



CBYS027834

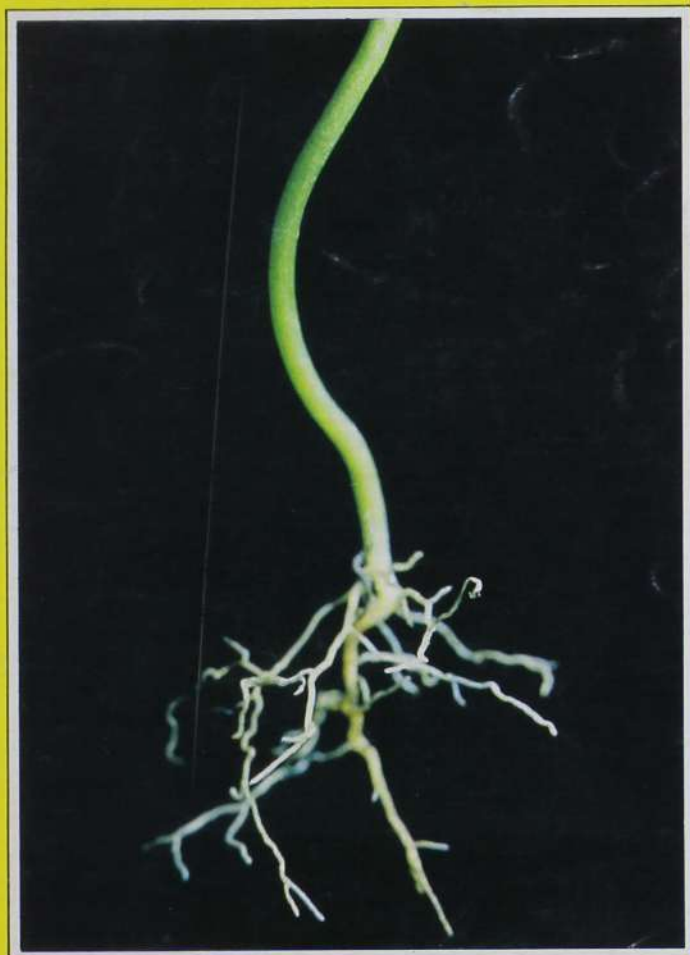
AVANCE Y PERSPECTIVA

órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
núm. 42 abril-junio 1990

México ISSN 0185-1411

Distribución gratuita

El complejo mundo de la síntesis química
Fotoluminiscencia de películas delgadas
Plantas y adversidad



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

El Departamento de Química invita a los egresados de licenciaturas en Química, Ingeniería química, Química fármaco-biología y ramas afines a cursar:

Maestría y doctorado en Físico-química O Química orgánica

Cursos propedéuticos	1 de marzo
Química general	Química orgánica
Físicoquímica	Matemáticas

Examen de admisión 24-28 de julio de 1990
Inicio de cursos 4 de septiembre de 1990

Para mayores informes: Dr. Norberto Farfán G.,
Coordinador académico. Cinvestav. Ave. IPN 2508
(esq. Ticomán), Apdo. postal 14-740, CP 07000,
México, D. F., Tels: 754-66-18 ext. 4031

Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados
del IPN
Cinvestav

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

Consejo Editorial

René Asomoza

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Marcelino Cerejido,

Departamento de Fisiología, Biofísica
y Neurociencias
Rosalinda Contreras,

Departamento de Química
María de Ibarrola,

Departamento de Investigaciones
Educativas
Rolando García B.

Departamento de Teoría y Metodología
de la Ciencia

Rubén López Revilla,

Departamento de Biología Celular

Fotografía: Agustín Estrada y Pedro Hiriart
Apoyo: Sección de Fotografía del CINVESTAV
Captura: Ma. Eugenia López y Rosemary Ovando
Distribución: Sección coordinadora de cursos en
provincia
Tipografía: José Luis Olivares Vázquez
y Arturo Sánchez y Gándara.

Avance y Perspectiva, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación trimestral editada por la Secretaría Académica del CINVESTAV. El número 41, volumen 9, se terminó de imprimir en marzo de 1990. El tiraje consta de 5,000 ejemplares. *Editor responsable*: Miguel Ángel Pérez Angón. Oficinas: Av. IPN No. 2508, Esq. Ticomán. Apdo. Postal 14-740, 07000 México, D.F. Certificados de licitud de título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de título No. 705-82 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro No. 016 0389, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. *Negativos, impresión y encuadernación*: Multidiseño Gráfico, S. A. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos escritos por miembros de la comunidad del CINVESTAV. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el primer número (enero-marzo) de cada número. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre que se cite la fuente.

Sumario

Correo	74
El complejo mundo de la síntesis química	
Angelina Flores Torres	75
Fotoluminiscencia de películas delgadas	
Ciro Falcony	83
Respuestas de las plantas a factores ambientales adversos	
Eugenio Pérez Molphe Balch y Nefúlí Ochoa Alejo	93
Perfiles de Investigación	
Mauricio Russek, In Memoriam	
Pablo Rudomín	99
Perspectivas	
Calidad de la educación primaria: Contexto, contenido y proceso en el Programa de Modernización Educativa	
Elsie Rockwell	104
Noticias del Centro	
Rincón Epistemológico	
Definiciones	
Rolando García	119
Libros	
Proceedings of the Third Mexican School of Particles and Fields, editado por J.L. Lucio y A. Zepeda	
J. Lorenzo Díaz Cruz	122
Matices	
Luz, más luz	
Elisa Carlos	124
El día que la ciencia me salvó la vida	
Marcelino Cerejido	127
Espacio abierto	
Física y matemáticas en la frontera	
David J. Gross	131
Portada	
Fotografía de Pedro Hiriart	



correspondencia

10 de abril de 1990.

Sr. Editor:

El Departamento de Matemáticas del Centro me ha preguntado cuál es la probabilidad de que algún desprevenido tome en serio el escrito del Dr. Marcelino Cerejido, publicado en *Avance y Perspectiva*, Vol. 9, Núm. 41 (1990), pp. 60-62 (pongo los datos precisos para que el Dr. Cerejido pueda usar esta cita en la COPBEP y el SNI). No sé cómo calcular esta proba-

bilidad, pero en caso de que haya un tal despistado, debe saber que:

1. La Estadística no es una ciencia básica, como la llama el Dr. Cerejido (¿posiblemente (¿o probablemente?) una de sus bromas?). La Estadística es un arte con una colección de métodos para hacer conjeturas numéricas. Su uso correcto es de importancia fundamental en las ciencias naturales, y es algo rara vez visto en México, sobre todo en el área biomédica.

2. En el Departamento de Matemáticas del Centro no hay nadie que se dedique a la Estadística, no porque no les guste, sino porque el último estadístico que quisieron contratar se rio de ellos cuando supo el salario que le ofrecían.

Con mis deseos de buena suerte para el Centro.

Tyché



Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del IPN
Unidad Saltillo
Saltillo, Coahuila, México.

University of British Columbia
The Centre for Metallurgical
Process Engineering
Vancouver, Canada.



Invitan al curso corto

Análisis y diseño de procesos metalúrgicos

Impartido por:
Dr. J.K. Brimacombe
Dr. I.V. Samarasekera

Agosto 13-16, 1990
Eurotel Plaza, Saltillo, Coahuila, México.

Temario

AGOSTO 13

- * Introducción a los principios de análisis de proceso
- * Modelación matemática
- * Métodos de diferencias finitas
- * Análisis por elementos finitos
- * Principios y aplicación de modelación física

AGOSTO 14

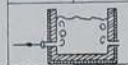
- * Hornos rotatorios
- * Convertidores de cobre
- * Humeado de zinc
- * Metalurgia de olla

AGOSTO 15

- * Fusión (fase)
- * Colada continua de barras de acero
- * Colada continua de planchones de acero
- * Vaciado directo de aluminio y zinc

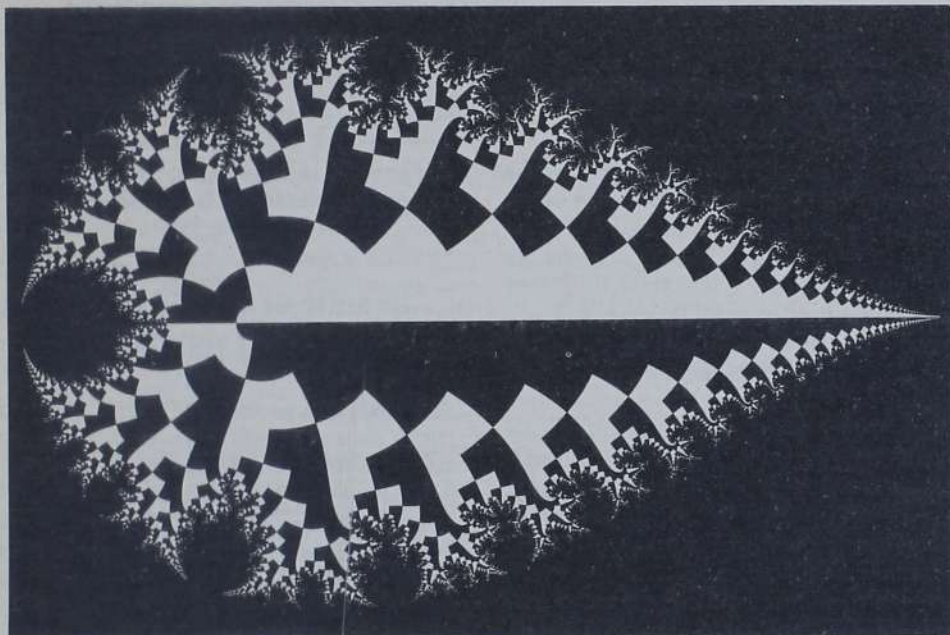
AGOSTO 16

- * Horno de recalentamiento
- * Laminación en caliente
- * Enfriamiento controlado de alambre
- * Panel de discusión



El complejo mundo de la síntesis química

Los químicos han logrado la síntesis de nuevos medicamentos, con estructuras cada vez más complejas, como antibióticos, citotóxicos y enzimas.



Angelina Flores Parra

La síntesis química, una forma de arte

La síntesis química es la construcción artificial de moléculas. Debido al número infinito de sustancias que pueden construirse en un laboratorio, esta tarea puede ser muy complicada y a la vez interesante. Considerada como una forma de arte y una disciplina arquitectónica, por la habilidad y la belle-

za creativa que conlleva, la síntesis química es capaz de crear moléculas similares a las naturales o completamente originales. El químico que hace síntesis no sólo debe poseer los atributos de un artista y un arquitecto molecular, sino los de un explorador lógico, creativo y estratega; la combinación de todas estas cualidades ha producido obras maestras en el contexto de la construcción de las moléculas.

Las rutas de síntesis y las estrategias globales para llegar a una sustancia deseada pueden cambiar dependiendo del investigador, lo que muestra la versatilidad, creatividad y visión personal del químico.

La síntesis de moléculas complejas en el laboratorio es un gran reto para los investigadores, tan-

La Dra. Angelina Flores Parra es profesora adjunta del Departamento de Química del CINVESTAV. Obtuvo su licenciatura en química industrial en la Universidad Autónoma de Nuevo León y su doctorado en química en la Universidad de París XI, Orsay, Francia. Su campo de investigación es la síntesis orgánica de productos naturales de interés farmacológico.

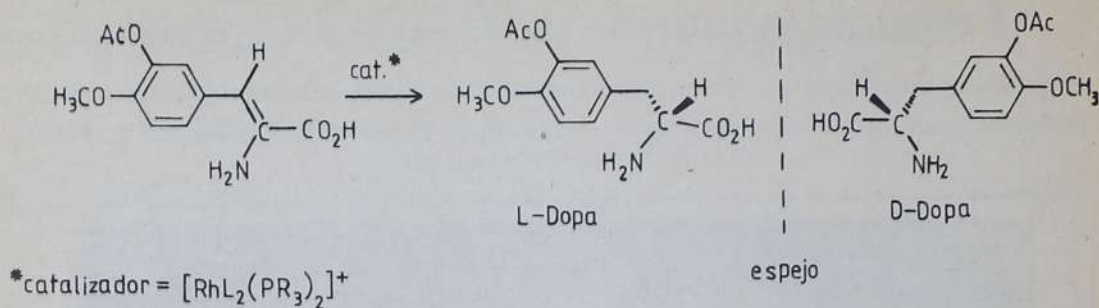


Figura 1. Síntesis de la L-dopa de Knowles.¹

to por la cantidad de átomos y grupos funcionales (o sitios reactivos) que presentan, como por la dificultad de llegar a un producto único que sea, además, un solo estereoisómero. Los estereoisómeros son sustancias similares que difieren entre sí solamente en la disposición espacial de algunos de sus átomos, y por lo común sólo uno de varios estereoisómeros tiene actividad biológica.

Cuando los estereoisómeros son imágenes especulares se conocen como enantiómeros, tienen la misma relación entre ellos como la mano derecha con la izquierda, y el camino para la obtención de únicamente uno de ellos se llama síntesis asimétrica. Una síntesis asimétrica se efectúa a través de una o más reacciones regio- y estereoselectivas. Las reacciones regioselectivas ocurren cuando en una molécula polifuncional un sitio reacciona perfectamente respecto de otros posibles, dando un solo compuesto entre varios que en teoría son factibles. Por otro lado, una reacción estereoselectiva es aquella en la que se obtiene sólo uno de varios estereoisómeros, o en mayor proporción que los otros. La importancia de buscar reacciones regio- y estereoselectivas se debe sobre todo a que llevan al producto deseado con buenos rendimientos y evitan las costosas y difíciles separaciones de subproductos.

Un ejemplo de la importancia de la síntesis asimétrica es la preparación de la L-dopa, medicamento usado en la enfermedad de Parkinson. En la figura 1 se muestra su síntesis, en donde se representa la reducción catalítica a través de un reductor de rodio y se obtienen las dos dopas, L-dopa, D-dopa, que son imágenes especulares entre sí. De este par sólo la L-dopa combate la enfermedad. Y

por lo tanto la síntesis para uso farmacéutico debe conducir únicamente a la L-dopa.

La síntesis asimétrica, química del siglo XXI

A medida que se acerca el siglo veintiuno los químicos mejoran su eficiencia en las síntesis estereoselectivas para aproximarse a la química de los seres vivos. La respuesta biológica está íntimamente relacionada con la pureza enantiomérica, muy apreciada en la química de medicamentos, como acabamos de ver con la dopa. La estereoquímica implica por lo tanto la unión entre la biología y la química. Diversos investigadores han puesto todo su empeño desde hace unos quince años en la síntesis asimétrica; los frutos de este esfuerzo mejoran día con día al lograr purezas enantioméricas que se acercan al 100%. Los químicos se acercan difícilmente al juego de la naturaleza de producir una plétora de productos; están más interesados en producir lo que ella no necesita o tal vez no puede hacer: en ello radica su triunfo.

La naturaleza construye moléculas a través de senderos únicos e ingeniosos; estos mecanismos han sido estudiados y copiados extensamente, y los científicos entienden ahora el camino bioquímico de familias importantes de productos naturales. La aplicación de métodos "biomiméticos" en el laboratorio ha producido poderosos métodos de síntesis.

A este respecto se sabe que en los organismos vivos las enzimas son los catalizadores que promueven estas transformaciones, por lo que un gran es-

fuerzo de investigación en síntesis está consagrado al uso de enzimas; en ocasiones hasta se usan cultivos de microorganismos para efectuar algunas reacciones difíciles en síntesis química.

Modelos químicos simples para entender la naturaleza

Los investigadores tienen gran curiosidad por conocer cómo las células pueden llevar a cabo transformaciones químicas tan complejas y selectivas, y gran interés en reproducir en el laboratorio estas transformaciones. Como no es posible utilizar moléculas biológicas muy complicadas y de gran tamaño, debido a la gran cantidad de sitios reactivos que poseen, se emplean modelos sencillos que sólo copian algún sitio reactivo específico. Hoy en día este tipo de investigación de modelaje biomimético que está en auge se encuentra en las fronteras de la bioquímica

El químico de síntesis también puede estudiar los procesos que siguen las moléculas dentro de los seres vivos y determinar las partes de una molécula que son las causantes de su actividad biológica, por ejemplo, en los antibióticos, a fin de observar en qué grupo químico se halla la actividad antibiótica y producir estructuras antibióticas análogas más sencillas.

