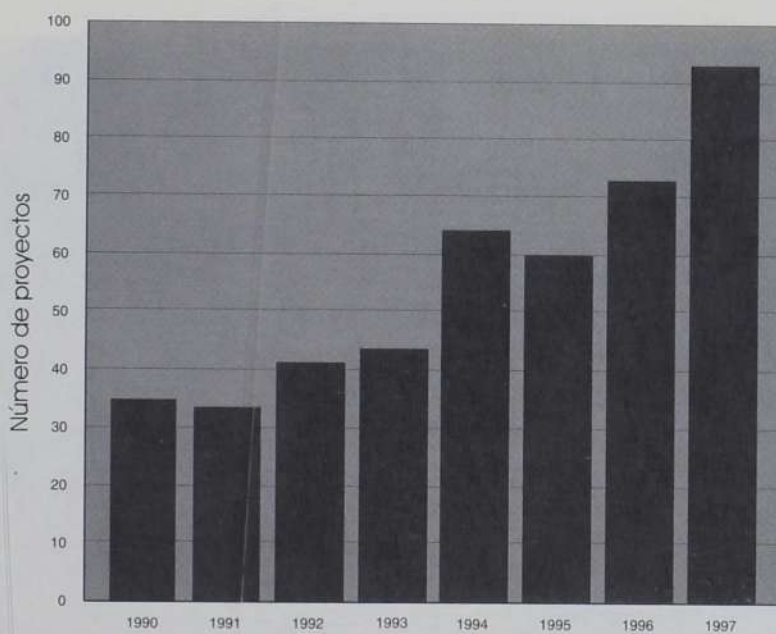


Figura 8. Proyectos de investigación del Cinvestav apoyados por Conacyt.

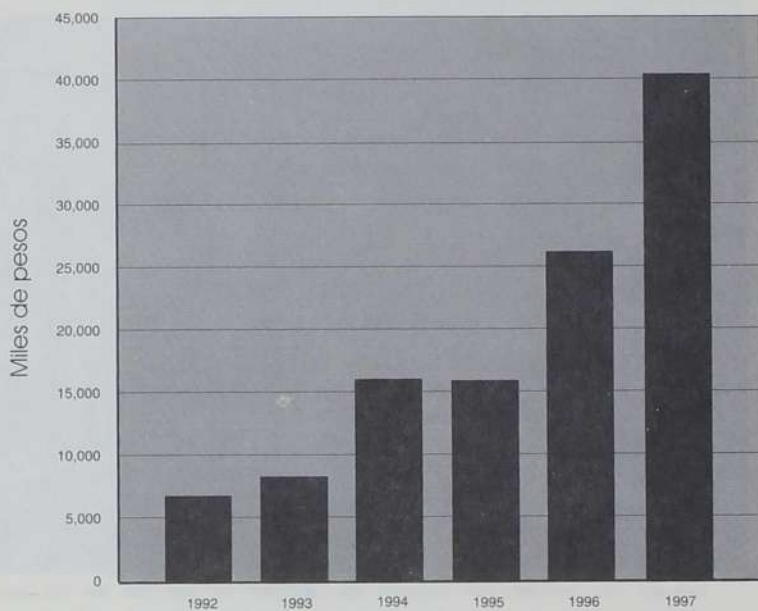


Figura 9. Financiamiento obtenido del Conacyt para proyectos de investigación.



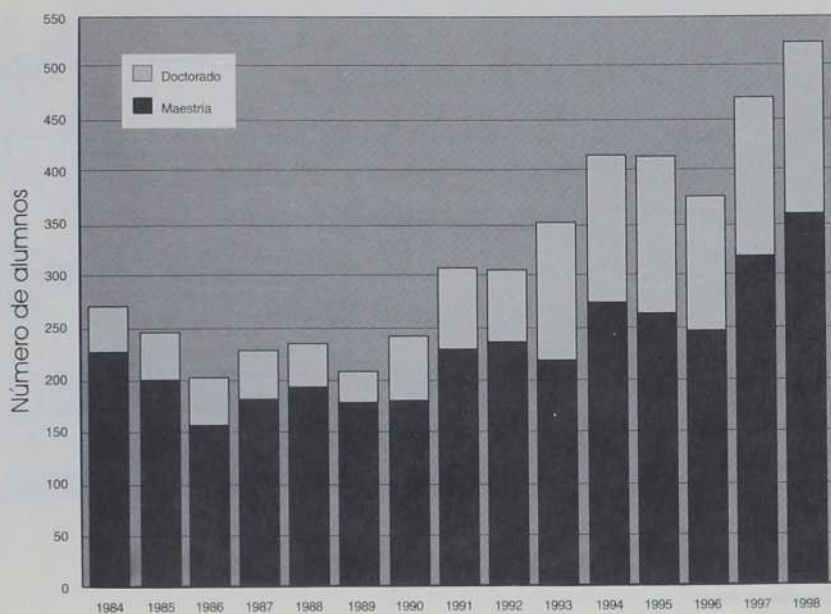


Figura 10. Alumnos de nuevo ingreso.

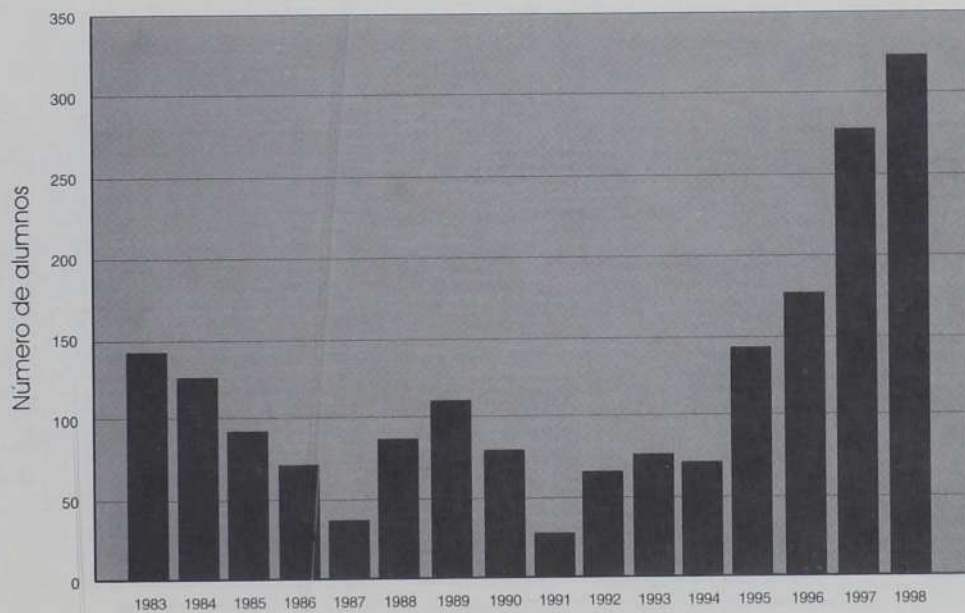


Figura 11. Alumnos atendidos de prerrequisitos.

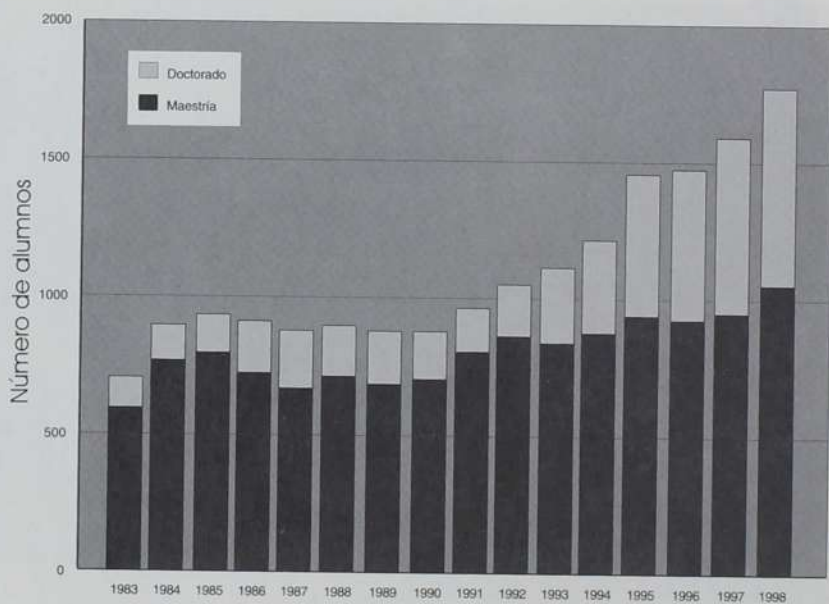
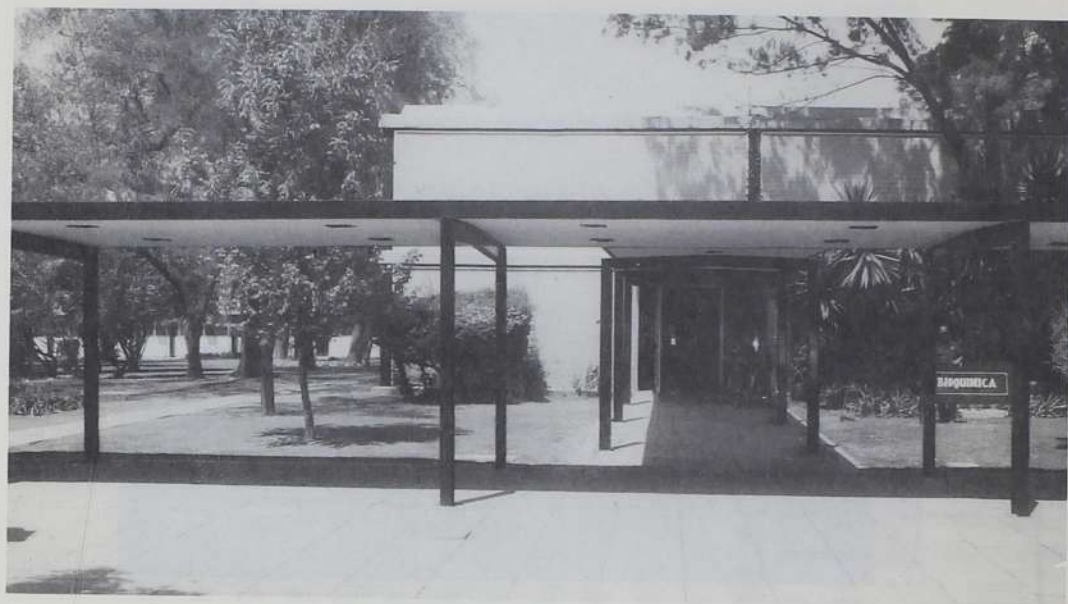


Figura 12. Alumnos de posgrado atendidos.