Las transformaciones químicas de moléculas con actividad conocida son también de interés porque pueden cambiar y mejorar el comportamiento biológico de las moléculas. Un ejemplo conocido es el de la prednisona (figura 2), usada en el tratamiento de la artritis, la cual supera a la cortisona porque

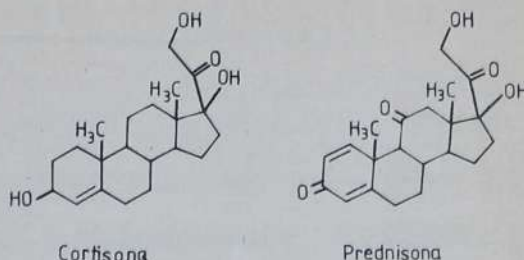


Figura 2.

se usa en dosis menores y tiene menos efectos secundarios indeseables.

Las herramientas cuentan...

Los reactivos son los instrumentos utilizados para transformar las sustancias. Con el propósito de desarrollar este arsenal amplio, variado y en plena evolución, existe un ejército de científicos estudiando nuevos reactivos y reacciones, siempre con la mira de obtener transformaciones más selectivas y eficientes. Los reactivos pueden ser sustancias orgánicas, inorgánicas, organometálicas, enzimas y catalizadores. Estas dos últimas clases de compuestos, que en la industria son de gran importancia económica, usadas en cantidades pequeñas aceleran las reacciones y mejoran los rendimientos.

Una buena ilustración de lo anterior es el proceso industrial de la tienamicina, antibiótico análogo

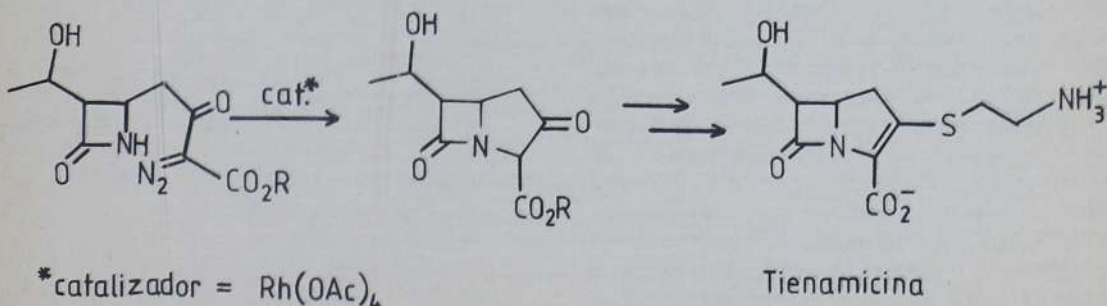


Figura 3. Precursor de la tienamicina obtenido por Ratcliffe et al.²

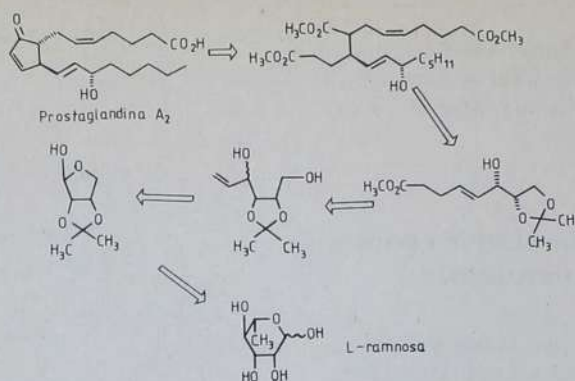


Figura 4. Retrosíntesis de la prostaglandina A₂ propuesta por Stork y Raucher.³

a la penicilina que requiere un catalizador de rodio para formar el anillo de cinco miembros (figura 3).

Otro ejemplo de la importancia que tiene contar con reactivos adecuados es el uso de nuevos reactivos inorgánicos de silicio. Estos han logrado mejorar la síntesis de la cortisona, la cual ahora puede efectuarse en sólo veinte pasos y con un rendimiento mil veces mayor que cuando requería cincuenta reacciones consecutivas.

La estrategia es fundamental

El trabajo de síntesis depende de la información del químico acerca de la importancia de cada molécula; ésta, a su vez, depende de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas. Para ello requiere estar en contacto con especialistas de otros campos. Una fuente de información proviene de las pruebas biológicas de sondeo que se hacen de sustancias extraídas de animales marinos, plantas o cultivos de microorganismos. Cuando se logra detectar una sustancia con propiedades anticáncer o antibióticas, de inmediato se investiga su estructura química utilizando el moderno equipo de análisis instrumental. Una vez conocida la estructura se pasa a establecer una estrategia de síntesis, es decir, un camino u orden de reacciones químicas que se puede seguir para llegar a la molécula deseada y a la materia prima de la cual se va a partir. La estrategia se define a través de un estudio retrosintético, que consiste en dividir teóricamente a la molécula en fracciones pequeñas y simples que, al unirse en forma secuencial, pueden generar la estructura final.

El estudio retrosintético de una molécula puede ofrecer varios caminos de síntesis, ya sean convergentes o lineales, de los cuales se escoge el más simple, esto es, el que requiere el menor número de pasos e incluye reacciones de alta eficiencia. Una vez establecida su estrategia, el químico no tiene más que probarla en el laboratorio.

Un ejemplo de diseño de retrosíntesis se muestra en la figura 4, donde se hace una fragmentación ideal de la prostaglandina A₂ hasta llegar a un azúcar natural, la L-ramnosa. La prostaglandina A₂ es una hormona obtenida de extractos de los corales conocidos como gorgonias y se usa para preparar otras prostaglandinas de interés farmacéutico.

La furosemda, medicamento diurético y antihipertensivo, se sintetiza fácilmente por la unión secuencial regioselectiva de tres fragmentos (figura 5), con la adición del grupo sulfamida y de la furano metilamina.

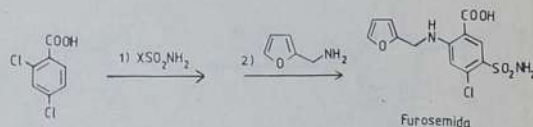


Figura 5. Síntesis de la furosemda.

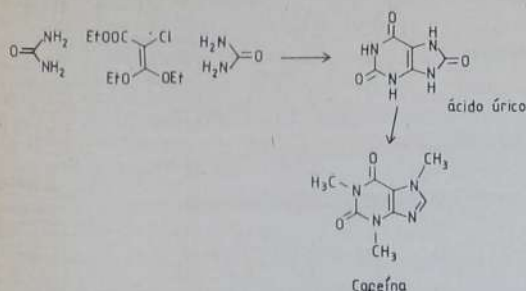


Figura 6. Síntesis de la cafeína.

En la figura 6 se muestra la síntesis de la cafeína, poderoso alcaloide que puede prepararse a partir de urea; la molécula se construye empleando ácido úrico como intermediario, sobre el cual se provoca una desoxigenación seguida de una metilación.

Uno de los retos más difíciles de la síntesis orgánica es la construcción de poliedros regulares formados solamente por átomos de carbono e hidrógeno. Una auténtica obra maestra en este sentido es la síntesis del 1,16-dimetildodecaedrano (figura 7). Paquette inició en 1974 los estudios para su síntesis,

que logró en 1982 por un camino difícil pero elegante. Este proceso pasa por una serie de etapas que se muestran en la figura 7, las cuales dan idea de la maestría de su constructor, quien ha continuado trabajando con ahínco en la síntesis de otras moléculas con estructura de poliedros regulares.

En ocasiones la estructura de las moléculas deseadas es tan compleja y tan grande el número de caminos posibles, que es necesario recurrir a la computación para llegar a una estrategia razonable.

No siempre conviene partir de sustancias muy simples. En ocasiones productos naturales abundantes y complejos como azúcares, terpenos, alcaloides, etc., pueden ser excelentes materias primas. En la figura 8 se muestra un ejemplo; a partir del triptófano, un aminoácido aromático esencial, se puede llegar a la familia de alcaloides de la yohimbina, que tienen aplicaciones farmacológicas importantes en tranquilizantes, anticancerígenos e hipotensores. Un miembro de esta familia, la corinanteidina, alcaloide abundante en la naturaleza, ha sido usada como materia prima para preparar alcaloides del tipo sarpagina (figura 8). La yohimbina, a su vez, se usó como materia prima en la síntesis parcial de yohimbol y de la corinanteína⁶ y en la síntesis de alcaloides tipo sarpagina a partir de la corinanteidina.⁷ Los químicos tienen sus aliados en la naturaleza, pues los cultivos de células vegetales modificadas genéticamente permiten la preparación de un gran grupo de alcaloides empaquetados con la yohimbina.

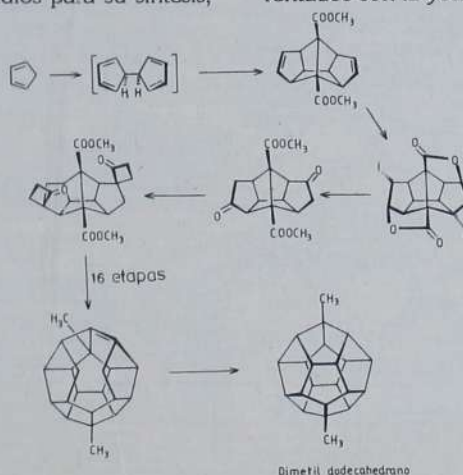


Figura 7. Síntesis de dimetildodecaedrano realizada por el grupo de Paquette.⁴

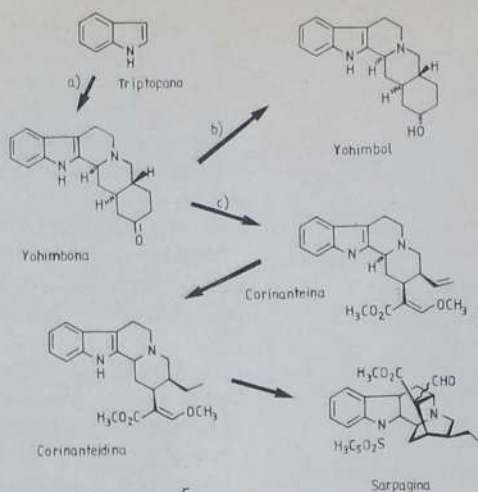


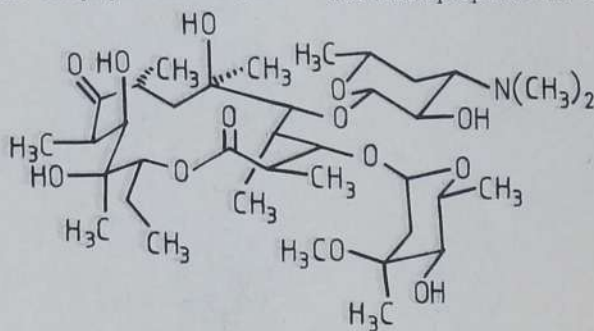
Figura 8. Síntesis de la yohimbona a partir del triptofano.⁵

Cuáles son las moléculas blanco de la síntesis química

Entre las moléculas de origen natural cuya síntesis es especialmente valiosa, se encuentran las que presentan actividad farmacológica como antibióticos, citotóxicos, metabolitos, enzimas, entre otras. Algunas de ellas significan retos excepcionalmente difíciles, como la síntesis de la eritromicina (figura 9), que tiene 37 carbonos, 68 hidrógenos y 12 oxígenos. A pesar de lograr introducir todos estos átomos en la secuencia correcta, puede haber 262, 144 posibilidades diferentes de disposición espacial, es decir, de diferentes isómeros. Hace 30 años su síntesis fue considerada como "sin esperanza" por R. B. Woodward, quien ganó el premio Nobel por sintetizar moléculas tan complejas como la qui-

nina y la vitamina B-12. Hoy se puede aspirar a esta síntesis, en parte gracias al desarrollo de hormas especialmente diseñadas para juntar los extremos de una cadena de 14 átomos a fin de formar un anillo de 14 eslabones, lo que daría lugar a la estructura de la eritromicina.

La síntesis química se vuelve cada vez más importante tanto desde el punto de vista de investigación y creatividad como del desarrollo y producción de sustancias químicas para el bienestar humano en las industrias farmacéutica, agroquímica, alimenticia, de fragancias, de cosméticos, etc. En estas industrias se usan como materias primas sustancias de estructuras muy complejas que no pueden ser obtenidas de fuentes naturales en forma indefinida. Su síntesis industrial es una alternativa más apropiada. En la industria de plásticos la



Eritromicina

Figura 9.

investigación para la síntesis de nuevos polímeros es muy importante ya que siempre se buscan materiales con diversas propiedades físicas, más resistentes, menos combustibles, más elásticos, duros, resistentes al desgaste, a la corrosión, etc. Un ejemplo son los nuevos plásticos usados en partes de automóviles o en prótesis humanas, y los materiales empleados en los trajes y naves espaciales.

La síntesis de las sustancias de interés industrial requiere varias etapas. Primero, a nivel laboratorio, se establecen las condiciones de reacción y los reactivos químicos que se pueden emplear para la elaboración de unos cuantos gramos. El escalamiento de las reacciones a cantidades mayores debe hacerse en plantas piloto, en pasos sucesivos, cada vez con cantidades más grandes de materias primas y reactivos hasta llegar al nivel industrial. En cada etapa las condiciones de reacción cambian drásticamente y deben ser adaptadas con cuidado.