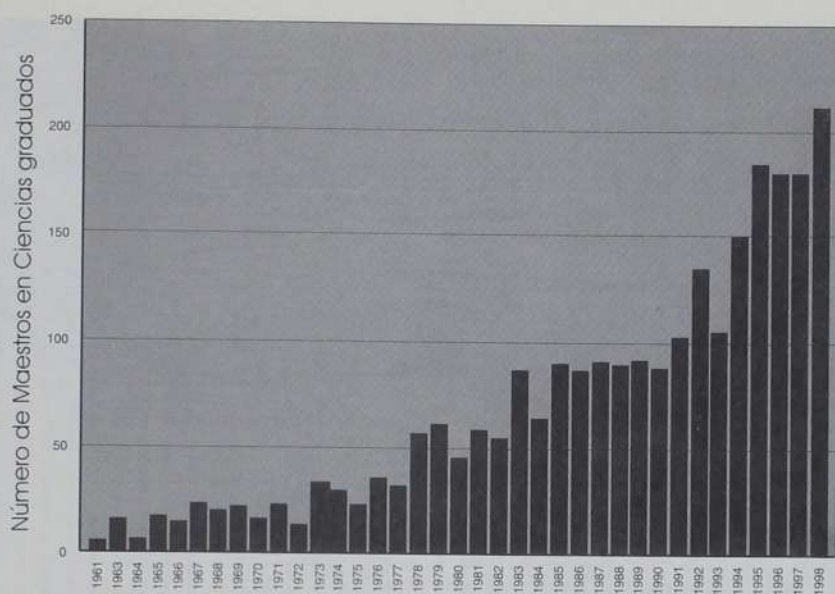


Figura 13. Maestros en Ciencias graduados.



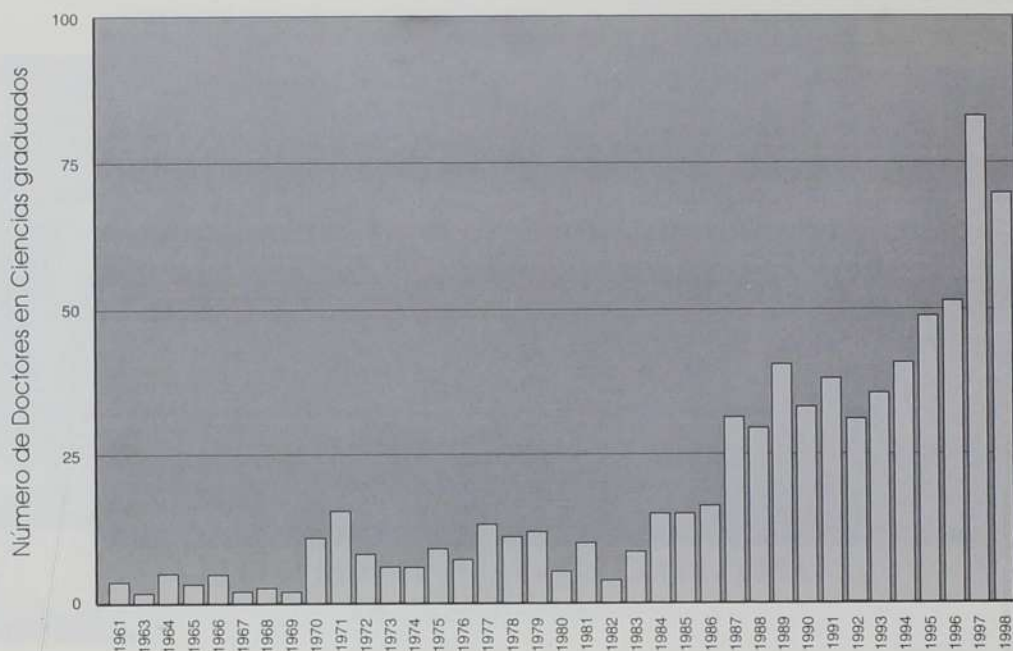


Figura 14. Doctores en Ciencias graduados.

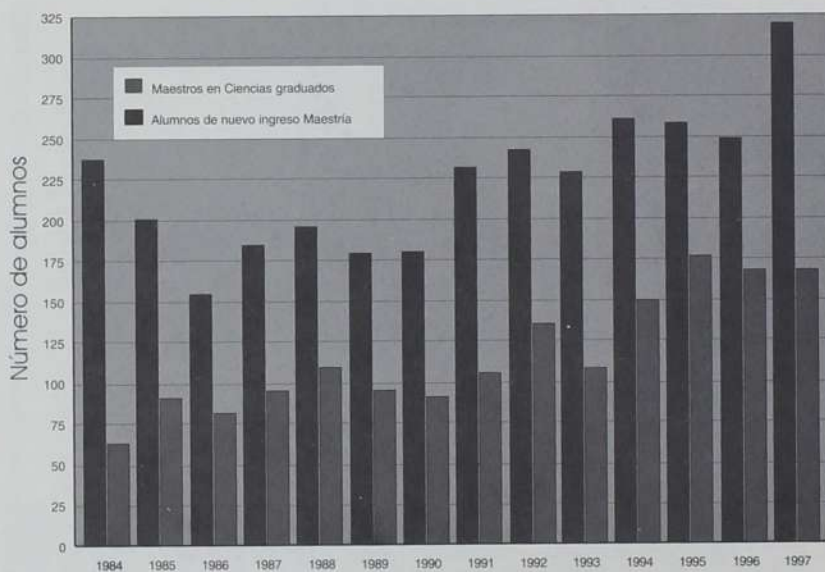


Figura 15. Ingreso y egreso de maestría.

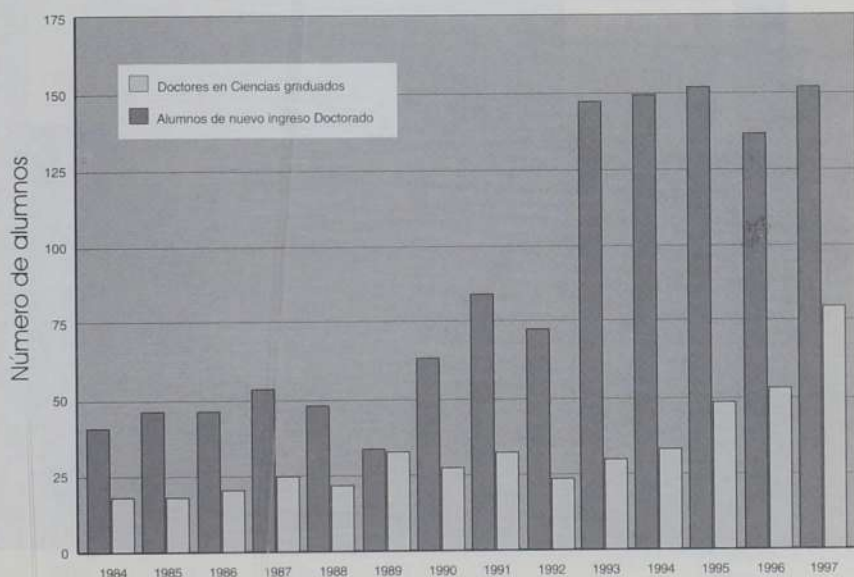


Figura 16. Ingreso y egreso de doctorado.

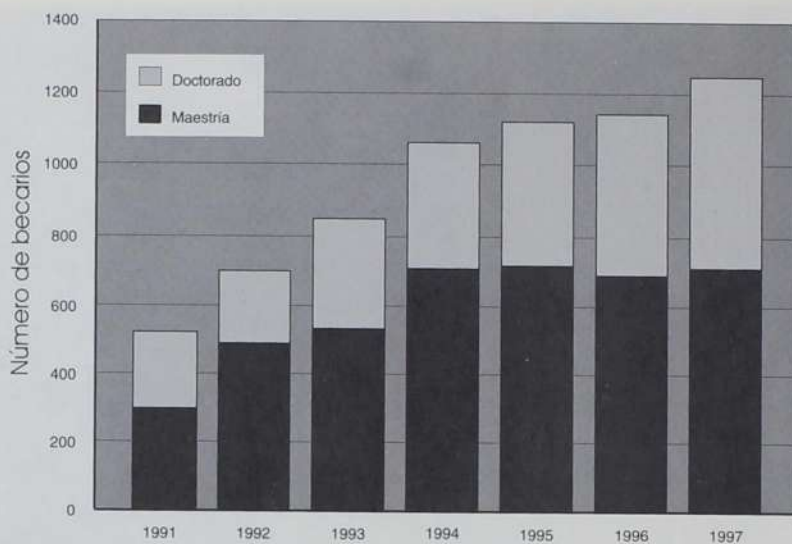


Figura 17. Alumnos becarios del Conacyt.

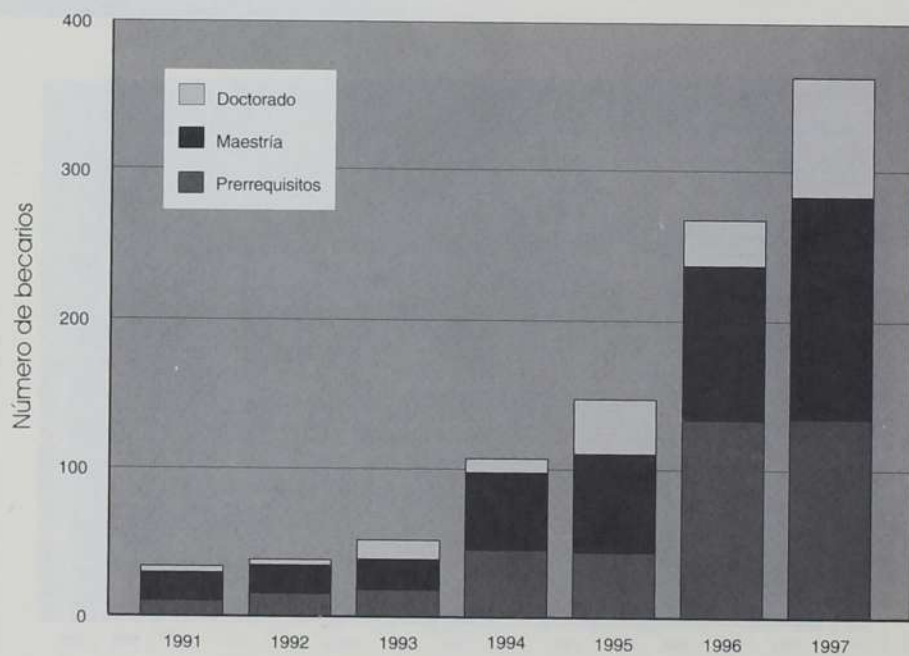


Figura 18. Alumnos becarios del Cinvestav.

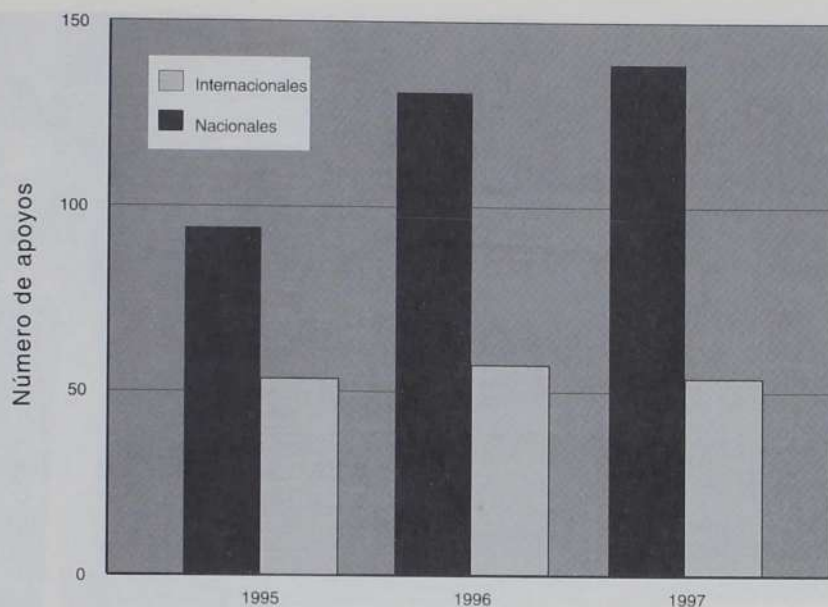


Figura 19. Apoyos a estudiantes para asistencia a congresos.

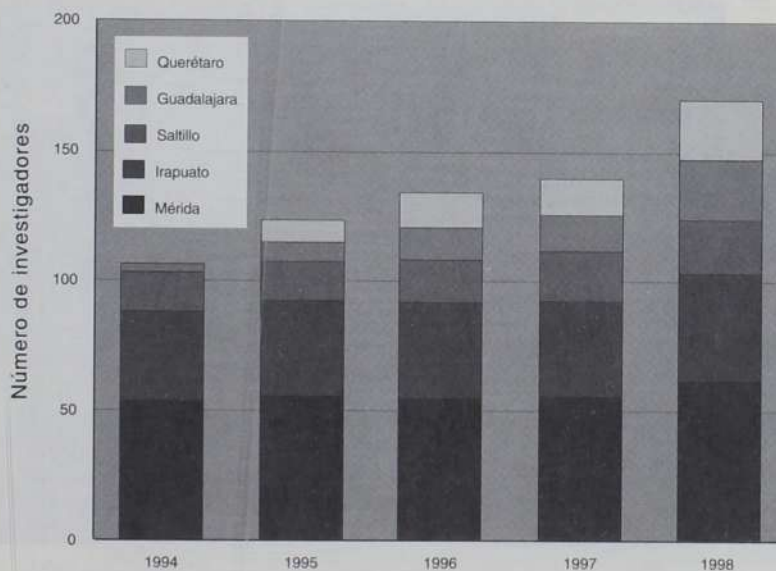


Figura 20. Crecimiento de la planta académica en las unidades foráneas.

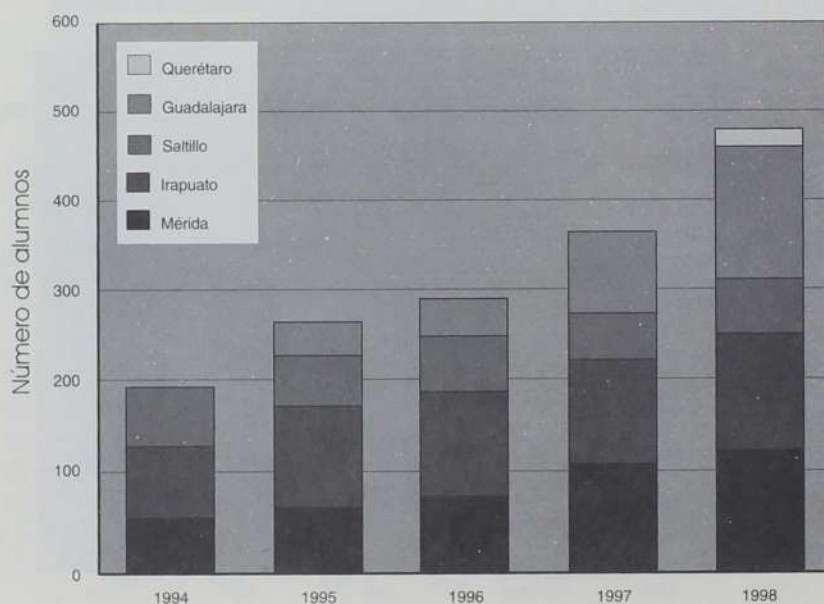


Figura 21. Alumnos de posgrado atendidos en las unidades foráneas.

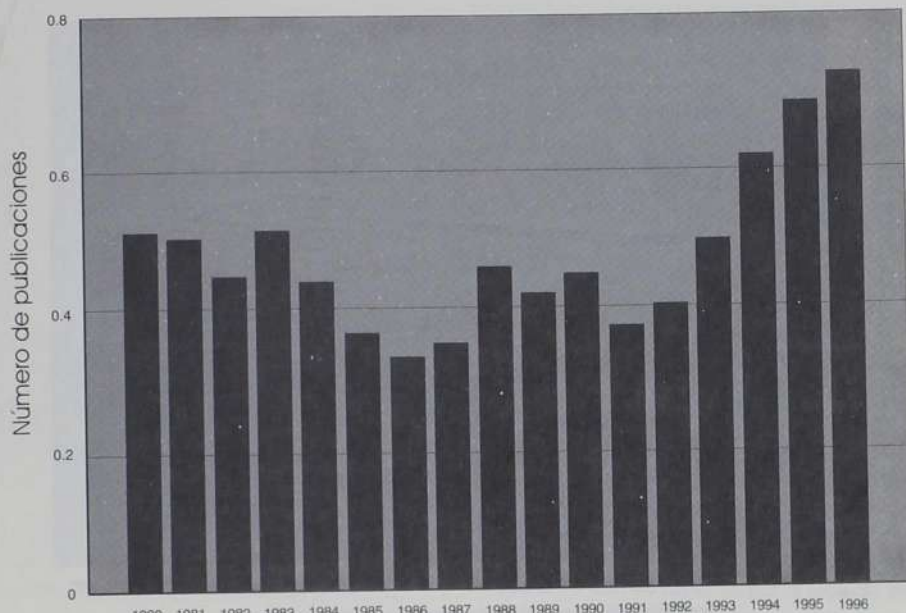


Figura 22. Artículos científicos internacionales por investigador (con factor de impacto).

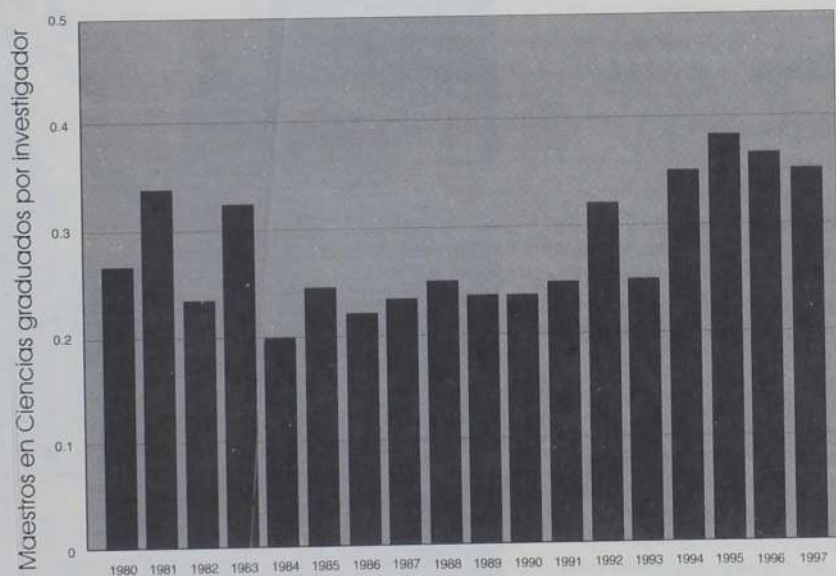


Figura 23. Maestros en Ciencias graduados por investigador.