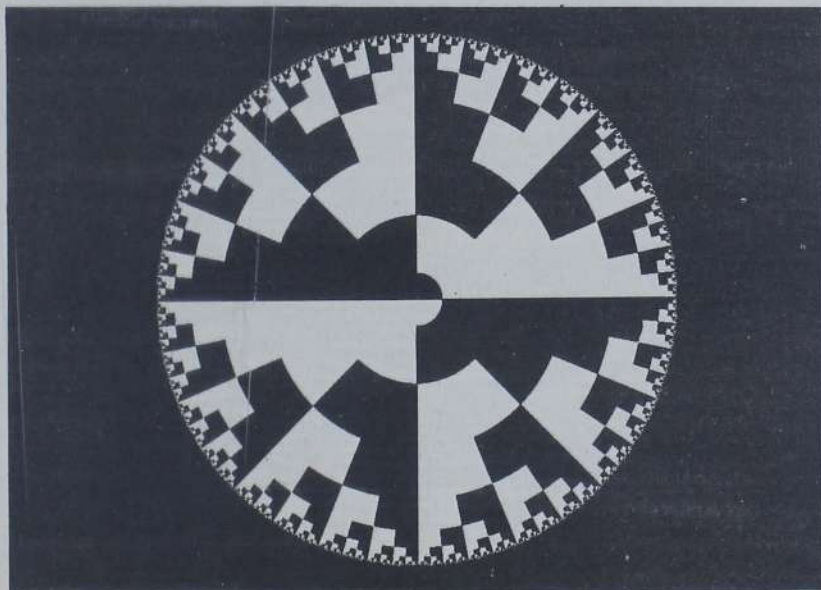
Perspectivas, utilidad y aplicaciones

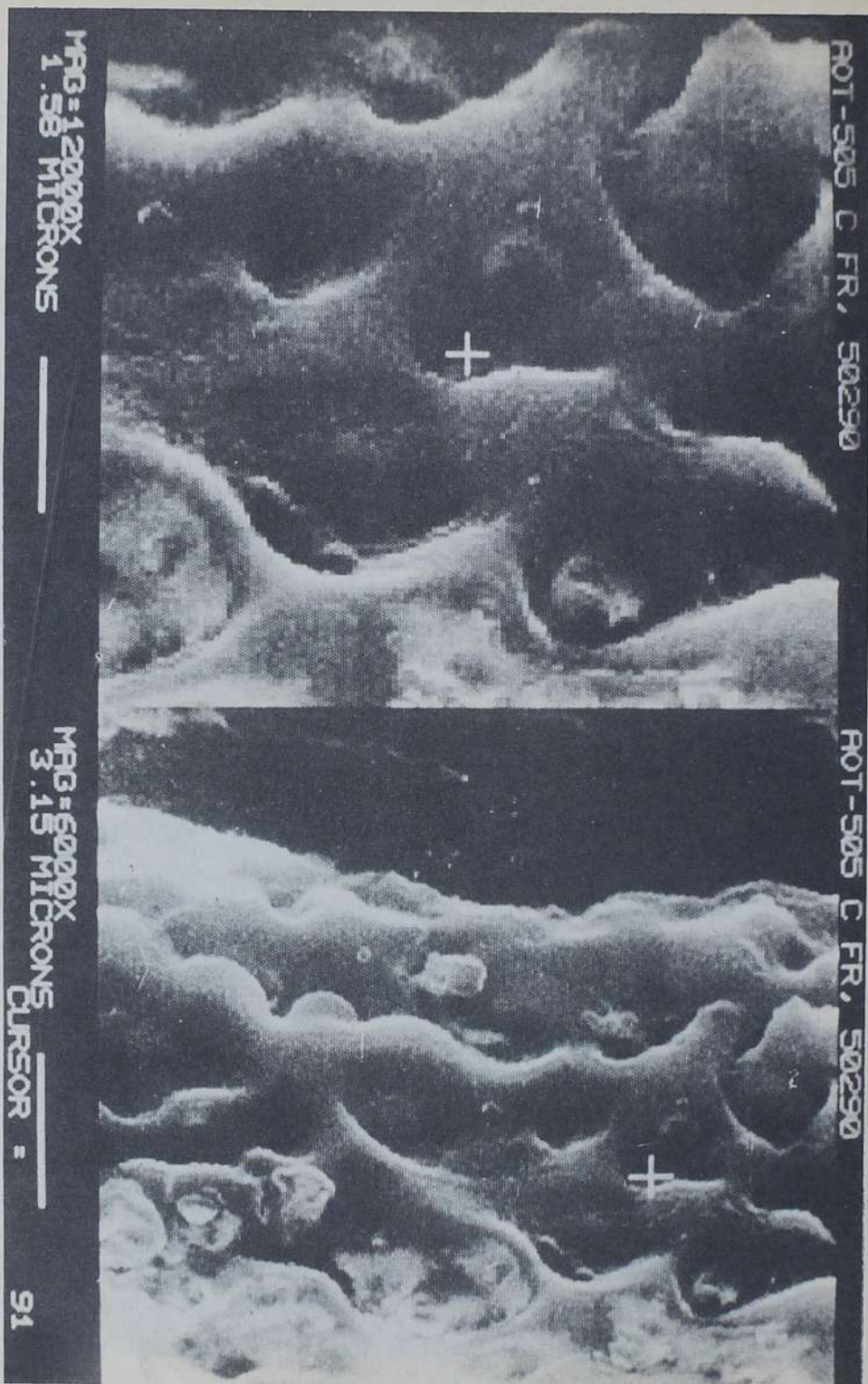
Un número importante de investigadores en todo el mundo está dedicado a la síntesis química. Las grandes industrias farmacéuticas cifran sus esfuer-

zos, que no son pocos, en la investigación y síntesis de nuevas moléculas con actividad biológica. Todo ello con el fin de tener caminos de síntesis que puedan desembocar en preparaciones industriales rentables de sus nuevos medicamentos. Igual sucede con la industria química de productos finos y de materiales. El trabajo de los químicos redunda en la preeminencia de la industria química de los países desarrollados. Desafortunadamente, en México, el número de estos especialistas se puede contar con los dedos de las manos. Esto explica el bajo desarrollo de nuestra industria química y la urgente necesidad de formar especialistas en este campo. ❁

Notas

1. Knowles, W.S., *Acc. Res.* **16** (1983) 106.
2. Ratcliffe, R.W. et al., *Tetrahedron Lett.* (1980) 31.
3. Stork, G., y Raucher, S., *J. Am. Chem. Soc.* **98** (1976) 1583.
4. Paquette, L.A., y Wyvratt, M.J., *J. Am. Chem. Soc.* **96** (1974) 4671; *ibid.*, **104** (1982) 774; *Topics Curr. Chem.* **79** (1979) 41.
5. Okamura, K., y Yamada, S., *Chem. Pharm. Bull.* **26** (1978) 2305.
6. Witkop, B., *Annalen* **554** (1943) 83; Autrey, R.L., y Schillard, P.W., *J. Chem. Comm.* **75** (1961) 841.
7. Herlem, D., Flores-Parra, A., y Khuong-Huu, F., *Tetrahedron* **38** (1982) 271.





Fotoluminiscencia de películas semiconductoras

Con películas semiconductoras luminiscentes es posible construir despliegues visuales planos de área grande y ligeros que puedan mejorar al tradicional cinescopio de los aparatos de televisión. El estudio de las características luminiscentes de estas películas permitirá obtener despliegues a un costo menor.



Ciro Falcony

Despliegues visuales

El mecanismo fundamental de un televisor consiste en la conversión de una señal transmitida de manera electrónica a un despliegue visual plano (pantalla) mediante el tubo de rayos catódicos, mejor conocido

como cinescopio. Esta pantalla está cubierta con polvos cristalinos de materiales como el selenuro de zinc, ZnSe, que emiten luz de manera óptima al ser excitados sus niveles atómicos por el haz de electrones del cinescopio. Las propiedades luminiscentes de estos materiales cristalinos han sido ampliamente utilizadas en el estudio de sus características físicas. En la actualidad se cuenta con una tecnología de materiales enfocada a obtener compuestos intrínsecos o impurificados con óptimas características luminiscentes utilizables en las pantallas de televisión. Esta tecnología ha alcanzado su madurez y ha desarrollado materiales eficientes y económicos que son costables comercialmente.

El Dr. **Ciro Falcony** es profesor titular del Departamento de Física del CINVESTAV. Obtuvo su título de físicomatemático de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN, su grado de maestría en ciencias (Física) del CINVESTAV y su doctorado en la Universidad de Lehigh, EUA. Su campo de investigación es el estudio experimental de películas semiconductoras.

Tabla 1. Características de las diferentes tecnologías utilizadas en la fabricación de pantallas planas. Destacan la tecnología de cristales líquidos (TN LCD) por la baja potencia requerida para su operación, así como la de tubos de rayos catódicos (CRT) por su alta luminosidad y bajo costo.

Tecnología	Luminosidad (foot-lambert)	Contraste	Angulo de observación	Potencia (W)	Precios (US Dls)
TN LCD	—	4:1	25°	0.2	150 a 175
EL	23 a 30	10:1	140°	13 a 15	500 a 600
PLASMA	25 a 30	20:1	120°	25 a 35	450 a 500
CRT	200	10:1–100:1	140°	70 a 200	100 a 125

Paneles de 4 × 8 pulg.; 510 × 256 pixels.

Con el advenimiento de las computadoras personales, así como con la demanda de despliegues visuales de área grande, se ha generado un creciente interés en estos materiales cristalinos en forma de películas delgadas. La obtención de películas luminiscentes que emitan eficientemente en tres colores necesarios para un despliegue a color (rojo, verde o amarillo y azul), permitirán desarrollar estructuras electroluminiscentes que con el tiempo podrían constituirse en pantallas planas de poco peso y de área grande. Existen varias aproximaciones para tratar de resolver este problema; entre ellas destacan los cristales líquidos, materiales que mediante la aplicación de un campo eléctrico pueden transmitir o reflejar la luz en una forma selectiva, y que se han popularizado en aplicaciones más o menos limitadas, como lo son las carátulas de relojes electrónicos y de calculadoras pequeñas. Otra aproximación al problema son las pantallas de plasma; en este caso la información se despliega en pequeños elementos que emiten luz por un principio similar al de los tubos de neón utilizados para anuncios comerciales.

En la tabla 1 se comparan estas tecnologías tomando en consideración características críticas en su desempeño, como son su luminosidad, el contraste, el ángulo de observación, la potencia, y el costo total en el caso de un despliegue visual monocromático de 4 por 8 pulgadas, y 510 por 256 elementos luminosos (pixels).¹ La luminosidad está dada en foot-lamberts, unidad comúnmente utilizada para la intensidad luminosa normalizada a la respuesta espectral del ojo humano. El contraste es la razón de la luminosidad de un elemento activado a la de uno no activado; esto da una idea de la resolución que se puede obtener con cada tipo de despliegue (es decir, qué tan bien se puede definir una imagen en la pantalla). El ángulo de observación es

particularmente importante en aplicaciones en las que se requiere que la información desplegada sea observada por un número grande de individuos (esta característica no es tan crítica en el caso de que solamente un usuario necesite acceso a la información desplegada a la vez, como es el caso de calculadoras de mano o relojes de pulso). La potencia es el consumo de energía por unidad de tiempo requerida para operar un despliegue con las características antes mencionadas, incluyendo la energía disipada por el circuito de control. El precio en dólares representa el costo final para el consumidor de cada uno de estos sistemas.

Los despliegues de cristales líquidos consumen poca energía debido a que funcionan con base en la reflexión selectiva de la luz del medio ambiente. Las principales limitaciones de estos sistemas son la baja razón de contraste y un ángulo de observación muy limitado. Los despliegues electroluminiscentes y por plasma tienen características similares; sin embargo, los despliegues por plasma presentan serios problemas de fragilidad y un tiempo de vida corto. Por su parte, los despliegues electroluminiscentes presentan la desventaja de que aún no se cuenta con despliegues a color debido a limitaciones en materiales luminiscentes eficientes, especialmente en el intervalo de longitudes de onda cortas (azul).

Los datos de la tabla 1 indican que los tubos de rayos catódicos son la forma ideal para desplegar información visual; sin embargo, se debe tomar en consideración que aun cuando estos datos fueron recabados para un despliegue relativamente pequeño, la potencia disipada por este sistema es relativamente alta. Para despliegues de mayores dimensiones la energía disipada por tubos de rayos

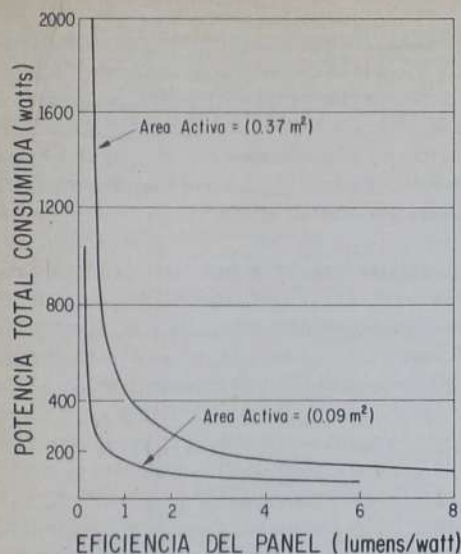


Figura 1. Potencia total consumida en función de la eficiencia del panel para áreas activas de 0.09 m^2 y 0.37 m^2 .

catódicos es bastante mayor que la disipada por las otras alternativas, amén de otras dificultades técnicas relacionadas con el peso y fragilidad del tubo. Así pues, especialmente en los casos de que se requiera una pantalla ligera, de dimensiones planas y con cierta resistencia al manejo pesado, las opciones alternativas pueden ofrecer ventajas sobre los tubos de rayos catódicos. En particular, los despliegues electroluminiscentes presentan características atractivas para integrar una pantalla plana utilizable en aplicaciones en las que ligereza, carencia de luz ambiental y manejo rudo son críticos.

Las limitaciones principales que impiden la comercialización de estas pantallas es la eficiencia luminiscente de las películas activas utilizadas en su fabricación. Esto se muestra en la figura 1, en la que se da el total de la potencia requerida para manejar una pantalla de un pie cuadrado (0.09 m^2) o bien una de 4 pies cuadrados (0.37 m^2) en función de la eficiencia luminosa de la pantalla. Típicamente, la eficiencia de los tubos de rayos catódicos es de 5 a 7 lumens/watt, mientras que la de una pantalla electroluminiscente es de 0.1 a 1 lumen/watt. Como se puede observar en esta figura, la potencia total requerida es altamente no lineal con respecto a la eficiencia de las pantallas, de tal suerte que crece con rapidez para eficiencias menores que 2 lumens/watt. La potencia total requerida

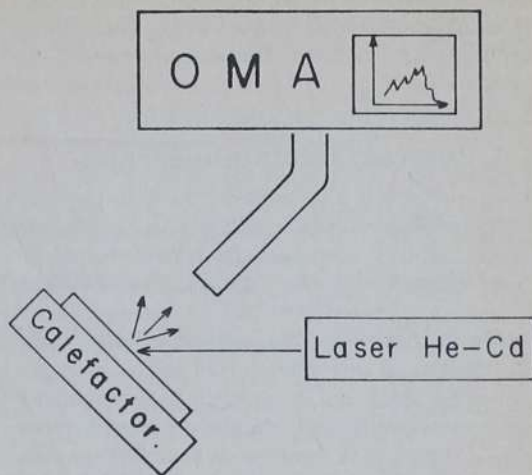


Figura 2. Arreglo experimental utilizado para mediciones de fotoluminiscencia.

para el manejo de una pantalla es un indicador de la viabilidad de la misma, puesto que al aumentar la potencia, la complejidad de la electrónica asociada al manejo de la pantalla se incrementa de manera proporcional. La obtención de una película luminiscente de mayor eficiencia en los tres colores básicos permitiría el desarrollo de despliegues visuales electroluminiscentes costeables desde el punto de vista comercial.

Esta es la motivación principal para el estudio de las características luminiscentes de películas de diversos materiales incorporando distintos tipos de impurezas. Una forma hasta cierto punto sencilla de estudiar las propiedades luminiscentes de estas películas es mediante la técnica de fotoluminiscencia. En ella se utiliza un haz de luz de suficiente energía como para excitar los centros luminiscentes del material a estudiar. Así, cuando se observa el espectro de la luz emitida, al igual que otras características como el tiempo de decaimiento, la dependencia de la intensidad y del espectro con respecto a la temperatura, es posible determinar el mecanismo que originó la emisión y de esta manera entender la naturaleza del centro luminiscente. El propósito de este artículo es ilustrar, mediante ejemplos específicos, diversos mecanismos que dan origen a una emisión luminiscente, así como describir el trabajo de investigación que hemos realizado

con el propósito de desarrollar películas luminiscentes eficientes que emitan en los tres colores básicos y entender los fenómenos físicos involucrados.

Procesos fotoluminiscentes

El arreglo experimental utilizado en la técnica de fotoluminiscencia se muestra de manera esquemática en la figura 2. La luz de excitación se obtiene de la línea de emisión en 325 nm de un láser de He-Cd. Al incidir esta luz sobre la muestra excita una emisión luminiscente, la cual es colectada por un haz de fibras ópticas acoplado a un analizador óptico de multicanales (OMA). Este analiza en cuestión de segundos el espectro de la emisión en función de su longitud de onda. Las mediciones en función de la temperatura fueron realizadas colocando las muestras dentro de un crióstato o bien sobre un calefactor de resistencia para el caso de temperaturas mayores que la ambiente.

El proceso fotoluminiscente se inicia con la excitación de electrones de la muestra mediante la absorción de un fotón proveniente del láser. Si la energía del fotón es suficientemente grande, este electrón podrá ser transferido de su estado base a un estado excitado de mayor energía. El relajamiento posterior del exceso de energía adquirido

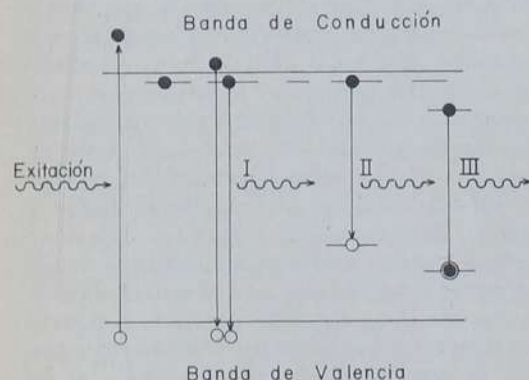


Figura 3. Descripción esquemática del proceso de excitación y tres diferentes mecanismos de emisión luminiscente en un sólido cristalino.

por el electrón puede ocurrir a través de mecanismos que no emiten luz (no radiativos). Por ejemplo, dicho electrón puede transferir su exceso de energía a la red cristalina haciéndola vibrar (excitando modos vibracionales de la misma). De otro modo, el exceso de energía del electrón puede ser disipado en forma de radiación.

La figura 3 muestra tres posibles mecanismos luminiscentes que pueden ocurrir en un sólido cristalino. En estos sólidos los estados de energía permitidos para un electrón forman bandas de energía. Los electrones del sólido llenan estas bandas empezando por aquellas de menor energía. La última banda en llenarse se conoce como banda de valencia y la primera banda vacía o semillena es conocida como la banda de conducción. En esta figura se representan de manera esquemática el tope de la banda de valencia y el fondo de la banda de conducción. Los defectos del cristal pueden introducir estados localizados de energía entre estas dos bandas. Estos estados los representamos como pequeñas líneas en la banda prohibida.

El primer mecanismo es conocido como recombinación de banda a banda debido a que un electrón, previamente excitado desde de la banda de valencia al fondo de la banda de conducción, se recombina con un hoyo (carencia de un electrón) en una ligadura de la banda de valencia. En este

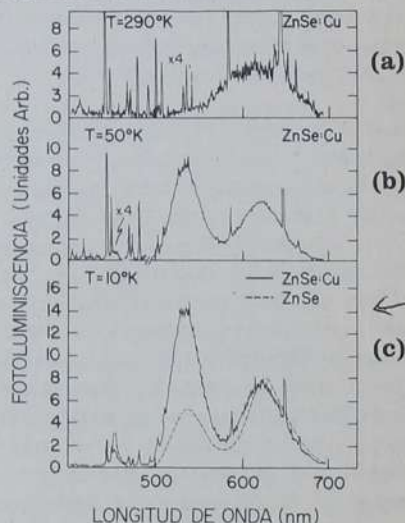


Figura 4. Espectros fotoluminiscentes de películas de selenuro de zinc impurificadas con cobre a diferentes temperaturas.

mecanismo el electrón puede también ser atrapado en un estado cercano al fondo de la banda de conducción y de ahí recombinarse con un hoyo en la banda de valencia (emisión de borde de banda). El segundo mecanismo es una recombinación compuesta que consiste en el atrapamiento no radiativo de un electrón de la banda de conducción a un estado localizado en la banda prohibida, y posteriormente una recombinación radiativa a un estado localizado cerca del tope de la banda de valencia, o bien con un hoyo en la banda de valencia misma. El tercer mecanismo corresponde a una excitación de un electrón en un centro luminiscente a un estado excitado del mismo centro; al desexcitarse, este centro emite luz con un espectro característico.

De estos tres posibles mecanismos luminiscentes el primero ofrece la posibilidad de obtener emisiones con mayor energía. Sin embargo, resulta ser el proceso menos probable; para que sea posible observarlo generalmente requiere que los procesos no radiativos y radiativos de otro tipo que compiten con él sean minimizados mediante enfriamiento de la muestra. La figura 4 muestra los espectros fotoluminiscentes de una película de ZnSe impurificada con Cu a diferentes temperaturas;³ los picos agudos corresponden a emisiones parásitas del láser utilizados para la excitación. En este caso, se observan en particular los tres mecanismos de emisión a diferentes temperaturas. A temperaturas altas (temperatura ambiente, figura 4a) el mecanismo dominante es el segundo, en el que la recombinación de los electrones excitados ocurre a través de un atrapamiento no radiativo en un nivel localizado en la banda prohibida de energía y luego se recombina radiativamente con un hoyo en algún estado localizado cerca del tope de la banda de valencia o en la banda misma, dando origen a un pico ancho de emisión centrado en 610 nm. A temperaturas intermedias (≈ 50 K, figura 4b) se observan dos efectos: la intensidad de la emisión luminiscente es mayor en su totalidad y aparece un segundo pico centrado ≈ 530 nm. Este segundo pico corresponde a una emisión del tercer tipo en la que las impurezas de Cu forman un centro luminiscente complejo, en el cual un átomo de cobre substituye a un átomo de zinc del ZnSe. En este caso, la excitación ocurre a un nivel del mismo centro luminiscente, dando lugar a lo que se conoce como emisión autoactivada. A bajas temperaturas (figura 4c), los procesos no radiativos son muy pocos y per-

miten observar un tercer pico luminiscente correspondiente a emisiones de banda a banda. El estudio de las características luminiscentes y su dependencia con la temperatura son de gran utilidad para determinar la calidad cristalina, así como el tipo de imperfecciones presentes en las películas semiconductoras. Sin embargo, desde el punto de vista de utilidad práctica, es necesario encontrar materiales que emitan de manera eficiente a temperatura ambiente en los tres colores básicos ya mencionados. Con este propósito se han estudiado las características fotoluminiscentes a temperatura ambiente de una amplia variedad de materiales policristalinos con diferentes impurezas y de algunos materiales amorfos. En este proceso se han encontrado casos específicos de los tres diferentes mecanismos descritos y aspectos interesantes desde el punto de vista físico. A continuación se describen ejemplos de tales casos, así como el entendimiento de la naturaleza de los defectos involucrados a partir de sus características luminiscentes.

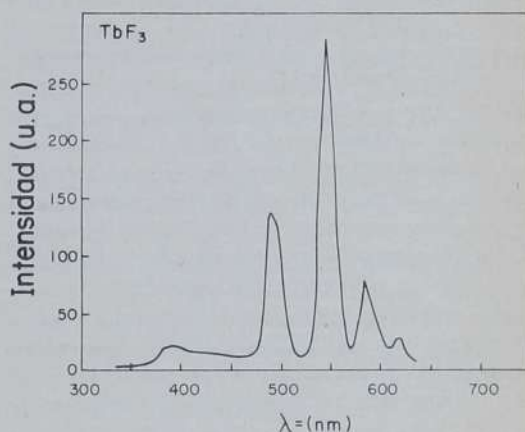


Figura 5. Fotoluminiscencia del fluoruro de terbio en función de la longitud de onda.

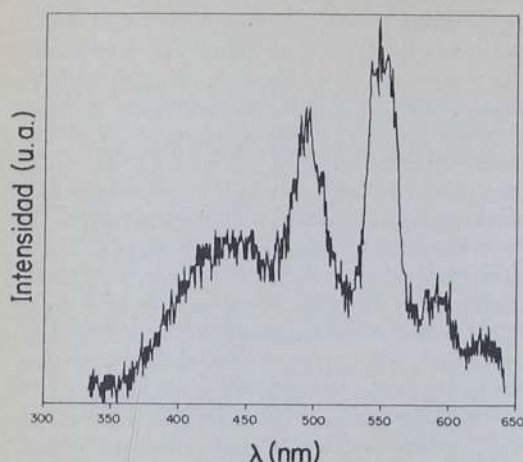


Figura 6. Emisión fotoluminiscente de una película de óxido de indio impurificada con terbio.

Fotoluminiscencia de materiales impurificados con tierras raras

Las tierras raras presentan por lo general emisiones luminiscentes características asociadas con transiciones entre sus niveles atómicos. La figura 5 muestra el espectro fotoluminiscente característico del Tb^{3+} en polvos de fluoruro de terbio. El ruido asociado con la medición experimental del espectro ha sido eliminado en esta figura a fin de obtener mayor claridad en la estructura de los picos de emisión. La introducción de Tb como impureza, ya sea molecular o atómica, en una matriz policristalina, puede resultar en estados localizados en la banda prohibida o como un centro autoactivado cuya emisión luminiscente es generada por transiciones electrónicas entre sus niveles atómicos de energía característicos (tercer mecanismo luminiscente). Esta última posibilidad ha generado un estudio amplio de las emisiones de tierras raras como impurezas en diferentes tipos de materiales semiconductores. En particular, se han estudiado las emisiones luminiscentes en películas de óxido de indio impurificado con cloruro de terbio. La figura 6 muestra el espectro fotoluminiscente de estas películas. Este espectro muestra una emisión ancha que se extiende entre 350 nm y 600 nm, y una serie de picos bien definidos que corresponden a las

Tabla 2. Amplitud de la banda prohibida para diferentes materiales amorfos.

Materiales amorfos	Banda prohibida (eV)
Si	1.6 - 2
$Si_{1-x}C_x$	1.8 - 2.8
GeC	1.5
SiN	2.5 - 5

transiciones características del Tb, como se puede deducir por comparación con la figura 5. El conjunto de estas emisiones resulta en una luz verde intensa.

Fotoluminiscencia en materiales amorfos

Aun cuando no tienen bandas de energía bien definidas debido a su naturaleza no cristalina, los materiales amorfos sí presentan pseudobandas de energía cuya amplitud depende en gran medida de las condiciones de preparación. Esta es una característica de los materiales amorfos que es de gran interés como emisores luminiscentes, ya que la amplitud de la banda prohibida de energía determina el máximo de energía que se puede emitir. Por lo general, la luminiscencia en estos materiales se ori-

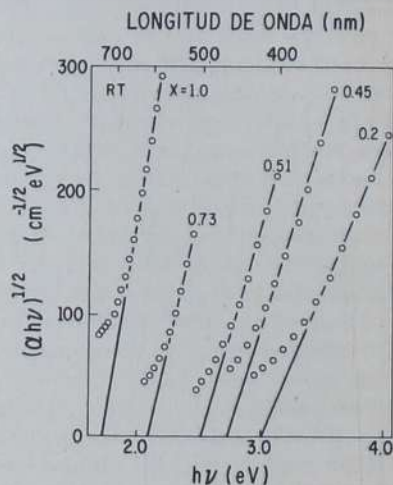


Figura 7. Fotoluminiscencia en función de la energía de los fotones (longitud de onda) para distintas composiciones relativas de SiC.

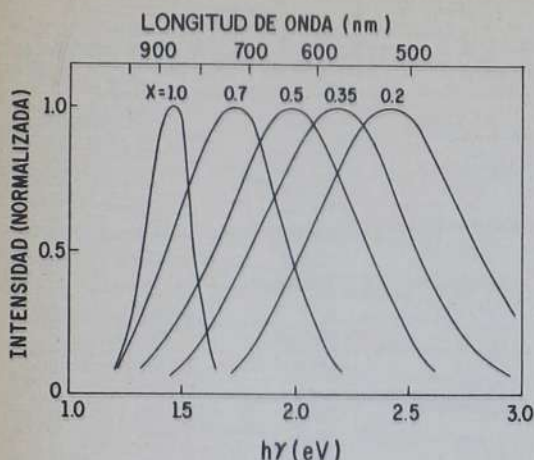


Figura 8. Espectros de fotoluminiscencia de una película de óxido de zinc impurificada con cloruro de terbio al iniciar la excitación con la luz del láser y después de una hora de ser expuesta a dicha luz.

gina mediante transiciones entre estados localizados en esta pseudobanda. La tabla 2 muestra los materiales amorfos más comunes, así como el rango de energías de su banda prohibida; destacan en especial el carburo de silicio ($\text{Si}_x\text{C}_{1-x}$) y el nitruro de silicio (SiN) por la amplitud de su banda prohibida. En particular, el carburo de silicio presenta un rango de energías que cubre el espectro visible. La amplitud de la banda prohibida se modula variando la composición relativa de silicio y carbón. Así, para $x = 1$ el ancho de banda es de ≈ 1.8 eV, mientras que para $x \approx 0$ es de ≈ 2.8 eV. La figura 7 muestra los espectros de fotoluminiscencia para distintas composiciones relativas de Si y C. Como se puede observar, el pico de emisión se corre hacia energías mayores al aumentar el contenido relativo de carbón en las muestras. Este es un aspecto muy conveniente, ya que en principio es posible obtener toda la gama de emisión en el espectro visible.

Recombinación radiativa a través de estados localizados

La luminiscencia generada por recombinaciones radiativas a través de estados localizados en la banda prohibida es un proceso muy común en materiales

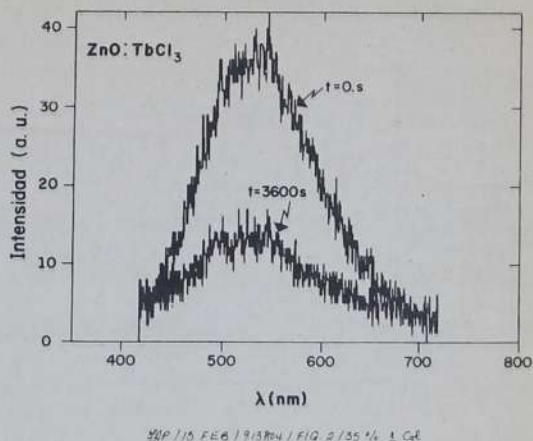


Figura 9. Descripción esquemática del proceso de emisión fotoluminiscente en películas de óxido de zinc impurificadas con cloruro de terbio.

policristalinos. Este es el caso de las películas de óxido de zinc impurificadas con terbio.^{7,8} La figura 8 muestra los espectros luminiscentes de una película de óxido de zinc impurificada con cloruro de terbio al iniciar la iluminación con el láser de excitación y después de una hora de estar expuesto a esta luz. En este caso el terbio entra en la matriz de ZnO como una trampa de hoyos y la emisión luminosa corresponde a la recombinación de un electrón, previamente excitado por el láser al fondo de la banda de conducción del óxido de zinc, con un hoyo atrapado en el centro producido por el terbio (figura 9). El decaimiento de la intensidad luminosa con el tiempo de excitación se debe a que la iluminación con el láser, además de excitar electrones al fondo de la banda de conducción, afecta la población de hoyos atrapados en los centros creados por el terbio. Puesto que la intensidad de la luminiscencia es proporcional al número de hoyos y electrones disponibles para la recombinación radiativa, después de aproximadamente una hora de iluminación la población de hoyos atrapados alcanza un equilibrio entre el proceso de atrapamiento de nuevos hoyos y el de desatrapamiento producido por la iluminación del láser.

Este proceso es ilustrado en la figura 10, donde se muestra el comportamiento de la intensidad total

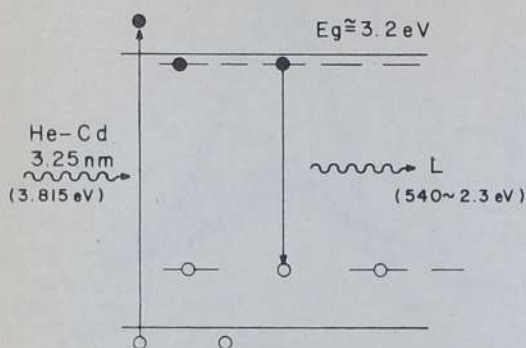


Figura 10. Comportamiento de la intensidad de la fotoluminiscencia del óxido de zinc impurificado con terbio en función del tiempo de iluminación para diferentes intensidades de la luz de excitación.

del pico en función del tiempo de iluminación para diferentes intensidades de la luz de excitación.

Si se sustrae la intensidad remanente después de una hora a la intensidad total y se grafica el logaritmo de esta cantidad contra el tiempo de iluminación, se obtiene un comportamiento lineal. Es decir, que la intensidad se comporta como la suma de una componente que no depende del tiempo más una parte que depende exponencialmente del tiempo t .

Tal es precisamente el comportamiento que se espera de este tipo de mecanismo de emisión ya que, como se mencionó anteriormente, la intensidad de la luminiscencia es proporcional al número de electrones excitados (n) y al número de hoyos atrapados (h_t); n es constante en el rango de tiempo estudiado y h_t está dado por

$$h_t = A + C \exp(-Bt)$$

donde A y C son constantes y

$$B = I\sigma_h + 1/\tau_h + 1/\tau_D;$$

siendo σ_h la sección eficaz de desatrapamiento de hoyos y τ_h y τ_D los tiempos de atrapamiento y desatrapamiento térmico de hoyos, respectivamente.