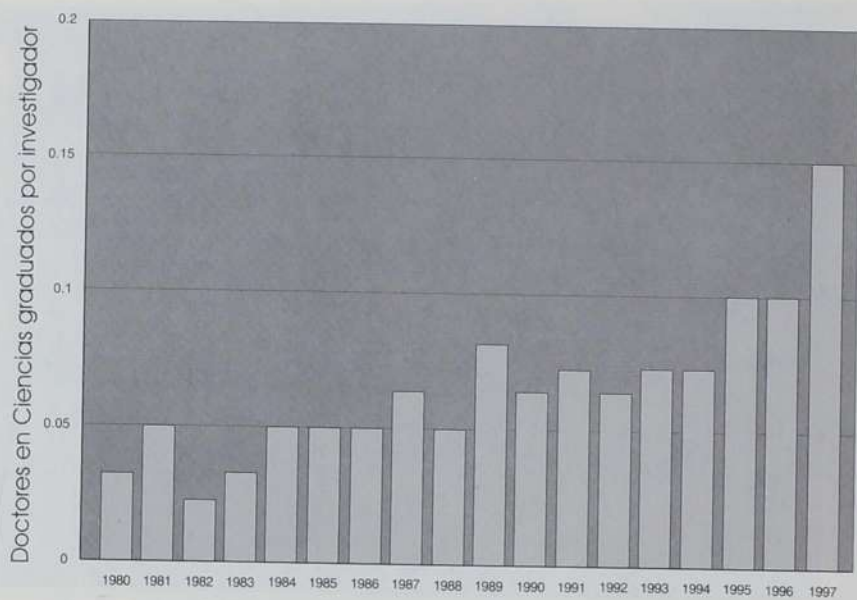


Figura 24. Doctores en Ciencias graduados por investigador.



Para entender el diseño de la vida

Carlos Chimal

Maquinaria esencial

El profesor Frederick Sanger es el cuarto personaje en nuestro recorrido histórico por la biología molecular de la Gran Bretaña. Fred Sanger ha obtenido dos veces el premio Nobel de Química; una, en 1958, por su trabajo sobre la estructura de la insulina, y la segunda ocasión, en 1980, por su trabajo en la secuenciación de un gran número de nucleótidos. El trabajo pionero de Sanger, junto con el de Max Perutz¹, Francis Crick, James Watson, A. J. P. Martin², César Milstein³ y Aaron Klug⁴, abrió las posibilidades de esclarecer la estructura de los principales componentes de la vida, entre ellos, el grupo de las proteínas.

Se tiene la impresión de que los fenómenos naturales son sumamente desordenados y de que, por ende, el lenguaje para referirse a ellos ha de ser "flexible". Para acotar esta sospechosa flexibilidad se cuenta con las herramientas desarrolladas por gente como Fred Sanger. Algunos filósofos de la ciencia llaman a su trabajo, pomposamente, "indicadores o enjambre de indicadores".

El profesor Sanger se unió al Medical Research Council (MRC) en 1951. Hasta entonces, gracias a que su madre era hija de un acaudalado fabricante de algodón, Sanger había podido dedicarse por completo a la investigación básica. Como él mismo nos lo dice, sólo hasta que se topó con A. Neuberg, entre 1940 y 1943, fue que aprendió a hacer verdadera ciencia, tanto los rudi-

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

mentos técnicos como la manera de incorporar la investigación científica a la vida diaria. Hacerla una forma de vida, no el trabajo que se hace de 9 a 5.

Eso tampoco lo desvió de la investigación básica. Convencido de que ella es la última puerta al futuro, siguió dedicando todas sus energías a resolver problemas científicos. Dos años después de su ingreso al MRC, en 1953, James Watson y Francis Crick, estimulados por Max Perutz, encontraron la molécula helicoidal del ADN; en su diseño, los nucleótidos complementarios, que se encuentran a cada lado de la tira seminal, juegan un papel decisivo. Las dos cadenas se mueven en sentido contrario y se estrechan en patrones A-T (o T-A), G-C (o C-G), y son los pares básicos. Este descubrimiento, en sí un paradigma de la biología, influyó a los jóvenes astutos, como Fred Sanger. Al quedar sentadas las bases del comportamiento regular en el material genético, cómo se transporta, su sistema de copiado y los instrumentos hereditarios que utiliza para perpetuarse, fue necesario que los nuevos miembros del laboratorio de Biología Molecular en el MRC respondieran las preguntas que se desprendían de estos hallazgos.

Un problema importante del código genético en aquel entonces era aclarar la correspondencia entre las dos secuencias que conforman la cadena helicoidal. Los célebres experimentos de Crick mostraron que se trataba de un código triple, "descompuesto" mediante ingeniosos experimentos en otros laboratorios. Las cuatro unidades químicas pueden formar 64 tripletas distintas, y la mayoría de estas tríadas reciben alguno de los 20 aminoácidos. La mayoría de estos aminoácidos están representados por más de una tripleta.

Para el profesor Sanger, las proteínas son la maquinaria esencial, donde los aminoácidos parecen estar imbuidos del espíritu cibernético que, en realidad, delata nuestro antropocentrismo y nos define, como en una caricatura de MTV, a finales de los años de 1990. Por su parte, los nucleótidos del ADN significan para él una pieza clave que ha ayudado a refinar el punto de vista científico de nuestra comprensión sobre los fenómenos biológicos.

Como se sabe, las proteínas son largas cadenas de 20 diferentes clases de aminoácidos, cuyo comportamiento químico es muy variado (pueden ser más o menos ácidas, hidrofóbicas o no, etcétera) y con una carac-



terística: la secuencia de estos aminoácidos, a lo largo de la cadena, determina las propiedades físicas y biológicas de dichas proteínas, en particular, las actividades enzimáticas y hormonales que regulan lo que será factible en la naturaleza, si una planta, un animal, una bacteria o un virus. La respuesta está en el ADN. El material genético incluido en la cadena helicoidal lleva los mensajes necesarios en secuencias de permutaciones, a partir de cuatro unidades químicas, los nucleótidos o bases que hemos mencionado.

Insulina

Desde 1943, el profesor Sanger se interesó en el estudio de las proteínas, empezando por la insulina. Las nuevas técnicas de fraccionar moléculas, desarrolladas por A. J. P. Martin y sus colaboradores, permitieron a Sanger dilucidar su estructura química. En el fondo, la pregunta era: ¿Cómo se genera un organismo? ¿La naturaleza sigue un diseño? Sanger dedicó todo el tiempo a encontrar un método para plantear mejor dichas preguntas. La respuesta podría ser, incluso, trivial si, al referirnos a algo tan vasto como el génesis de las cosas, nos planteamos antes otra pregunta, más modesta y simple: ¿cómo obtener la secuencia de aminoácidos de una proteína?

"Había estado trabajando en el departamento de Bioquímica de la U. de Cambridge", nos dice el profesor



Sanger, "con enzimas que cortaban secuencias de aminoácidos, en puntos determinados y en trozos más pequeños; aplicamos también una técnica, novedosa en ese entonces, que consistía en calcular la carga eléctrica que llevaban las secuencias, romperlas en el punto preciso y, así, hasta llegar a los aminoácidos, uno por uno. Así, mediante deducción inducida por electroforesis, podíamos reconstruir la secuencia original".

El asunto era tan laborioso que tuvieron que decidirse por una molécula relativamente simple y breve, la insulina, de apenas unos 50 aminoácidos. Por ello, en 1958, Sanger obtuvo su primer premio Nobel. Cuatro años más tarde, se mudó al nuevo edificio del MRC, en las afueras del pueblo de Cambridge. Al unírseles Brian Hartley y, luego, César Milstein, se creó un grupo dedicado a la química de las proteínas. Más tarde, los intereses del grupo incluyeron la química de los ácidos nucleicos.

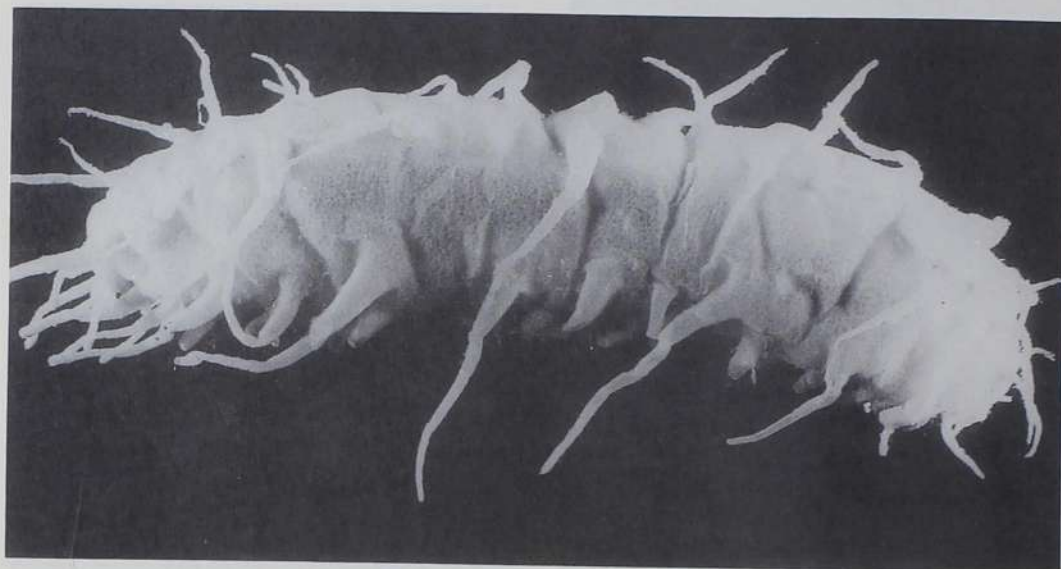
"En un principio", continúa el profesor Fred Sanger, "pensamos que sería difícil determinar la secuencia de los nucleótidos en los ácidos nucleicos. De hecho, no podíamos disponer de éstos en forma pura. Sin embargo, la tarea de secuenciar ácidos nucleicos resultó ser peor, ya que, al haber sólo cuatro nucleótidos diferentes en una molécula de ácido nucleico, nos obligaba a lidiar con una gran cantidad de fragmentos moleculares muy parecidos. Secuenciar proteínas había sido un tormento

pero los ácidos nucleicos estaban en el ojo del huracán. Además, pasábamos demasiado tiempo decidiendo, al final de la jornada, qué clase de aminoácido era cada uno y cuánto habíamos acumulado de ellos. En el caso de los aminoácidos, esta última tarea se aligeró, ya que no pueden escogerse más que cuatro nucleótidos de unos 20 aminoácidos".