Tabla 3. Materiales luminiscentes con diferentes impurezas estudiados en nuestro laboratorio y longitud de onda de los picos dominantes de su emisión con diferentes impurezas.

Semiconductor	Impureza	Pico de emisión
ZnS	InCl ₃	545 nm
	AlCl ₃	470 nm
	CuCl ₃	570 nm
	SmCl ₃	470 nm
	TbCl ₃	456 nm
In ₂ O ₃	TbCl ₃	540 nm
ZnO	—	508 nm
	TbCl ₃	540 nm
	LiCl ₃	610 nm
ZnSe	Ga	620 nm
	TbF ₃	520 – 610 nm
Al ₂ O ₃	TbCl ₃	540 nm
Si _{1-x} C _x	—	530 – 670 nm

De esta manera, se obtiene $\sigma_h = 5.1 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$. En forma análoga, de la dependencia con la temperatura del decaimiento de la luminiscencia se puede determinar la energía a la que se encuentra localizado el defecto introducido por el terbio. Esto se aprecia con facilidad si se toma en consideración que $\tau_D^{-1} = w_0 \exp(-E_h/KT)$, donde E_h es la energía a la que se encuentra la trampa de hoyos, K es la constante de Boltzman, T es la temperatura, y w_0 es una constante asociada con vibraciones características de la red cristalina. De aquí se puede determinar la energía $E = 0.92 \text{ eV}$. Esto es consistente con la diferencia de energía de la luz emitida ($\approx 2.3 \text{ eV}$) y ancho de la banda prohibida (3.2 eV).

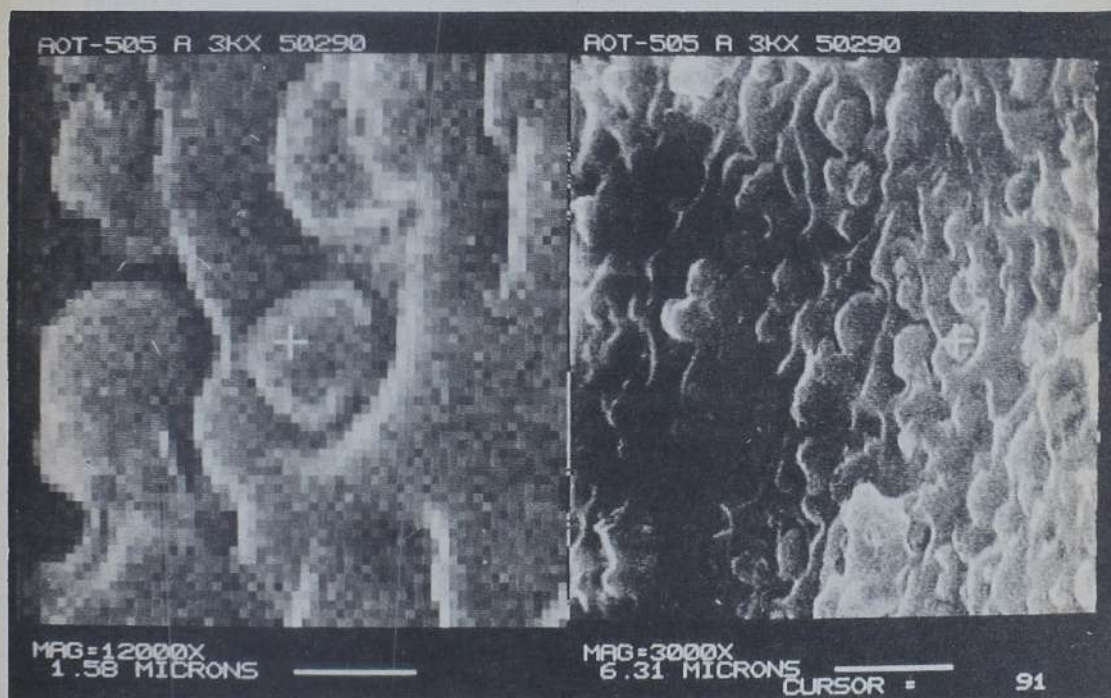
Conclusiones

La fotoluminiscencia de películas semiconductoras es modelo excelente para estudiar los fenómenos físicos básicos involucrados en el proceso de emisión de luz en defectos debidos a impurezas, o bien introducidos durante el depósito de las películas. Por otro lado, iniciar la discriminación de los materiales que pueden ser utilizados en dispositivos electroluminiscentes. Si un material dado presenta una señal fotoluminiscente intensa a temperatura ambiente, las probabilidades de que este material emita bajo una excitación eléctrica son mayores. Sin embargo, para

que esto ocurra se requiere que la película tenga buenas características eléctricas. Esto involucra una buena homogeneidad tanto en densidad volumétrica como en características dieléctricas, así como una baja densidad de estados electrónicos que pudieran propiciar la acumulación permanente de carga eléctrica en la película. Esta acumulación de carga generalmente interfiere con la eficiencia electroluminiscente al propiciar rompimientos dieléctricos destructivos. La tabla 3 muestra los diferentes materiales estudiados en nuestro laboratorio, las impurezas introducidas y el pico de emisión fotoluminiscente. Como posibles emisores en el azul destacan el ZnS impurificado con $TbCl_3$ y $AlCl_3$, en el verde el óxido de zinc intrínseco y el óxido de aluminio impurificado con Tb. El ZnSe impurificado con Ga tiene buenas posibilidades de emitir en el rojo.

Referencias

1. E. Tawnas Jr., W.F. Goode, *IEEE Spectrum* (julio 1978) 26.
2. T. Manuel, *Electronics* (Mayo 1987) 55.
3. C. Falcony, F. Sánchez, J. S. Helman, O. Zelaya, y C. A. Menezes, *J. Appl. Phys.* **56** (1984) 1752.
4. A. Ortiz, C. Falcony, M. García, y S. López, *Thin Solid Films* **165** (1988) 249.
5. C. Falcony, A. Ortiz, y A. Sánchez, en *Amorphous Silicon Technology*, MRS proc. series vol. 119 (1988).
6. D. Kruangam, M. Deguchi, Y. Hattori, T. Toyama, H. Okamoto, y Y. Hamakawa, MRS sp. meeting (1987).
7. A. Ortiz, C. Falcony, M. García, y A. Sánchez, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **20** (1987) 670.
8. C. Falcony, A. Ortiz, M. García, y J. S. Helman, *J. Appl. Phys.* **63** (1988) 2378.





Respuesta de la planta ante factores ambientales adversos

La sequía, la salinidad del suelo, el exceso de luz ultravioleta, las altas y bajas temperaturas, son factores ambientales que inducen la síntesis preferencial de proteínas en las plantas.



Foto de Pedro Hiriart

Eugenio Pérez Molphe Balch

Neftalí Ochoa Alejo

Introducción

A lo largo de su vida, las plantas se ven sometidas a un gran número de condiciones ambientales que no son las ideales para su desarrollo. A pesar de esto prosperan sobre casi la totalidad de la superficie te-

rrestre. Esta amplia distribución de la vida vegetal se da gracias a que las plantas cuentan con mecanismos muy eficientes para hacer frente a los factores ambientales adversos. A diferencia de los animales, los vegetales no tienen la capacidad de movimiento para huir u ocultarse cuando las condiciones de su medio ambiente no son favorables. Esta carencia de movilidad la han compensado desarrollando mecanismos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos a fin de enfrentar cualquier tipo de estrés ambiental que pudiese presentarse en su hábitat natural. Como ejemplo de ello pueden mencionarse las adaptaciones de las plantas que habitan en las zonas áridas para subsistir con poca agua.

El Dr. Neftalí Ochoa Alejo obtuvo su doctorado en química en la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Actualmente es profesor titular de la Unidad Irapuato del CINVESTAV. Su campo de investigación es el desarrollo de variedades de plantas por medio de técnicas de ingeniería genética. El Biólogo Eugenio Pérez Molphe Balch es estudiante de la maestría en biología vegetal de esta Unidad del CINVESTAV.

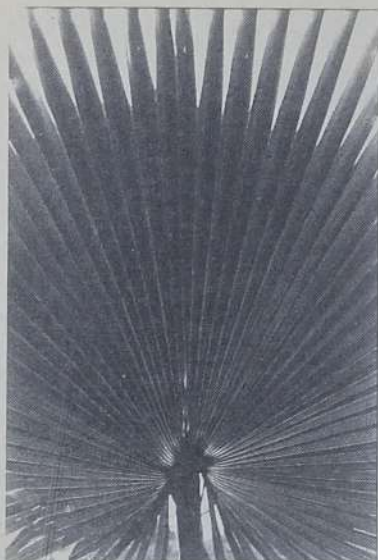


Foto de Pedro Hiriart

Actualmente se sabe bastante acerca de las adaptaciones a nivel morfológico y fisiológico, pero se desconoce mucho acerca de los mecanismos de tipo bioquímico con que cuentan los vegetales para hacer frente al estrés ambiental. El conocimiento preciso de dichos mecanismos sería de gran importancia ya que podría aplicarse en los programas de fitomejoramiento con el fin de otorgar a las plantas de interés agrícola un mayor grado de tolerancia ante fenómenos como la sequía y la salinidad del suelo.

Una de las respuestas bioquímicas de la planta ante el estrés ambiental es su inclinación a sintetizar ciertas proteínas, preferencia que va acompañada generalmente por una depresión en la síntesis de algunas de las proteínas preexistentes. Además de formar una parte considerable de la estructura celular, las proteínas son responsables de todos los procesos metabólicos dentro de la célula, pues todos se rigen por enzimas, que son catalizadores biológicos de reacciones químicas. La información genética de un organismo se traduce directamente en proteínas y por mediación de éstas (enzimas) se sintetiza todo el resto de las moléculas que lo conforman. Debido a ello la síntesis proteica determina el correcto funcionamiento del organismo. Como se mencionó, el estrés ambiental es capaz de originar cambios en los patrones de síntesis de proteína de las células expuestas. Estos cambios en los patrones

de síntesis proteica podrían tener un papel importante en los mecanismos de tolerancia, o bien ser solo un síntoma del daño o del desequilibrio metabólico de la planta sometida a estrés. Los factores ambientales con capacidad comprobada para inducir la síntesis preferencial de proteínas son: altas y bajas temperaturas, anaerobiosis, salinidad, déficit hídrico (sequía), luz ultravioleta y algunos metales pesados.^{1,2} En ciertos casos se conoce la identidad de las proteínas que se inducen así como su modo de acción; sin embargo, en la mayoría de los casos se ignora el papel de dichas proteínas dentro de los mecanismos de tolerancia, si es que tienen realmente alguno.

Proteínas inducidas por altas y bajas temperaturas

Las primeras proteínas inducidas por estrés ambiental que se estudiaron fueron aquellas que aparecen en respuesta a una elevación en la temperatura. Estas se descubrieron en la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*). Se observó que al someter las células de esta mosca a un incremento de temperatura de 25 C a 37 C, pocos minutos después cesaba la síntesis normal de proteínas y se iniciaba la síntesis de un juego nuevo de proteínas específicas.¹

Este mismo tipo de respuesta se encontró luego en otros grupos de organismos, incluyendo las plantas. La inducción de estas proteínas en plantas se da a los 39–41 C y va acompañada por una disminución en la síntesis de las proteínas existentes antes de la elevación de la temperatura. El control de la inducción se da a nivel transcripcional (síntesis de ARN mensajero guiada por el ADN del gen), mientras que la represión observada en la síntesis del resto de las proteínas se da a nivel traduccional (síntesis de la proteína guiada por el ARN mensajero).^{1,3} Se han aislado y secuenciado varios genes de plantas que codifican proteínas inducibles mediante altas temperaturas (por ejemplo el gen *hsp* 70 de maíz y el grupo de genes *hsp* 18 de soya), y se ha encontrado no sólo una gran homología entre ellos, sino aún entre genes y proteínas inducibles por calor en plantas y animales. Por ejemplo, el gen *hsp* 70 de maíz muestra un 75% de homología con su similar de *Drosophila*, mientras que tres

genes del grupo *hsp* 18 de soya muestran un 90% de homología entre ellos.¹ El mecanismo de regulación de tales genes se encuentra igualmente conservado entre los diversos grupos de eucariotes. Estudios hechos en maíz muestran que estas proteínas se sintetizan en todos los tejidos de la planta, a excepción del polen; curiosamente se ha observado que el polen en germinación es muy susceptible al calor.^{1,3} Ciertas proteínas inducibles por altas temperaturas lo son también por otros factores ambientales como el estrés osmótico, salinidad y algunos reguladores de crecimiento como el ácido abscísico (AA), etileno y varias auxinas (reguladores que promueven la elongación celular).⁴

En cuanto al probable papel fisiológico de estas proteínas, se sabe que confieren una cierta termotolerancia a la planta para sobrevivir un tiempo a temperaturas normalmente letales. Se ha comprobado la acumulación de dichas proteínas en plantas cultivadas en campo,¹ lo cual parece indicar que tienen un papel en la tolerancia a las altas temperaturas que se dan naturalmente en ciertas regiones; sin embargo, se desconoce su función exacta o el nivel en que actúan. Por otra parte, se ha visto también que las bajas temperaturas pueden alterar la síntesis proteica en algunas plantas (ej. *Brassica napus*).² La posible función de estas proteínas tampoco se conoce, aunque pudiera tratarse de enzimas que participan en la biosíntesis de compuestos que sirven a la célula como crioprotectores (ciertos polisacáridos y la sacarosa).

Proteínas inducidas por anaerobiosis

La anaerobiosis es otro factor ambiental que causa la represión de la síntesis del juego normal de proteínas seguida por una síntesis selectiva de otros polipéptidos. La anaerobiosis se da de manera natural en plantas que crecen en terrenos anegados. Esta carencia de oxígeno induce un juego distinto de proteínas comparado con el inducido por alta temperatura. En este caso sí se conoce la identidad de las proteínas inducidas, así como la función de ellas dentro del mecanismo de respuesta de la planta a la anaerobiosis. Las proteínas inducidas en condiciones anaeróbicas son enzimas, muchas de ellas participantes en la glucólisis, ruta metabólica



Foto de Pedro Hiriart

que permite a la planta obtener energía (ATP) en condiciones de baja oxigenación (por ejemplo la glucosa-6-fosfato isomerasa y la fructosa-1,6-difosfato aldolasa).¹ También se ha estudiado en maíz la inducción de la enzima alcohol deshidrogenasa (ADH), producto de los genes *adh* 1 y *adh* 2, la cual es la mayor enzima terminal de la fermentación en plantas, y es la responsable de reciclar el NAD^+ durante la anoxia. La fermentación alcohólica puede además contribuir a regular el pH del citoplasma durante la anaerobiosis al competir con la fermentación láctica, la cual acidifica el medio citoplasmático. Se sabe que la rápida represión de la síntesis de las proteínas preexistentes causada por la anaerobiosis se debe a la disociación de polisomas (complejos de ribosomas encargados de la síntesis proteica), ya que no se ha visto degradación del ARN mensajero. La respuesta a la anaerobiosis a nivel de síntesis proteica ha sido estudiada en maíz, arroz, sorgo, cebada, chícharo y zanahoria.¹

Inducción de proteínas por salinidad y sequía

La falta de agua y la salinidad del suelo son seguramente los dos factores ambientales que más limitan la producción agrícola. Estos dos fenómenos fre-

cuentemente se encuentran relacionados, ya que suelen presentarse juntos y dañan de forma similar a la planta. La salinidad es un exceso de iones en el suelo (especialmente Na^+), los cuales interfieren en el correcto desarrollo de la planta. Esta es una limitante agrícola de importancia en muchas regiones, sobre todo en zonas áridas y tierras irrigadas donde el uso de agua de mala calidad para riego propicia la paulatina y casi irreversible acumulación de sales en el suelo (la llamada salinización secundaria). La planta responde a las condiciones de salinidad mediante varios mecanismos, uno de ellos es la síntesis de proteínas que, al parecer, forman parte de la respuesta bioquímica y fisiológica de la planta ante el estrés por salinidad. Al respecto hay varios estudios ya publicados, principalmente en tabaco y cebada.^{5,6} Se ha encontrado en todos los casos un efecto de la sal en la síntesis proteica, coincidiendo la mayoría de los trabajos en la inducción de una proteína con un peso molecular de 26 kilodaltones (kDa) por efecto de la sal. Esta proteína se purificó a partir de células de tabaco adaptadas a crecer bajo condiciones de salinidad. A dicha proteína se le llamó *osmotina* debido a que es inducida por un estrés osmótico. La osmotina llega a representar el 12% de la proteína total de la célula adaptada al medio salino. Es una proteína de 26 kDa, con un punto isoeléctrico de alrededor de 8.2. Contiene varios puentes disulfuro en su estruc-

tura terciaria y una alta proporción de prolina en su estructura primaria. La osmotina se presenta dentro de la célula en forma soluble e insoluble, y se sabe que se localiza principalmente en inclusiones densas en la vacuola; en mucho menor escala se le encuentra libre en el citoplasma.⁷ En cuanto a su secuencia, la osmotina muestra similitud con otras proteínas vegetales involucradas en mecanismos de defensa como la taumatina, el inhibidor de tripsina/ α -amilasa de maíz, una proteína inducida en tabaco por el virus del mosaico del tabaco, y una proteína de 24 kDa inducida en tomate por sal, cuyo gen también ha sido aislado y secuenciado.⁸ La regulación en la síntesis de osmotina se da al parecer en dos niveles diferentes: el primero de ellos controlado por AA, el cual induce la transcripción del ARN mensajero de la osmotina; y un segundo nivel regulado por un estrés de tipo osmótico (sequía o salinidad) que estimula la traducción de dicho mensajero con la consecuente acumulación de osmotina.⁹

En cuanto al papel fisiológico de la osmotina, se cree que puede estar involucrada en el proceso de ajuste osmótico, esto es, una respuesta celular generalizada al estrés por salinidad y sequía, que consiste en el aumento de la concentración interna de solutos en relación con la del medio externo para permitir que el agua fluya de afuera hacia dentro de la célula (el agua siempre fluye de una solución menos concentrada a una con mayor concentración de solutos). Aún se desconoce el papel de la osmotina en dicho proceso. Se ha visto una estrecha correlación entre la acumulación de osmotina y la tolerancia a la salinidad en células de tabaco,¹⁰ por lo que se cree que tiene un papel activo en la resistencia a salinidad y pudiese tenerlo también en la tolerancia a la sequía.

La sequía es quizá la mayor limitante a que se enfrenta la producción agrícola, que se acentúa aún más en países como el nuestro donde predomina la agricultura de temporal. Se han estudiado con detalle los mecanismos que confieren a la planta un cierto grado de tolerancia ante el déficit de agua con el fin de introducir dichos mecanismos a plantas de interés agrícola que no cuentan con ellos o para acrecentar la eficiencia de aquellas que los poseen. Los mecanismos hasta hoy menos comprendidos son los que se dan a nivel bioquímico. Se han encontrado algunas proteínas inducibles



Foto de Pedro Hiriart

por déficit hídrico en plantas, además de la mencionada osmotina,¹¹ y dada la importancia de este fenómeno ambiental la investigación continúa.

Otros factores que inducen proteínas específicas

Otros tipos de estrés ambiental capaces de inducir proteínas en plantas son la luz ultravioleta (UV) y la presencia de algunos metales pesados en el suelo. La identidad y función de ambos tipos de proteínas se conoce ya con exactitud. La luz UV induce enzimas de la biosíntesis de flavonoides, que son compuestos que actúan en la planta a manera de filtros impidiendo la penetración de dicha radiación hasta los cromosomas, donde provocaría daño. Los metales pesados, como el cobre y el cadmio en el suelo, inducen la síntesis de proteínas que tienen la capacidad de secuestrarlos, impidiendo así que queden libres en el citoplasma de las células de la planta.¹

Además de los factores ambientales aquí mencionados, los componentes bióticos del ambiente en que se desarrolla la planta son capaces de inducir en ésta la síntesis de proteínas específicas. Un ejemplo de esto son las proteínas producidas como respuesta a patógenos (PRP), las cuales son motivo de intenso estudio por su posible papel en el mecanismo de defensa de la planta y las inmediatas aplicaciones prácticas que surgirían del conocimiento de su modo de acción en el campo de la fitopatología.

Perspectivas

La importancia del conocimiento que se adquiere sobre los mecanismos de defensa de las plantas radica en la posibilidad de aplicarlo al mejoramiento genético de las plantas agrícolas que sostienen la vida humana. Cualquier avance que se logre en la tarea de dar mayor resistencia a los cultivos ante los fenómenos ambientales adversos, por modesto que sea, puede traducirse en una mayor disponibilidad de alimentos y una elevación del nivel de vida en la región donde se aplique. En particular, el

estudio de los mecanismos de resistencia basados en proteínas adquiere hoy una importancia mayor gracias al desarrollo de las técnicas de biología molecular, las cuales nos dan la posibilidad de aislar y clonar (multiplicar) genes de cualquier organismo, y nos permiten su posterior transferencia a plantas. Con la transferencia de genes podrían producirse las proteínas responsables del mayor grado de tolerancia en plantas que normalmente no las posean y de este modo adquirirse la resistencia. Así, recientemente fue reportada la obtención de plantas transgénicas (aquellas que llevan y expresan genes introducidos en forma artificial a su genoma) de *Nicotiana tabacum* y *B. napus* resistentes al cadmio, a través de la transferencia y expresión constitutiva del gen que codifica una metalotioneína humana, que es una proteína rica en el aminoácido cisteína, capaz de secuestrar metales pesados.¹²

Uno de los aspectos por resolver es el referente a la función de las proteínas que se inducen por los factores abióticos. La determinación del papel que desempeñan estas proteínas en la planta respecto de la tolerancia al estrés se podrá abordar de dos maneras diferentes: a) por medio de la sobreexpresión o la expresión constitutiva del gen que codifica alguna de las proteínas inducidas por el estrés; b) a través del bloqueo específico de la expresión del gen utilizando un ARN de antisentido que



Foto de Pedro Hiriart

sea complementario al ARN mensajero de dicho gen en la planta.¹³ En el primer caso, la transferencia de un gen que codifica una proteína inducida por estrés a una planta sensible le deberá conferir una mayor resistencia, si es que realmente tiene un papel significativo en los mecanismos de tolerancia. Por otro lado, si el bloqueo de la expresión de un gen específico en una planta resistente conduce a la generación de una planta sensible, eso también sería indicativo de la participación del producto del gen en la resistencia. Sin embargo, es necesario mencionar que podrán presentarse limitaciones en aquellos casos en los que los mecanismos de resistencia sean demasiado complejos e involucren a los productos de varios genes (características poligénicas), en donde cada uno puede actuar de manera independiente para dar la respuesta final o puede actuar de manera coordinada para enfrentar al estrés.

Por último, es conveniente dirigir esfuerzos al entendimiento de los mecanismos moleculares de la regulación a niveles transcripcional y postranscripcional de la expresión génica controlada por factores ambientales. Ello podrá conducir a la adopción de estrategias específicas para la expresión apropiada de los genes de resistencia en plantas como una alternativa de mejoramiento genético de los cultivos de importancia agrícola. ☀

Bibliografía

1. Sachs, M.M., Ho, T.D. (1986). Alteration of gene expression during environmental stress in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **33** 163-203.
2. Meza-Basso, L., Alberdi, M., Raynal, M., Ferrero-Cadinanos, M. L., Delseny, M. (1986). Changes in protein synthesis in rapeseed (*Brassica napus*) seedlings during a low temperature treatment. *Plant Physiol.* **82** 733-738.
3. Cooper, P., Ho, T.D. (1983). Heat shock proteins in maize. *Plant Physiol.* **71** 215-222.
4. Heikkilä, J.J., Papp, J.E.T., Schultz, G.A., Bewley, J.D. (1984). Induction of heat shock protein messenger RNA in maize mesocotyls by water stress, abscisic acid and wounding. *Plant Physiol.* **76** 270-274.
5. Ericson, M.C., Alfinito, S.H. (1984). Proteins produced during salt stress in tobacco cell culture. *Plant Physiol.* **74** 506-509.
6. Hurkman, W.J., Tanaka, C.K. (1987). The effects of salt in the patterns of protein synthesis in barley roots. *Plant Physiol.* **83** 517-524.
7. Singh, N.K., Bracker, C.A., Hasegawa, P.M., Handa, A.K., Buckels, M., Hermodson, M.A., Pfankoch, E., Regnier, F.E., Bressan, R.A. (1987). Characterization of osmotin. *Plant Physiol.* **85** 529-536.
8. King, G.A., Turner, V.A., Hussey, C.E., Wurtele, E.S., Lec, S.E. (1988). Isolation and characterization of a tomato cDNA clone which codes for a salt induced protein. *Plant Mol. Biol.* **85** 529-536.
9. Singh N.K., Nelsoni, D.E., Kuhn, D., Hasegawa, P.M., Bressan, R.A. (1989). Molecular cloning of osmotin gene and regulation of its expression by ABA and adaptation to low water potential. *Plant Physiol.* **90** 1096-1101.
10. LaRosa, P.C., Singh, N.K., Hasegawa, P.M., Bressan, R.A. (1989). Stable NaCl tolerance of tobacco cells is associated with enhanced accumulation of osmotin. *Plant Physiol.* **91** 855-861.
11. Vartanian, N., Damerval, C., deVienne, D. (1987). Drought induced changes in protein patterns of *Brassica napus* var *oleifera* roots. *Plant Physiol.* **84** 982-992.
12. Misra, S., Gedamu, L. (1989). Heavy metal tolerant transgenic *Brassica napus* L. and *Nicotiana tabacum* L. plants. *Theor. Appl. Genet.* **78** 161-168.
13. Schöffl, F. (1988). Genetic engineering strategies for manipulation of the heat shock response. *Plant Cell Environ.* **11** 339-343.

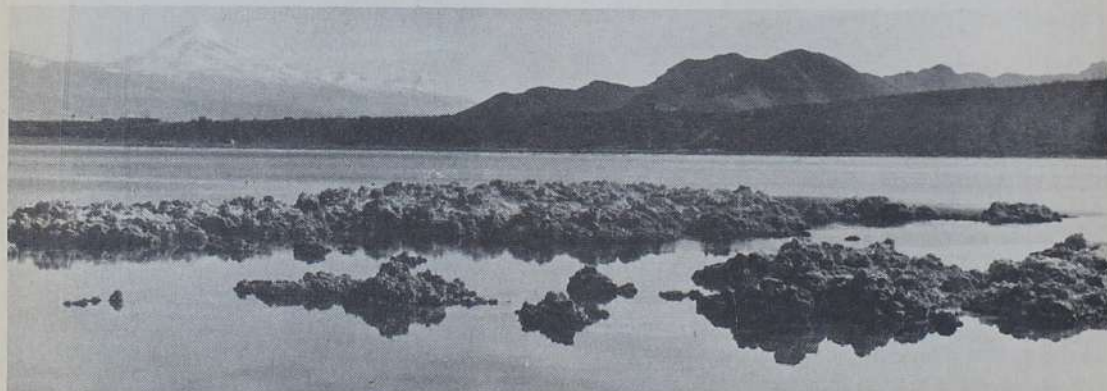


Foto de Pedro Hiriart

*Perfiles de investigación***Mauricio Russek, in memoriam***Foto de Gerardo Suter***Pablo Rudomín**

Nunca me imaginé que algún día tendría yo que participar en el homenaje póstumo de mi buen amigo y colega Mauricio Russek. Siempre pensé que allí estaría, hasta el fin de los tiempos, con su sonrisa amable y su generosidad intelectual. Paradoja en quienes, por lidiar todos los días con la vida y con la muerte, olvidamos la fragilidad de la propia existencia.

Estamos acostumbrados a pensar que todo sucede a los demás. Son otros los que envejecen, son otros los que mueren. Pero cuando la muerte ines-

perada se lleva al amigo, sentimos un dolor profundo, que nos recuerda, punzante y lacerante, que ya no somos dueños de nuestro tiempo. Vienen a la mente todas las palabras que quisimos decir y que no dijimos, todo aquello que quisimos hacer y que no hicimos. Nos percatamos súbitamente que ya no hay marcha atrás, y que sólo podemos vivir del recuerdo.

Nos hemos reunido aquí para recordar hoy, a Mauricio Russek y para solidarizarnos con el dolor inmenso de su familia. De Ida, mi dulce amiga, por la pérdida de su compañero; de Eugenia, por la ausencia prematura del padre; y de Jorge, por la pérdida de su único hijo... Pérdida irreparable que jamás habrá de olvidarse. Yo quiero expresar mi pena agradeciendo a la vida el regalo que nos hizo al darnos la presencia y la amistad de Mauricio

El Dr. Pablo Rudomín es profesor titular del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del CINVESTAV. Este texto fue presentado por el Dr. Rudomín en el homenaje póstumo al Dr. Mauricio Russek el 6 de febrero de 1990.

Russek. Muchos nos vimos favorecidos por ella. Su familia, sus amigos, sus estudiantes, sus colaboradores, su escuela, su país y la fisiología.

Conocí a Mauricio Russek cuando cursaba yo el primer año de la carrera de químico bacteriólogo en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, allá en el viejo casco de Santo Tomás. Era, si bien recuerdo, 1949 o 1950. ¡Hace ya 40 años! Hacía poco que él había terminado los cursos y ya estaba trabajando, en el laboratorio de Alvarez Buylla, en lo que posteriormente sería su tesis de licenciatura. Aún lo recuerdo: trataba de condicionar la taquicardia producida por la anoxia histotóxica a raíz de una inyección de cianuro. Los experimentos eran relativamente sencillos: se inyectaba cianuro al mismo tiempo que se hacía sonar un timbre. La inyección de cianuro producía taquicardia. Después de varias asociaciones, el sonido del timbre reproducía los efectos del cianuro. Hubo además un hecho interesante. El animal experimental perdía el apetito, y esta pérdida se prolongaba por un buen tiempo. Mauricio Russek observó posteriormente que bastaba traer al animal a la cámara de reflejos para que éste perdiese el apetito. Creo que desde entonces surgió su interés por los mecanismos involucrados en la regulación del apetito, problema al que dedicó un buen número de años y en el que se convirtió en experto a nivel internacional.



Foto de Gerardo Suter

Recuerdo la pasión con la que Mauricio Russek me hablaba de sus resultados y de cómo yo, estudiante de primer año, me maravillaba ante el cúmulo de conocimientos que manejaba. No había forma de discutir con él porque siempre sacaba una cita, una referencia que recordaba con detalle, y que esgrimía con destreza para demostrar que él tenía la razón. Y frecuentemente la tenía. Pero no por eso era soberbio. Era vehemente cuando estaba convencido de algo, y era generoso cuando se daba cuenta que había estado equivocado.

A finales de 1954 Mauricio Russek se recibió de biólogo, con mención honorífica. Ya entonces participaba de profundas inquietudes sociales, y veía al mundo como algo perfectible. Por ello le pareció atractivo vivir en el kibbutz, en Israel. Pero también deseaba continuar en la investigación. Con miras a hacer un laboratorio de fisiología en el kibbutz adquirió, con su propio pecunio, un osciloscopio Dumont, construyó un estimulador de tiratrones y algunas cosas más que se me escapan de la memoria. Ya en el kibbutz empezó a montar el laboratorio en su tiempo libre. Realmente nunca supe qué hizo ni cuánto avanzó. Pero sé que abrigaba la esperanza de que, con el tiempo, podría trabajar en investigación y ser a la vez miembro del kibbutz. Utopía, ciertamente, pero ¿qué sería de todos los que hacemos arte o ciencia si no pudiésemos soñar?