Alamina

El primer ácido nucleico secuenciado no fue el ADN sino un ARN de transferencia, para el aminoácido llamado alanina. "En efecto", dice el profesor Sanger, "esta molécula de adaptación hace embonar el aminoácido alanina con su código triple en el ARN. Al igual que la insulina, tuvimos la suerte de que esta molécula también fuese pequeña. El trabajo no lo hicimos nosotros en el MRC, sino Robert Holley, en la U. de Cornell, Estados Unidos. Él empleó métodos similares a los nuestros, terriblemente complicados. Por eso nos dimos a la tarea de simplificarlos. Empezamos a separar, en hojas de papel, las moléculas más pequeñas que quedaban al romper ácidos nucleicos. Mientras los hacíamos, vimos que los fragmentos de dos o tres nucleótidos ocupaban posiciones únicas en el patrón bidimensional que se formaba en las hojas de papel.

"Descubrimos, con un poco de intuición y suerte, la manera de deducir la composición, incluso, a veces, la

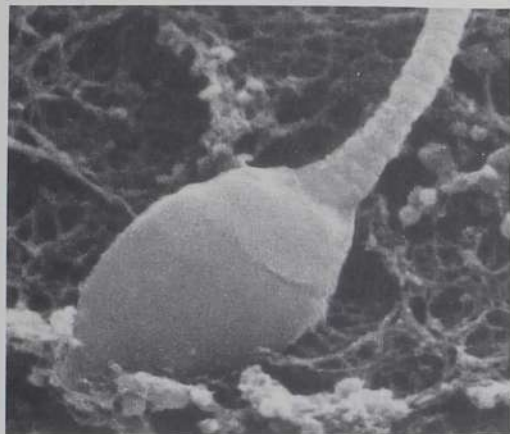


secuencia original de los nucleótidos en los fragmentos observando su lugar en ese patrón bidimensional. Lo mejor de todo es que esto obvió la necesidad de un análisis químico de los nucleótidos. Debo decir que este método era conveniente sólo para los nucleótidos, pues eran escasos. Un par de ellos puede formar apenas $4 \times 4 = 16$ diferentes combinaciones, en contraste con los aminoácidos que, tomados dos a la vez, producen $20 \times 20 = 400$ combinaciones posibles.

"Necesitábamos visualizar la posición que los fragmentos adoptaban en el papel y determinar, así, la cantidad de cada molécula que se había acumulado en cada lugar. Los nucleótidos tienen un átomo de fósforo, que nosotros marcábamos con el isótopo radiactivo ^{32}P para detectarlo y medirlo con facilidad. Más tarde, esta forma de marcado se generalizó en todos los laboratorios del mundo. Finalmente tuvimos que enfrentarnos al ADN. La cadena más pequeña que podía usarse provenía de organismos virales y contenía cerca de 500 nucleótidos. Este no era el verdadero problema. La secuenciación de ARN se había basado sobre todo en una enzima, la ribonucleasa T1, que corta la secuencia de bases en G (la guanina). De esta manera, T1 cortaba fragmentos de cuatro bases, en promedio, y con G siempre en el extremo derecho; lo único malo era que no teníamos una enzima que cortara ADN de esa manera.

"Como no había nada mejor en la mesa, comenzamos a estudiar el ADN aplicando la estrategia diseñada para el ARN. Pero el trabajo se volvió aún más lento y tedioso. Luego de darle vueltas, nos propusimos abandonar la titánica tarea de tomar larguísima cadenas y romperlas en secuencias manejables; ¿por qué no, en su lugar, nos dedicamos a hacer crecer los fragmentos? Se nos ocurrió que esta sería una buena idea, ya que cada uno de los extremos de la cadena helicoidal es una especie de mascarilla de la otra. Los nucleótidos de un lado se complementan con los del otro. Empezando con un solo filamento de la hebra de ADN, la enzima llamada polimerasa puede hacer una copia complementaria de esta hebra.

"En nuestros primeros experimentos, elegimos un filamento circular. Unido a él, había una 'versión abreviada' de su copia complementaria, que la comandaba y actuaba como disparador. Hay que aclarar que la polimerasa no agrega los cuatro nucleótidos; en cambio, emplea sus formas trifosfáticas, que contienen enorme energía. La enzima rompe dos de los fosfatos y usa la energía disponible para acoplarse al nucleótido que queda, para la cadena en crecimiento. Al igual que antes, marcamos los trifosfatos del nucleótido con ^{32}P con objeto de generar trozos cortos de ADN radiactivo.



"Durante algunos experimentos iniciales, mantuvimos concentraciones bajas de uno de los trifosfatos de los nucleótidos. Cuando la enzima de cierto nucleótido se separaba, dicha enzima se detenía. Cada nueva cadena que generábamos terminaba en una posición, dependiendo del trifosfato que estuviese en la concentración más baja. Esto transformó la costumbre de secuenciar ADN. Por un lado, utilizamos polimerasa para producir una mezcla de secuencia, todas ellas terminadas en un cierto nucleótido, y, por otro, nos servimos de las bajas concentraciones, en cada caso, de los trifosfatos en los cuatro nucleótidos. Todo ello nos permitió encontrar la posición relativa de cada nucleótido, al comparar las longitudes de las cadenas generadas por la enzima, y determinar la secuencia completa de la copia complementaria.

Un nuevo método

"En realidad, lo único que necesitábamos entonces era un método de separación de cadenas en distintas longitudes. Y lo hallamos en una versión modificada de la electroforesis con gelatina de acrilamida. Las cadenas más cortas se movían más rápido en ese medio que las largas, y todas lo hacían en un estricto orden, según su longitud. Cada cadena difería de sus vecinas según su tamaño, incluso aquellas que tenían un solo nucleótido más o uno menos. Sin saber cómo operaba en el fondo, nuevamente, tuvimos la suerte de encontrar la forma adecuada de romper cadenas.

"La nueva técnica nos condujo a perfeccionar nuestro enfoque. En vez de seguir empleando un truco bioquímico, mediante el cual la enzima deja uno de los nucleótidos y se detiene, encontramos un método en el que la enzima inserta el nucleótido final, y es hasta ese momento cuando se detiene. En ambos casos, nada más se agrega a la cadena. Sin embargo, en el nuevo método, además de los trifosfatos de los cuatro nucleótidos, utilizamos trifosfatos dideoxi-nucleótidos. La polimerasa del ADN incorpora estas moléculas en la cadena de crecimiento y, al hacerlo, deja de crecer.

"En estas circunstancias, si en el experimento se incluye un solo dideoxi-nucleótido trifosfato (por ejemplo, el que tiene como base la tiamina, T), junto con los cuatro trifosfatos del nucleótido normales, todas las cadenas generadas por la enzima polimerasa terminarán en dideoxi-T. Una vez más, experimentamos con todos los trifosfatos de los nucleótidos. Las mezclas de cadenas de cada uno de los cuatro experimentos se separaron en gel de acrilamida, uno junto al otro. Entonces, la autoradiografía no sólo reveló la posición de todas las cadenas sino que la secuencia del ADN podía leerse directamente a partir de ella. Este método también se popularizó entre los investigadores de todo el mundo.

"A finales de los años de 1970, poco antes de que perfeccionáramos esta técnica, se utilizaba otro método, muy eficaz también. En lugar de copiar, rompía las cadenas. Dicho método, desarrollado por Walter Gilbert y Allan Maxam en la U. de Harvard, también alcanzó gran popularidad en los laboratorios de biología molecular. En 1980, tuve el honor de compartir el Premio Nobel con Gilbert (y Paul Berg) por nuestro trabajo en la secuenciación de ácidos nucleicos."

¿En qué consiste este método y cómo evolucionó?

"Primero utilizamos los fragmentos de ADN generados por las enzimas restrictivas como detonadores pero en la medida en que afinamos el enfoque y aumentamos la eficiencia técnica, la preparación de tales fragmentos se convirtió, de hecho, en un factor limitante. En el caso de fragmentos muy largos de ADN, era prácticamente imposible obtenerlos puros. De nueva cuenta, estábamos

ante un problema de fragmentación, de producción y preparación de moléculas puras. Este asunto, si bien ha sido un obstáculo constante en el avance de este campo, fue resuelto, al menos en forma parcial, mediante la clonación del ADN recombinante en células. Gracias a esta técnica, uno puede obtener moléculas completamente puras y, en principio, en cantidades tan altas como uno quiera."

¿La clonación y el método dideoxi se convirtieron en las herramientas favoritas de los investigadores?

"Así es. Antes, nos sentíamos satisfechos cuando conseguíamos secuenciar 50 nucleótidos en un año; con estas nuevas técnicas, empezamos a secuenciar varios miles de nucleótidos diariamente. El cambio fue espectacular y ahora es de todos conocido. Muchas secuencias completas de ADN se han deducido, tanto en el laboratorio de Biología Molecular del MRC como en otros laboratorios del mundo, con estos métodos. Como se sabe, las secuencias se hallan acumuladas en bancos de datos que contienen varios millones de nucleótidos. Por muy sorprendente que parezca, el proyecto del genoma humano, en el que se están secuenciando miles de millones de nucleótidos, es una consecuencia de estos primeros pasos en el entendimiento de las proteínas y de los mensajes genéticos, así como en la dilucidación de la estructura y comportamiento del ADN."



Notas

1. *Avance y Perspectiva* **17**, 33 (1988).

2. A. J. P. Martin, avezado físico-químico nacido en Londres y educado en Cambridge, se inclinó por la bioquímica debido a la influencia de J.B.S. Haldane. Martin fue un mago de la metodología, que ayudó a encauzar los trabajos de Sanger y sus colaboradores, como B. G. Barrell, A.R. Coulson y G. G. Bronlee. Por ejemplo, Martin encontró una forma de detectar piroelectricidad observando la atracción de una placa de metal hacia cristales que han estado inmersos en aire líquido; abundó en el fenómeno de absorción ultravioleta en el espectro luminoso; hizo aportaciones al estudio de los efectos patológicos debido a la carencia de vitamina E durante largos periodos, lo cual lo obligó a desarrollar métodos que, a la postre, ayudaron a estabilizar las técnicas de cromatografía, en particular la llamada de partición. Más tarde, junto con A.T., desarrolló otro método, muy útil en biología molecular, de cromatografía gas-líquido.

3. *Avance y Perspectiva* **17**, 53 (1998).

4. *Avance y Perspectiva* **18**, 45 (1999).

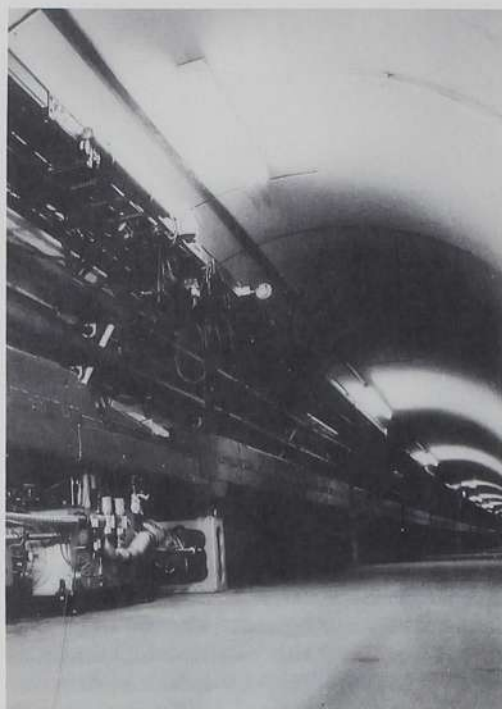
Evidencia experimental de nuevas dimensiones

Gordon L. Kane

La concepción del universo que tienen los físicos que trabajan en teorías de unificación ha cambiado rápidamente en fechas recientes. Este cambio ha alcanzado un punto culminante con el anuncio de algunos eventos experimentales asombrosos observados en el *Large Hadron Collider* (LHC) del Centre Européen de Recherche Nucleaire (CERN)¹, y que fueron presentados en marzo de 2011 durante los XLVI Encuentros de Moriond, conferencia que se lleva a cabo cada invierno en Les Arcs, Francia.

Hace más de doscientos años, Charles Agustin Coulomb demostró que la fuerza eléctrica tiene la misma forma que la gravitacional. Desde entonces, los físicos han estado fascinados con la posibilidad de unificar todas las fuerzas de la naturaleza. Hace casi un siglo, en 1920 Oskar Klein (quien por esas fechas era profesor asistente en la Universidad de Michigan) demostró que en una teoría en cinco dimensiones —una para el tiempo y cuatro espaciales— era posible combinar la gravedad y el electromagnetismo si se asumía que una de las dimensiones estaba “compactificada”, esto es, que el tamaño del universo en esa dimensión era pequeño en comparación con las distancias más pequeñas observadas en los experimentos. Poco antes, el matemático Theodor Kaluza había estudiado también estas teorías de cinco dimensiones, pero Klein fue el primero en reconocer la realidad física de dicha dimensión extra. Por esto se llama a dichas teorías de Kaluza-Klein (K-K). Siguiendo el trabajo de H. Yukawa sobre la fuerza nuclear, Klein intentó también unificar dicha fuerza con la gravedad y

El Dr. Gordon L. Kane es profesor titular del Departamento de Física de la Universidad de Michigan en Ann Arbor, EUA. Este texto resultó ganador en el concurso de ensayos “La física del mañana” al que convocó la revista *Physics Today* de la American Physical Society para celebrar su 50 aniversario. Aunque el texto constituye un ensayo imaginario sobre un descubrimiento que tendría lugar en mayo de 2011, cuando el acelerador *Large Hadron Collider* (LHC) del CERN entrará en operación, satisface una restricción importante impuesta en el concurso: “la idea central del ensayo debe tener una probabilidad alta de convertirse en realidad”. En este sentido, este ensayo encaja perfectamente en la sección de Avance y Perspectiva reservada a los ensayos sobre ficción científica. El texto original en inglés se publicó en *Physics Today* (mayo 1998, p. 13). Se reproduce con autorización del autor. El autor nos advirtió, sin embargo, que si la traducción de su ensayo al español sufría algún retraso, corramos el riesgo de que la realidad rebasara la dosis de ficción que tiene su relato. Traducción de G. Cordero y L. Díaz Cruz.



el electromagnetismo. En un trabajo fundamental que Klein publicó en las memorias de una conferencia sobre nuevas teorías de la física que se llevó a cabo en 1938 en Kazimierz, Polonia, también anticipó lo que después sería la teoría $SU(2) \times U(1)$ de interacciones electrodébiles. Debido a que el trabajo de Klein estaba muy adelantado a su época y por la interrupción generada durante la segunda guerra mundial, pasó inadvertido².

Los campos que aparecen en teorías de más de cuatro dimensiones son el tensor del campo gravitacional, el potencial vectorial electromagnético y un campo escalar. Por supuesto, la teoría de la electricidad y el magnetismo fue unificada sin necesidad de dimensiones extra por Maxwell, mientras que la exitosa unificación de la fuerza electromagnética y débil establecida en 1971, así como la unificación de la fuerza electrodébil y fuerte – la cual fue aceptada totalmente en el año 2000 después del descubrimiento en Fermilab de los compañeros supersimétricos de las partículas hasta entonces conocidas – tampoco sugerían la existencia de dimensiones extra. En vez de ello, se había sugerido que la unificación de

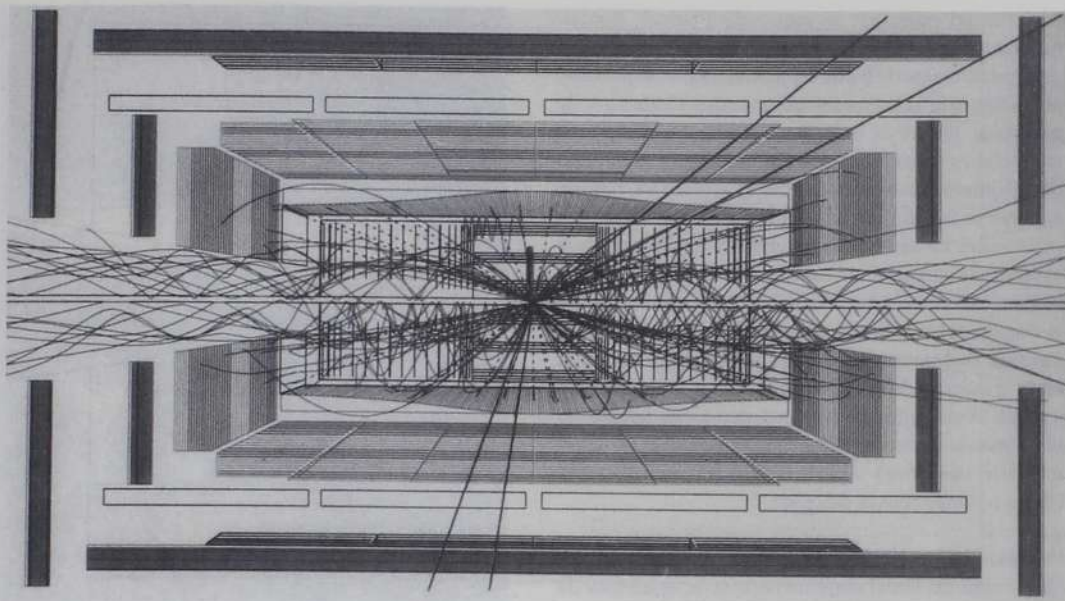
todas las fuerzas debería ocurrir a distancias muy pequeñas en nuestro mundo usual de cuatro dimensiones, cerca de la escala de Planck³ de 10^{-35} m.

Nueva física en el LHC

Los diez eventos que fueron encontrados en marzo – aproximadamente dos años después de que el LHC alcanzó su luminosidad diseñada, y después de terminar el análisis de datos necesario para entender los complicados detectores conocidos por sus siglas ATLAS y CMS – están siendo interpretados como evidencia de dimensiones compactificadas adicionales. Cinco de estos eventos contienen pares de jets hadrónicos muy energéticos. Dentro de la resolución experimental, la masa efectiva de cada par es de 950 GeV. Otros tres eventos contienen un par de leptones cargados cada uno (dos con e^+e^- y uno con $\mu^+\mu^-$) con la misma masa efectiva. Los dos eventos remanentes consisten en un par de jets y un par electrón – positrón, con una masa efectiva de 1900 GeV. Para tales eventos tan energéticos se espera una señal de ruido muy reducida, mucho menor que un evento en cada uno de los canales de quarks y leptones.

La aparición de tales eventos no era esperada dentro del Modelo Estándar de las teorías electrodébiles. Tampoco pueden interpretarse como una señal de compañeros supersimétricos pesados, porque ninguno de ellos contiene la señal característica de energía faltante que escapa a los detectores debido a la presencia de la partícula supersimétrica más ligera. Así pues, debe interpretarse como evidencia de nueva física.