En 1955 Mauricio Russek e Ida dejaron el kibbutz, y en el camino de regreso a México visitaron varios laboratorios de fisiología en Inglaterra, Francia, Suiza e Italia. En 1956 se quedaron por 4 meses en el Instituto Marey del Colegio de Francia, en París, y en 1957 Mauricio Russek pasó un año en el departamento de Fisiología del Karolinska Institute de Estocolmo, trabajando en el laboratorio del Prof. Bernhardt. Durante ese tiempo Mauricio Russek estudió la acción de estímulos periféricos sobre las postdescargas epilépticas. Estos estudios lo llevaron a concluir que la extinción postepiléptica no se debía a una fatiga de las neuronas que descargaron en la convulsión, sino a la manifestación de un proceso de inhibición activa mediada por la formación reticular.

Russek regresó a México a fines de 1957, nuevamente a la Escuela de Ciencias Biológicas,

donde permaneció hasta la fecha. Creo que su decisión de regresar se debió, en gran parte, a que Alvarez-Buylla, su maestro, se recuperaba en aquel entonces de un accidente que le había imposibilitado trabajar por un tiempo. También regresó porque le pareció importante colaborar en el esfuerzo de mantener la investigación y la enseñanza de alto nivel en la Escuela. Mantuvo ese compromiso hasta el fin de sus días, a pesar del poco apoyo que tuvo para desarrollar sus investigaciones.

En Ciencias Biológicas continuó con los estudios que había iniciado cuando estaba realizando su tesis de licenciatura. Encontró que la inhibición de los reflejos condicionales producida por el cianuro no era causada por una deficiencia de oxígeno en el cerebro, sino que era una reacción compensadora que disminuía las actividades no relacionadas con la compensación de la hipoxia. Dado que esta inhibición podía ser condicionada, concluyó en 1959 que el efecto inhibitorio era causado por la información sensorial que llegaba al sistema nervioso central.

Inspirado en la mejor tradición fisiológica, heredada de la escuela integracionista rusa a través de Alvarez-Buylla, Mauricio Russek dedicó los 14 años siguientes a estudiar las reacciones compensadoras de la deficiencia de oxígeno. Visto en retrospectiva, creo que estos estudios son un modelo de análisis que muestran la complejidad del control nervioso y de cómo todas las vías reflejas se coordinan, en caso de emergencia, a fin de lograr la sobrevivencia del organismo.

En un texto escrito recientemente Mauricio Russek resumió sus contribuciones de esa época: "las señales de los quimiorreceptores que informan de la deficiencia de oxígeno (verdadera como en el caso de la disminución de oxígeno en el aire, o falsa como en el caso de cianuro) llegan al sistema nervioso central y producen una inhibición del centro vagal y una estimulación del centro cardioexcitador simpático, lo cual se traduce en un aumento importante de la frecuencia cardíaca. Simultáneamente se estimula el centro respiratorio, aumenta la amplitud respiratoria y más discretamente la frecuencia de la misma. También se cierran las arterias de la piel y del tubo digestivo y se abren las del cerebro y músculos. Las reacciones anteriores traen

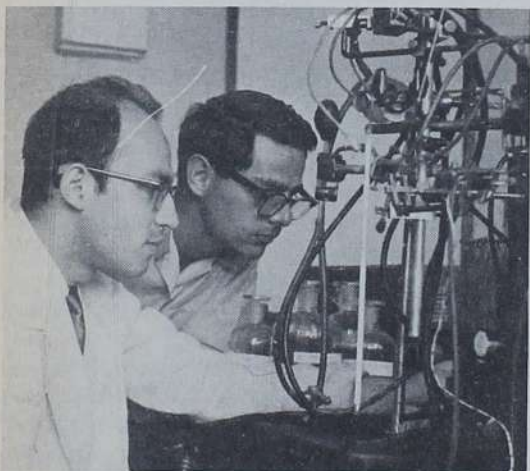
como consecuencia que una mayor cantidad de aire y de sangre pase por los pulmones y una mayor cantidad de sangre vaya a los tejidos que la necesitan (cerebro y músculos) sin que se utilicen en los tejidos que pueden tolerar deficiencias de oxígeno más o menos prolongadas (piel, tubo digestivo, riñón). A la vez, las mismas señales excitan la formación reticular y desincronizan el electroencefalograma. Durante esta fase desaparecen los reflejos condicionales salivales y motores y las descargas electroconvulsivas se acortan grandemente. Todo esto aumenta importantemente el trabajo realizado por el cerebro, lo cual se manifiesta en un considerable aumento del consumo de oxígeno".

Hay muchas lecciones que podemos aprender de estos hallazgos. Una de ellas es que en condiciones de crisis, los esfuerzos del organismo se dirigen a mantener funcionando a sus elementos más lábiles y necesarios: las neuronas en este caso. Qué contraste con lo que son muchas sociedades humanas que se abocan a minimizar, o incluso a eliminar, a los que piensan, y a los que no se sienten satisfechos con el conocimiento actual y con la forma en que vivimos. La sociedad tiene muchas formas de neutralizarlos. Para los que hacen ciencia, como lo fue el caso de Mauricio Russek, y como ha sido el caso de muchos otros, la receta ha sido simple. No darles elementos para trabajar y asfixiarlos con una carga docente excesiva.

De 1960 a 1964 Mauricio Russek colaboró con Guillermo Carbajal, Guillermo Massieu y Ricardo Tapia en el desarrollo de drogas anticonvulsivas. La estructura molecular de estas sustancias fue ideada para que poseyeran la capacidad de inhibir la enzima que destruye el ácido gamma amino butírico, un inhibidor de la actividad central. Estas sustancias poseen la capacidad de inhibir a la enzima *in vitro* y poseen una potente acción anticonvulsiva sobre los ataques epileptiformes producidos por electrochoque, por la tiosemicarbazida y el metrazol. Además de la importancia práctica de los resultados obtenidos, este estudio sirvió como base para un ensayo teórico sobre los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de la epilepsia, en el cual se emite una hipótesis general que engloba los numerosos datos contenidos en la extensa literatura en este campo. Según esta hipótesis, los ataques epi-

lépticos se producen cuando un foco de excitación es capaz de vencer a la inhibición activa que regula y localiza las distintas actividades del cerebro. El sistema reticular de vigilia sería el responsable de la integración de esta inhibición activa y el transmisor utilizado sería un derivado del ácido gamma amino butírico.

Quizás la contribución más sobresaliente que Mauricio Russek ha aportado es sobre la regulación de la ingestión de alimento, tema del que se ocupó desde 1960 a la fecha, y por lo que recibió reconocimiento no sólo nacional sino internacional. En 1960 encontró que la inyección intraperitoneal de adrenalina produce una marcada anorexia (falta de apetito) asociada a un aumento de frecuencia cardíaca y de azúcar en la sangre. La anorexia se condiciona, pero no la taquicardia y la hiperglucemia, ya que estas dos últimas se deben a una acción directa de la adrenalina sobre los efectores. El aumento de frecuencia cardíaca y la posible parálisis intestinal no parecen ser responsables de la anorexia, ya que la atropina también aumenta la frecuencia cardíaca y produce parálisis intestinal pero no produce anorexia. Los efectos calorígenéticos, lipolíticos y una acción directa sobre el sistema nervioso central tampoco parecen estar relacionados con la anorexia, ya que la noradrenalina que produce esos efectos con mayor intensidad produce menor anorexia.



Mauricio Russek con José Ramírez de Arellano (izq.) en el Instituto Nacional de Cardiología, poco antes de su partida a Israel en 1952.

En 1968 Mauricio Russek y sus colaboradores mostraron que la inyección intraperitoneal de glucosa produce mayor anorexia que la inyección intravenosa. Esta observación es al parecer incompatible con la teoría glucostática clásica, que considera que los glucorreceptores responsables de la regulación alimenticia se encuentran únicamente en el hipotálamo ventromedial. Apoya en cambio la posible existencia de *glucorreceptores hepáticos* que informan al cerebro de la reserva de glucógeno. Estos receptores se activarían al disminuir dicha reserva por abajo de cierto nivel. Estas señales de "hambre" iniciarían las reacciones alimentarias del animal. Superpuesto a este mecanismo básico estaría el propio condicionamiento del hambre (apetito) que adelantaría la ingestión y evitaría así el agotamiento de reservas; y el condicionamiento de la saciedad, que frenaría la ingestión antes de que fuese excesiva.

En apoyo de la existencia de glucorreceptores hepáticos, Mauricio Russek encontró que la inyección de pequeñas dosis de glucosa y adrenalina en la vena porta (que va al hígado) producía una reducción de la glucosa sanguínea, mientras que las mismas dosis inyectadas en una vena periférica no producían este efecto. Posteriormente, Mauricio Russek y sus colaboradores analizaron esta propuesta en forma más directa. En perros en ayuno con cánulas crónicas implantadas en una rama de la vena porta y en la vena yugular observaron que la inyección de glucosa directamente al hígado producía saciedad completa por 1 a 2 horas. Sin embargo, la misma dosis de glucosa inyectada por la yugular no producía cambio en el comportamiento alimenticio. En los mismos experimentos observaron que sales de amonio inyectadas en la porta producían mayor anorexia (hasta 6 veces) que la dosis equimolar de glucosa.

Esta observación modificó la idea que se tenía de los receptores hepáticos, que, según Russek, parecen detectar no sólo las reservas de glucosa sino también las proteínas. Ello explicaría la mayor saciedad producida por las proteínas, que es la base de las dietas "bajas en carbohidratos" usadas para reducir. En 1976-1977, en colaboración con Racotta, Russek sugirió que los llamados glucorreceptores hepáticos detectan en realidad los niveles de piruvato hepático, los cuales dependen tanto de la

concentración de glucógeno en los hepatocitos como de la glucosa y aminoácidos glucogénicos que toman de la sangre. El hambre surgiría cuando el piruvato disminuyera hasta un valor crítico, lo que indicaría que no hay suficiente absorción intestinal ni suficiente glucógeno hepático disponible, y tampoco suficiente lactato y aminoácidos provenientes del músculo. Esta hipótesis explicaría la anorexia producida por el ejercicio y la producida por el ayuno prolongado.

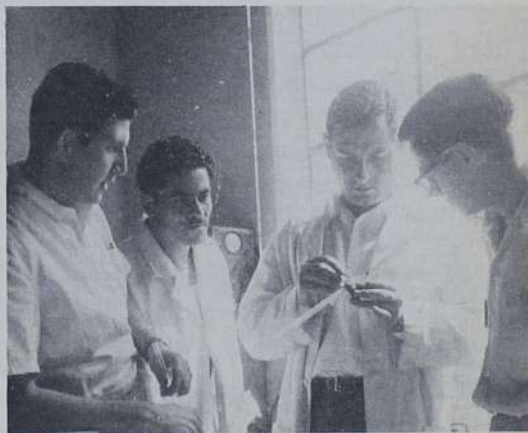
La posible existencia de glucorreceptores hepáticos propuesta por Russek fue recibida inicialmente con escepticismo por los expertos en el área. Una buena parte de la carrera científica de Mauricio Russek fue dedicada a documentar su existencia. El escepticismo es un proceso normal de la actividad científica y debe verse como el motor que incita a mejorar los diseños experimentales y a encontrar pruebas más convincentes. Se constituye en una lucha apasionada y de buena lid, en la que no hay triunfador ni derrotado, sino esclarecimiento y mayor conocimiento. Es esta lucha la que foguea al verdadero científico y la que le da talla internacional. Porque para estar en la arena, en donde actúan las grandes ligas, hay que tener ideas de estatura, y saber pelear. Y Mauricio Russek tuvo la estatura y supo pelear, y llegó a ser reconocido como uno de los expertos internacionales en la regulación del apetito.

En 1965 fue nombrado editor regional de *Physiology and Behavior*. En 1970 recibió el Premio de Ciencias de la Academia de la Investigación Científica. En 1974 fue nombrado Presidente de Sesión en el Congreso Internacional de Ciencias Fisiológicas en Nueva Delhi, India. En 1975 fue nominado, por decreto presidencial, Profesor de la Universidad Claude Bernard de la Universidad de Lyon, Francia, y en 1976 recibió una medalla de la misma universidad en reconocimiento a su labor. En 1981 recibió una mención especial otorgada por el jurado del Premio Bernardo Houssay de la OEA. En 1983 fue invitado nuevamente a fungir como presidente de una conferencia especial en el Congreso Internacional de Ciencias Fisiológicas en Sidney, Australia. En 1984 fue nombrado Profesor Titular del departamento de Psicología de la Universidad de Pittsburg, Pennsylvania, así como Investigador Nacional, Nivel III, del Sistema Nacional

de Investigadores, y durante los últimos años miembro de una de las comisiones dictaminadoras del propio Sistema Nacional de Investigadores.

Termino con la sensación de que Mauricio Russek fue el capitán intrépido que dirigió un barco muchas veces a punto de naufragar. Hizo lo que estuvo a su alcance, que fue una enormidad, considerando el poco apoyo que tuvo para su trabajo. Fue generoso con su tiempo y con sus conocimientos. Se dio a sus estudiantes y a sus colegas con pasión. Sobrevivió a la tragedia inmensa de haber perdido un hijo, y mantuvo su fe y optimismo en el futuro de la ciencia y en el futuro del país. Creo sinceramente que el mejor homenaje que le podemos hacer es luchar para que el grupo que Mauricio encabezó pueda seguir trabajando y preparando a los buenos profesionistas que tanto necesita el país para su desarrollo. Que no naufrage la buena investigación que se hace en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, que sigue siendo, a pesar del tiempo y del deterioro, una de las estrellas más brillantes del Politécnico.

Muchas gracias Mauricio, por habernos dado la oportunidad de compartir ese camino difícil y azaroso de la lucha por el conocimiento y la verdad en un país que se esfuerza por decidir su propio destino y que ha aceptado generosamente a todos los que han venido, de los distintos confines de la tierra, en búsqueda de justicia y libertad.



De izq. a der.: Pablo Rudomín, Serafín Piña, Ramón Álvarez Buylia y Mauricio Russek (1954).

tica. Cualquier análisis del problema pedagógico de la educación (incluyendo la modificación de "contenidos y métodos") que no tome en cuenta la estructura escolar y material dentro de la cual trabajan los docentes, tendrá pocas posibilidades de incidir en la calidad educativa cotidiana de las escuelas. Por lo tanto, he optado por tratar el problema de la primaria de forma más integral.

El contexto de las acciones curriculares: ¿una primaria universal?

Recordemos que México está aún lejos de tener una primaria completa universal: 2% de la población infantil no tiene acceso a la escuela. De cada 100 niños que ingresan a primero, 54 terminan la primaria en seis años; los demás enfrentan reprobación (22% antes de llegar a 3o grado) y probable deserción (tal vez 5% anual). Las proyecciones realizadas por la propia SEP prevén un ligero aumento en el índice de eficiencia terminal, (a 63% para el año 2000) de continuar las actuales tendencias, aunque hay razones para creer que se trata de una tendencia decreciente¹.

El PME anuncia la universalización de la primaria, sin comprometerse en metas cuantitativas específicas, aunque propone duplicar la eficiencia terminal en las escuelas en zonas indígenas y rurales, que actualmente es del orden de 20%. Para ello, el PME plantea una estrategia que parece centrarse principalmente en acciones externas y paralelas al sistema escolar (complementarias, compensatorias, preventivas, pre-escolares, iniciales, asistenciales, remediales, especiales, de adultos y adultitos, televisivas, comunitarias, abiertas) con intención de solucionar un problema que se genera dentro de la escuela formal. La hipótesis implícita es que la escuela formal no puede mejorar su eficiencia terminal y que se requieren diversos modelos alternativos, innovadores, flexibles y económicos para resolver el problema.

Esta de hecho fue una de las estrategias puestas en práctica a fines de los años setenta e inicio de los ochenta, cuando se contaba con mayores re-

ursos que los actualmente disponibles. Se privilegiaron proyectos generados y operados en dependencias descentralizadas o en organismos no gubernamentales, fuera del sistema escolar formal (Conafe, INEA, Cebis, etc.). En parte esta medida se debía a la inercia de las burocracias educativas y sindicales, entramadas en una misma estructura de poder, que ha desalentado y obstaculizado tanto proyectos generados por grupos técnicos externos al magisterio, como iniciativas de grupos de maestros desde dentro de dependencias oficiales, normales y escuelas. No obstante, la estrategia de "sacarle la vuelta" a la burocracia y a la escuela formal también tuvo desventajas.