Hasta ahora se han propuesto tres posibilidades. Primero, los eventos podrían deberse a un estado Z' , análogo al bosón Z , asociado con una simetría fundamental $U(1)'$ diferente de la del Modelo Estándar. Tales estados Z' encajan bien en el contexto de teorías unificadas y están bien motivados. En segundo lugar pueden interpretarse como resonancias pesadas que aparecen en teorías fuertemente interactuantes que dan lugar a estados análogos al rho (ρ) y omega (ω) de bajas energías. Finalmente, dichos eventos pueden implicar la existencia de una o más dimensiones espaciales compactificadas con un diámetro aproximado de 10^{-18} m. Esta última interpretación, menos convencional, está siendo favorecida por los teóricos sobre las otras dos.



En los días de Kaluza y Klein, las distancias experimentales más pequeñas eran del tamaño de los átomos y no es sino hasta ahora que fue posible probar distancias mil veces más pequeñas que el tamaño del protón. El factor adicional de siete que produjo el LHC fue lo que hizo la diferencia.

Varios aspectos se oponen a la interpretación de interacciones fuertes. La anchura de un estado en 950 GeV es consistente con la resolución experimental de los detectores, de aproximadamente 20 GeV en la actualidad. Un estado fuertemente interactuante debería tener una anchura de decaimiento mucho mayor, alrededor de 10 o 20 % de su masa, mientras que los estados Z' o KK (por Kaluza-Klein y que describimos más adelante) deben tener una anchura del orden de 1% de su masa, consistente con lo que se ha publicado. Un estado fuertemente interactuante es poco probable que tenga anchuras leptónicas tan grandes como las hadrónicas, contrario a lo que se ha encontrado. La evidencia en contra de la interpretación de Z' es menos convincente debido a la baja estadística: la presencia del segundo estado con una masa dos veces mayor que la del primero es poco probable para un Z' . Para entender por qué la evidencia favorece los estados KK tenemos que describir las predicciones de tales teorías.

Paisajes liliputienses

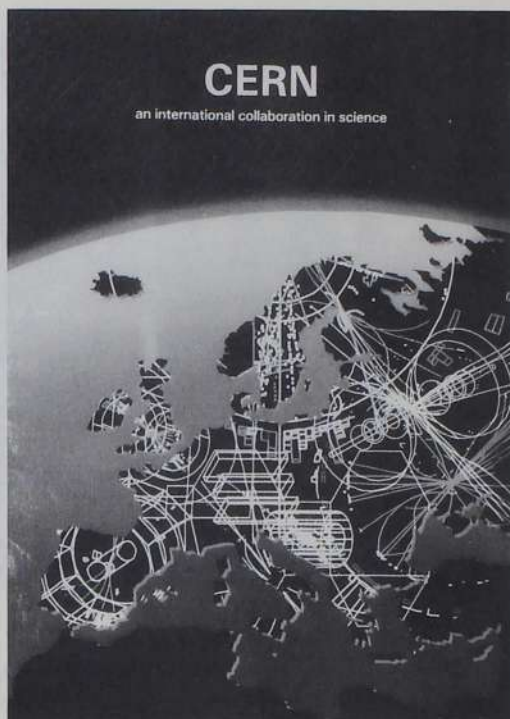
Las teorías de Kaluza-Klein se originaron como una forma imaginativa para unificar la gravedad y el electromagnetismo. Actualmente, una teoría cuántica de la gravedad que sea consistente está contenida en la teoría de supercuerdas, la cual requiere 10 dimensiones. En teorías de supercuerdas las partículas son vibraciones de una cuerda básica, y existe una secuencia infinita de tales vibraciones, de modo análogo a los armónicos de la vibración de una cuerda de violín. El espectro de las vibraciones es comúnmente llamado una torre infinita. Además, los estados en teorías de dimensiones adicionales dan lugar a una torre de estados cuando la teoría es reformulada en cuatro dimensiones.

Los sistemas físicos que ocurren en el mundo real se describen como soluciones de las ecuaciones básicas de la física. La solución de estas ecuaciones requiere determinar el estado base del sistema, usualmente llamado el vacío. Encontrar el vacío correcto es un problema aún sin solución en teorías de supercuerdas.

Es común suponer que las teorías de supercuerdas describen un mundo real multidimensional de un

tamaño del orden de la escala de Planck³, aproximadamente $R=10^{-35}$ m; en el estado de vacío una dimensión temporal y tres espaciales se han expandido al tamaño que actualmente observamos. Cada torre de partículas resultante incluye un estado sin masa y sus excitaciones, cuyas masas están fijadas por el tamaño de la dimensión compactificada, la cual es natural suponer del orden de R^{-1} (10^{19} GeV). Las partículas observadas en el Modelo Estándar y los compañeros supersimétricos son los estados sin masa, los cuales reciben una masa pequeña debida al rompimiento de la supersimetría y la simetría electrodébil. Pero no hay ninguna razón por la cual todas las dimensiones deban tener el tamaño de la escala de Planck o el del universo – podría ocurrir que aparecieran dimensiones del tamaño de la escala electrodébil como remanente de la determinación del estado base. Entonces las partículas asociadas tendrían masas de orden 1.

De hecho, en 1990 Ignatius Antoniadis (de la Escuela Politécnica de París) argumentó que la aparición de partículas en la escala de masas de TeV debería ocurrir naturalmente en teorías de cuerdas. Junto con sus colaboradores demostró la existencia de soluciones explícitas en las cuales la estructura supersimétrica mantenía la teoría finita y permitía una reproducción exitosa de los resultados experimentales conocidos, tal como sucede con la unificación de los acoplamientos del Modelo Estándar. Los quarks y leptones de tal teoría se identificaban como estados sin excitaciones KK, mientras que los bosones de norma (el fotón, el Z y el W) tenían una torre de excitaciones de masa $M_n = n/R$. Así pues debería existir un fotón un Z y un W (γ^* , Z^* , W^*) todos de masa aproximada $1/R$ (además de correcciones electrodébiles y supersimétricas del orden de 20%), otro conjunto de estados (γ^{**} , Z^{**} , W^{**}) debería tener masa $2/R$ y así sucesivamente. La interacción de estas excitaciones con los quarks, leptones y bosones de norma queda fija por la teoría. Todos los estados masivos son inestables, con tiempos de vida cercanos a 10^{-25} seg y decaen en quarks y leptones. Aunque el trabajo en esta área no prevaleció porque la unificación existente no parecía requerir tal mecanismo, fue seguido por Antoniadis, Mariano Quirós (del Instituto de Estructura de la Materia en Madrid) y sus colaboradores. Sus cálculos para las secciones eficaces de producción y anchuras de decaimiento de las excitaciones son consistentes con lo que ha sido encontrado por el LHC.



El segundo estado en particular, con una masa dos veces mayor que la del primero, es una evidencia fuerte de que las excitaciones KK están siendo observadas. No sólo las secciones eficaces de producción y anchos de decaimiento (del orden de 1% de la masa) sino también las fracciones de ramificación en quarks y leptones son consistentes con lo esperado. Como sugieren las secciones eficaces observadas, estos estados tienen acoplamientos de la misma intensidad de las teorías de norma y se comportan como objetos puntuales, justo como el W y el Z. En la teoría electrodébil, el Z y el fotón son combinaciones lineales de estados propios simétricos, B (el bosón de norma U(1)) y W^0 (el bosón de norma del SU(2)). De manera similar, las excitaciones pueden ser combinaciones lineales de estados propios simétricos; así pues sus acoplamientos a los quarks y leptones pueden modificarse y esto debe determinarse con más datos experimentales. Obtener los datos será principalmente una cuestión de acumulación de eventos en ambos detectores, dado que ni la energía ni la luminosidad del LHC pueden incrementarse sustancialmente. Las colaboraciones internacionales res-

ponsables de los detectores ATLAS y CMS esperan mejorar su resolución, mientras avanzan en el entendimiento de sus detectores.

Todo mundo gusta de sorpresas

Si estos datos son confirmados con el continuo funcionamiento del LHC, las implicaciones sobre nuestro entendimiento de las leyes primarias de la naturaleza serán enormes. Debido a que aún no entendemos cómo se rompe la supersimetría y cómo determinar el estado del vacío de la teoría de supercuerdas, muchas de las predicciones observables de supercuerdas son alentadoras aunque no concluyentes: las masas de las partículas y sus compañeros supersimétricos junto con sus razones de decaimiento (incluyendo modos raros tales como el decaimiento del protón). Si los físicos teóricos supieran cómo trata el vacío la estructura dimensional de la teoría, serían capaces de reconocer cómo se obtiene tal vacío. Más datos podrían darles la información necesaria para completar el nuevo entendimiento teórico. La supersimetría de la teoría KK es rota por la presencia de escalas diferentes produciendo algunas excitaciones en la escala de TeV mientras otras las deja en la escala de Planck. Esta nueva idea puede ayudar a entender cómo se rompe la supersimetría en general. Una docena de eventos por una parte y los datos de las secciones eficaces de producción, así como los varios canales de decaimiento, pueden combinarse para descifrar los estados excitados γ^* , Z^* y W^* y sus acoplamientos, todo lo cual ayudaría a clarificar la teoría. Más aún, en el trabajo de Antoniadis y sus colaboradores, los estados KK no decaen en los bosones W y Z , ni tampoco en sus compañeros supersimétricos. Sin embargo, la generalización de este trabajo permite tales decaimientos; sería muy interesante ver lo que ocurre cuando se obtengan más datos. Puede ser que tales eventos ya se han presentado pero no han sido reconocidos debido a lo complicado de sus características.

A medida que se analicen más datos del LHC, se avanzará en otra dirección, permitiendo a los investigadores determinar la masa de los bosones de Higgs y sus compañeros supersimétricos más pesados. Estas masas provienen principalmente del rompimiento de la supersimetría, y pueden ayudar a entender su misterioso

origen. Si los resultados del análisis de datos se mantienen consistentes con el patrón de una torre de estados esperados en el enfoque KK, la confianza general en lo correcto de dicho cuadro estará ampliamente justificada.

El colisionador americano-japonés de electrones y positrones, el cual tuvo su primera colisión el año pasado y que está trabajando ya en su luminosidad de diseño, podrá eventualmente jugar un papel esencial para desentrañar la física subyacente debido a su gran haz polarizado: diferentes estados de polarización permitirán obtener información adicional sobre los números cuánticos de las excitaciones KK. El colisionador lineal no tiene energía suficiente para producir estos estados pero un programa de mejoramiento los pondrá al alcance.

Estos estimulantes descubrimientos han sido bien recibidos por los investigadores de las colaboraciones ATLAS y CMS por una razón adicional. Aunque fueron anticipados por unos pocos teóricos casi 20 años atrás, los diez eventos nuevos aparecieron como una sorpresa para todo mundo. Esto no había ocurrido durante casi cuatro décadas en la física de partículas en colisionadores, donde muchos de los descubrimientos fundamentales, incluyendo el bosón de Higgs – que confirmaron al Modelo Estándar y la supersimetría – fueron predichos con mucha anticipación. Por primera vez en mucho tiempo el experimento está un poco adelante de la teoría.



Notas

1. Véase, G. Herrera y L.M. Montaño, *Avance y Perspectiva* **17**, 357 (1998).
2. Véase, por ejemplo, el libro de L. O'Raifeartaigh, *The Dawning of Gauge Theories* (Princeton Univ. Press, 1988).
3. La escala de Planck corresponde a la dimensión más pequeña que se cree puede tener contenido físico; está construida a partir de tres constantes fundamentales de la naturaleza: la velocidad de la luz (c), la constante de Planck (h) y la constante de la gravitación universal (G); $R = (G/hc^3)^{1/2} = 10^{-35}m$.

ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS
FUNDACION MEXICO-ESTADOS UNIDOS PARA LA CIENCIA
(THE UNITED STATES-MEXICO FOUNDATION FOR SCIENCE)

ESTANCIAS DE VERANO EN EE.UU.
PARA INVESTIGADORES JOVENES 1999

La Academia Mexicana de Ciencias y la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia convocan al programa de estancias de verano para investigadores jóvenes de las áreas de Astronomía, Física y Química para realizar visitas académicas en laboratorios y centros de investigación de EE.UU. Un comité nombrado por la Academia Mexicana de Ciencias seleccionará a diez investigadores. El comité tomará en cuenta entre otros criterios, el curriculum vitae del candidato, la calidad tanto de su plan de trabajo como del departamento y de su contraparte en Estados Unidos y el impacto de la visita tanto para el candidato como para su grupo de trabajo. Se favorecerá a aquellos investigadores que inicien nuevas colaboraciones. Cada investigador recibirá una beca de US\$4 500. Este programa de becas no cubre los costos de pasaje ni de seguros. Los candidatos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

1. Tener menos de cuarenta años al cierre de esta convocatoria.
2. Ser investigador de tiempo completo en alguna institución mexicana.
3. Las propuestas deberán ser enviadas a las oficinas de la Academia Mexicana de Ciencias, incluyendo la siguiente documentación:
 - a) Curriculum Vitae.
 - b) Plan de trabajo para la visita.
 - c) Carta de aceptación de la institución anfitriona y fechas probables de la visita. La estancia deberá tener una duración mínima de dos meses y medio en el verano de 1999.
 - d) Copias de comprobantes de los puntos 1 y 2 de esta convocatoria.
4. Las publicaciones o productos de investigación resultados de este programa harán mención explícita de los organismos patrocinadores.
5. Los investigadores seleccionados deberán entregar un breve informe a la Academia, de las actividades realizadas durante la visita.
6. Toda la documentación deberá ser entregada a más tardar el lunes 29 de marzo de 1999, en las oficinas de la AMC, ubicada en Av. San Jerónimo 260, Col. Jardines del Pedregal, 04500, México, D.F.

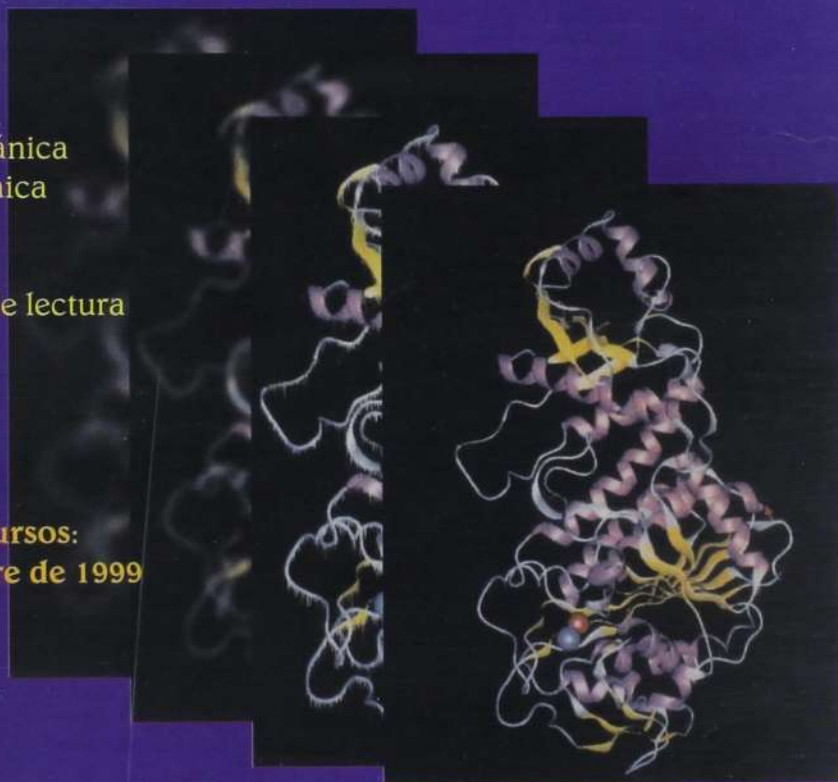
**El Departamento de Química del Cinvestav
anuncia su Programa de Doctorado en Ciencias Químicas
al que puedes ingresar si cuentas con la licenciatura en
algún área de la química**

Se ofrecen cursos de prerequisites del 18 de enero al 18 de junio de 1999

Exámenes de admisión, del 28 de junio al 7 de julio de 1999, en los temas:

- ~ Química Inorgánica
- ~ Química Orgánica
- ~ Fisicoquímica
- ~ Matemáticas
- ~ Comprensión de lectura
en inglés

**Inicio de cursos:
1º de septiembre de 1999**



Las personas que ya tengan un grado de maestría también pueden ingresar al Programa de Doctorado y se les ofrecerá un programa personalizado

Informes:
Coordinación Académica
Departamento de Química del Cinvestav
Av. Instituto Politécnico Nacional 2508 Esq. Ticomán
Tel. 747 7000, 747 7001 ext. 4090, 4028 ó 4043
Fax 747 7113
Correo electrónico: mrosales@mail.cinvestav.mx

Obras de Silvio Zavala



- *América en el espíritu francés del siglo XVIII*, El Colegio Nacional
- *Bio-bibliografía de Silvio Zavala*, 3ª edición, El Colegio Nacional
- *El servicio personal de los indios en la Nueva España*, (compilador), siete tomos, El Colegio Nacional-El Colegio de México

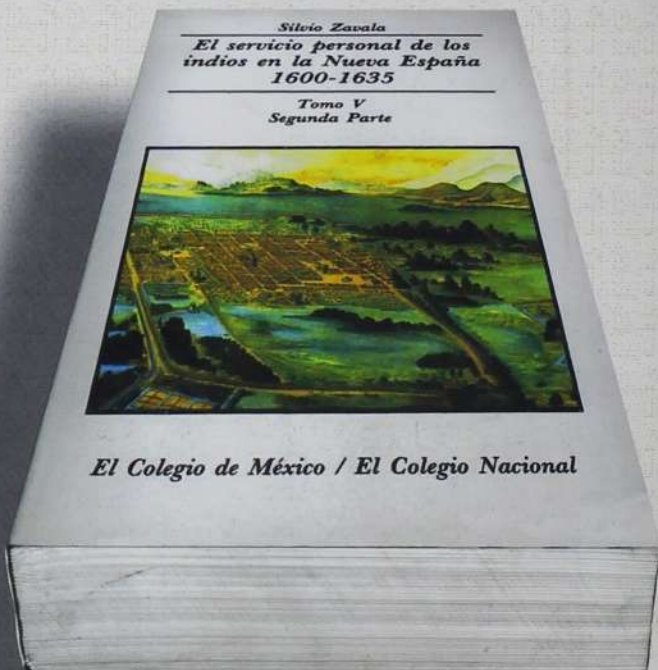
- *Ensayo bibliográfico en torno de Vasco de Quiroga*, El Colegio Nacional-FCE
- *Estudios indianos*, El Colegio Nacional
- *Homenaje a Silvio Zavala*, El Colegio Nacional
- *Ideario de Vasco de Quiroga*, El Colegio Nacional-El Colegio de México
- *Los esclavos indios en la Nueva España*, El Colegio Nacional

El Colegio Nacional

ofrece los títulos de sus miembros e invita a visitar su Biblioteca

Luis González Obregón núm. 23, Centro Histórico, Tel. 789 43 30, 702 17 79 Fax.

colnal@mail.internet.com.mx <http://www.colegionacional.org.mx>



- *Los intereses particulares en la conquista de la Nueva España*, El Colegio Nacional
- *Orígenes de la colonización en el Río de la Plata*, El Colegio Nacional
- *Una etapa en la construcción de la catedral de México*, El Colegio Nacional-El Colegio de México