Si bien los proyectos "para-escolares" permiten desarrollar y diversificar modelos pedagógicos, tienden a monopolizar recursos financieros, técnicos y humanos que se restan al esfuerzo escolar (hay señales de que esto empieza a pasar en el proceso de la modernización actual). Generalmente no repercuten, como se suponía en un principio, en la calidad de las primarias regulares y en la estructura del sistema escolar, aun en el caso de operar con maestros y en escuelas (Pacaep, Primaria intensiva, etc.). La expansión del nivel preescolar durante el inicio de los ochenta (de 10% a 60%) no modificó los índices de reprobación escolar en la primaria. Algunos programas (Primaria abierta, Cursos comunitarios, Primaria para todos, etc.) ampliaron la cobertura, apoyando la meta de ofrecer inscripción a casi la totalidad de la población demandante, pero no lograron modificar sustancialmente los índices de eficiencia terminal.

Es probable que este tipo de proyectos alternativos encuentre especial apoyo en el proceso de modernización porque son coherentes con dos tendencias del actual régimen: la privatización y la apelación a la solidaridad. Sin embargo, no resolverán el problema de la primaria.

Para universalizar la primaria es necesario concentrar esfuerzos y recursos financieros, técnicos y humanos, en las 78,056 escuelas primarias públicas del país. A fin de poder reducir significativamente los índices de reprobación/deserción no será suficiente redefinir el currículum de la primaria o descentralizar el servicio. La condición necesaria para cualquier modificación efectiva de contenidos

y métodos es reestructurar la administración y la organización escolar y modificar aquellos factores que propician el abandono de la escuela (tanto de alumnos como de maestros), así como el deterioro de la calidad educativa. El PME da poca atención a la dimensión de la organización escolar.

Por ejemplo, se sabe que los alumnos que repueban varias veces se desaniman y pierden el apoyo familiar para continuar. La reprobación ocurre sobre todo en los primeros dos años, dado el alto porcentaje de niños que, según criterios escolares diversos, no aprende a leer y a escribir en los nueve meses reglamentarios. En lugar de "culpar a la víctima", mediante teorías de deficiencia cultural, es hora de trasladar la responsabilidad a la escuela, redefiniendo a dos años el periodo en el cual se puede aprender a leer sin ser sometido a la decisión de promoción-reprobación. Esta medida, junto con otras como la reducción del tamaño de grupos y el suministro masivo de materiales de lectura, puede reducir significativamente los índices de fracaso escolar.

Uno de los factores decisivos de la calidad educativa es el tiempo. La carga de trabajo administrativo y operativo de los maestros de grupo ha reducido a escasas dos horas la jornada escolar efectiva frente al grupo. Es imprescindible adoptar

medidas para ganar y defender el tiempo de enseñanza: simplificar la documentación y la administración, prever tiempos para las actividades de capacitación y las reuniones, financiar los costos de operación de la escuela sin afectar el tiempo de los maestros de grupo y, finalmente, ampliar la jornada escolar sin incrementar el tamaño de los grupos y ofreciendo comidas escolares. El PME plantea pocas medidas en este sentido, aunque aparentemente algunas se empiezan a probar en ciertas zonas escolares.

Para privilegiar la atención hacia aquellas zonas que presentan los índices más bajos de retención, es esencial considerar la magnitud del problema de las escuelas que no corresponden al modelo completo urbano. La estadística de la SEP trata a estas primarias bajo categorías ambiguas, dificultando así la estimación. No obstante, es probable que una de cada tres escuelas públicas del país sea unitaria, incompleta o tenga maestros con dos o más grupos². Desde luego, se trata de escuelas de poca población, para las cuales la solución no sería enviar un maestro para cada grado. Pero justamente son las escuelas con más baja eficiencia terminal. La ausencia de oferta escolar completa explica gran parte del problema de retención.

El PME ha previsto completar gran parte de estas escuelas y convertirlas en bidocentes y tridocentes, pero no parece delinear acciones para resolver los múltiples problemas laborales, administrativos y pedagógicos involucrados, ni estrategias que enfrenten la situación especial de niños migrantes o trabajadores dentro del sistema escolar formal. No se trata de establecer un sistema o currículum diferencial, lo cual perjudicaría equivalencia y transferencia entre escuelas, sino de diseñar estrategias que permitan que las escuelas que atienden a esta población ofrezcan educación primaria consistente y de calidad.

Una estrategia de apoyo a las zonas prioritarias del país debe incluir mayor pago a maestros e instructores (por doble turno, compensación por no cambiarse de escuela, etc.) para evitar la migración de docentes a las zonas urbanas, simplificación administrativa, capacitación para el manejo de dos o más grados de manera creativa, entrega oportuna de libros y materiales escolares en cantidades signi-



ficativas, apoyo a iniciativas estatales y locales que mejoren la educación rural, previsión de la situación escolar de los niños migrantes y trabajadores con mecanismos administrativos flexibles, entre otras medidas.

La eficiencia terminal se ve afectada además por la incompatibilidad entre la estructura escolar actual y la sobrevivencia de las familias, y de los niños, en las condiciones socio-económicas actuales. Los costos efectivos de la escuela gratuita (materiales, cuotas, colaboraciones, ropa, transporte, etc.), la necesidad de trabajar a temprana edad (se reportan 12 millones), la necesidad de trasladarse continuamente en busca de trabajo, la necesidad de convivir en grupos que generan normas y prácticas incompatibles con la escuela (por ejemplo, pandillas), el costo y esfuerzo diario por sobrevivir en la ciudad y en el campo son factores que, lejos de descartarse como exógenos, tendrían que tomarse en cuenta para rediseñar la organización escolar, asignar prioridades a los recursos y solicitar una participación social equitativa, es decir, que no recaiga sobre los más necesitados.

La calidad educativa, los contenidos de la primaria y los libros de texto

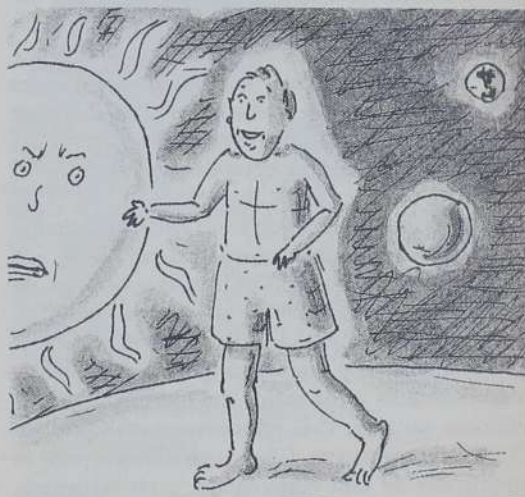
La consigna presidencial de mejorar la calidad educativa fue retomada en el PME dentro de las propuestas de modificación y diversificación de los programas, libros de texto, apoyos didácticos y sistemas de evaluación. Sin embargo, la información pública preliminar del proceso iniciado es desalentadora, ya que aún no se han respaldado estas acciones con las decisiones y los recursos que les aseguren alguna posibilidad de éxito. Las prioridades no están claras y el proceso parece haberse fragmentado en diversas comisiones y direcciones, además de regiones, lo cual puede dificultar la coherencia de la estrategia de cambio.

Cambiar el currículum oficial, acción que absorbe la atención de todos los procesos de reforma, es relativamente sencillo. Cambiar el currículum real en las escuelas requiere un proceso profundo,

paulatino, de modificación de la administración escolar y de las condiciones del trabajo docente que haga posible una mejor recepción y apropiación, por parte de los maestros, de las eventuales propuestas pedagógicas innovadoras.

El PME parece moverse sobre todo en el terreno de los fines abstractos y de la normatividad, con pocas propuestas dirigidas a la mejoría cualitativa de las prácticas escolares cotidianas. Al plantearse la modificación de la calidad educativa, es importante comprender que no se trata de diseñar una norma nueva, sino de crear una estrategia, es decir, una serie de pasos que no necesariamente representan el ideal que se quisiera ver en las escuelas, sino más bien que tengan mayor probabilidad de modificar en forma sustancial la realidad del aula. Desde esta perspectiva, consideramos que la modificación de los planes y programas de estudio como tales tiene relativamente poca eficacia como estrategia en primarias. No es el momento más oportuno de cambiar los referentes curriculares del trabajo docente en este nivel, con lo que ello implica en la dinámica escolar en el corto plazo.

Por otra parte, no consideramos que existan en la primaria, a diferencia de otros niveles, problemas sustanciales en la definición de los planes y programas. Los problemas cualitativos más graves



en la enseñanza de este nivel son la ausencia de uso significativo de la lengua escrita y la formalización prematura de contenidos (matemáticos y lingüísticos especialmente), a los cuales pueden acceder mejor los niños con sus propias estrategias y formas de expresión. Esto requiere sobre todo la introducción de formas de enseñanza innovadoras y condiciones escolares para realizarlas. Sin embargo, tanto la dimensión metodológica como la organización escolar han quedado efectivamente excluidas de las discusiones y propuestas oficiales a la fecha.

Consideramos que otros problemas curriculares que se han discutido son secundarios en el logro de los objetivos fundamentales, actuales, de la primaria. La importancia del currículo de la primaria para los niños de diferentes medios, base de la propuesta de diversificación curricular, se puede lograr mejor con formas de enseñanza que integren la experiencia local de los alumnos y los maestros que con una redefinición arbitraria, y necesariamente centralizada, aun a nivel estatal, de los contenidos curriculares. La preocupación por la formación para el trabajo en el nivel primario también encuentra una solución ideal en una mejor calidad de la enseñanza de las áreas básicas.

Tampoco conviene reducir el nivel de exigencia de la primaria planteando "mínimos". Si bien conviene eliminar algunas formalizaciones, ello implica reforzar y profundizar los contenidos básicos, de tal manera que se lograría una mejoría cualitativa en el currículo real y en el aprendizaje de los niños, lo cual, a su vez, reduciría la simulación que se genera en los grados superiores cuando los alumnos no cuentan con aprendizajes duraderos.

Garantizar un libro de texto nacional y gratuito es esencial para mantener la calidad ya lograda en la enseñanza primaria, calidad que, a pesar de sus deficiencias, es superior al de otros países en condiciones semejantes a las de México. Eliminarlo en este momento y dejar el suministro de los materiales didácticos a los azares del mercado sería un retroceso serio. El PME anuncia nuevos libros de texto como meta para 1994, pero enfatiza poco la importancia de esta herramienta, y no contempla las dimensiones que adquiriría ese proyecto si se realiza de manera seria.

Si la intención es responder al reto no sólo de modificar, sino de mejorar sustancialmente los actuales libros de texto, es extraño que se esté iniciando el proceso con el "ajuste" de los contenidos, posponiendo a una fase posterior (1992), tal vez a cargo de un equipo diferente, la elaboración de nuevos libros. No es posible elaborar y experimentar en primarias un programa sin proponer simultáneamente los materiales y las prácticas que lo sustentan en el aula. Un cambio en este sentido requiere mucho más tiempo y recursos que los previstos en el actual plan, lo cual hace dudar de su compromiso real. Para modificar los libros sería necesario iniciar de inmediato el proyecto, integrando equipos interdisciplinarios que hagan a la vez los libros y los programas, y determinando una metodología experimental para la prueba de los materiales, que incorpore efectivamente a maestros de grupo en el proceso de desarrollo.

Si se realiza la modificación de los libros de texto, ello requiere replantear el enfoque pedagógico de aquellas actividades que conducen a la comprensión de las representaciones formales del contenido e incluir materiales complementarios que orienten este tipo de actividades en el aula (juegos, fichas, cuadernos de trabajo). El aspecto textual y gráfico de los libros requiere un replanteamiento. La integración de tipos de texto, formas de redacción e ilustración con criterios pedagógicos implica que estos componentes sean sometidos a un proceso de investigación y experimentación que no corresponde a los plazos y recursos asignados actualmente al programa. Un primer paso incluiría seguimientos del uso de los actuales libros y de otros programas y materiales oficiales para la primaria (Ipale, Cursos Comunitarios, Pacaep), así como la formación y la consolidación de grupos técnicos que tengan experiencia en la elaboración de materiales.

Los libros son esenciales, pero no suficientes para mejorar la calidad educativa. Tal vez la diferencia entre una modificación del currículo normativo y una estrategia de cambio del currículo real se pueda ejemplificar con el caso de la enseñanza de la lectura y escritura en primarias. Si bien hace décadas que se han propuesto modificaciones sustanciales en el "método" para enseñar a leer y escribir, los maestros se saben eclécticos, utilizan

una variedad de recursos y materiales para enfrentar el problema de enseñar a leer y a escribir, y desatienden algunas de las prácticas que podrían asegurar un uso más significativo de la lectura y la escritura. En lugar de continuar un debate sobre métodos que tiene poca posibilidad de afectar la práctica, convendría pensar en estrategias alternativas. Por ejemplo, reforzar la enseñanza de las ciencias de hecho proporciona un mejor contexto para el aprendizaje y el uso significativo de la lectura y la escritura.

Por otra parte, si bien el libro de texto es insustituible, se requieren muchos más materiales escritos, de todo tipo, dentro de las aulas de las primarias. El apoyo a bibliotecas escolares, anunciado en el PME, tendría que ser prioritario. Las condiciones materiales, tiempo y tamaño de grupos son indispensables para mejorar la enseñanza de la lengua escrita. Finalmente, se requieren políticas culturales dirigidas hacia los maestros, inexistentes en el actual programa, bajo el supuesto de que un magisterio lector y escritor estimulará mayor lectura y escritura entre los niños, independientemente de los métodos utilizados.

El reto de una reestructuración curricular que integre contenidos, materiales y formas de enseñanza, significa diseñar instrumentos que garanticen la calidad y la equivalencia, respetando las culturas de cada región y permitiendo la incorporación de innovaciones no sólo de las diferentes entidades del país, sino también de los propios maestros y alumnos, sin empobrecer los avances sustanciales que ha tenido en este siglo el currículum real de la escuela primaria.

Si no se respalda una modificación profunda y seria del currículum, incluyendo los libros, sería mejor concentrar los esfuerzos y recursos en otra estrategia, consistente en enriquecer la experiencia escolar tanto de alumnos como de maestros por múltiples vías y construir los consensos y la capacidad técnica necesaria para una posterior reforma curricular. Son necesarias medidas para mejorar el espacio físico y cultural de las escuelas (bibliotecas, muebles, apoyos didácticos, etc.), tiempo y apoyo para las iniciativas culturales y educativas de grupos de maestros o zonas escolares, la difusión horizontal de innovaciones pedagógicas, el fortalecimiento de las normales y li-

cenciaturas abiertas, y otras medidas que conduzcan poco a poco a una renovada cultura pedagógica.

Condición de la calidad: las condiciones del trabajo docente

La eficiencia escolar y la calidad educativa se entrecruzan con aspectos del PME, como la participación social, la reforma laboral y sindical, el financiamiento del sector, en aquello que es el nudo del problema: las condiciones del trabajo docente. De esto, el documento del PME dice poco. Contiene referencias implícitas a medidas de control y normalización del trabajo docente, pero poco análisis serio de las repercusiones de las condiciones de trabajo sobre los cambios deseados.

El movimiento magisterial del 89 y la respuesta oficial pusieron en la agenda de la modernización el problema del salario. Se autorizó un aumento ligeramente mayor al general y se anunció la creación de una "carrera magisterial", que, de no basarse en criterios altamente selectivos sino en diferencias reales en el desempeño cotidiano, podría constituir un estímulo a la docencia en las primarias. No obstante, sigue siendo evidente la in-



justicia del sueldo base (menor a dos salarios mínimos) de una profesión que presupone la licenciatura y que requiere, en los hechos, una dedicación de tiempo completo para poder integrarse al proceso de modernización. Una inversión significativa en las condiciones de vida del magisterio, aparentemente posible a partir del 4 de febrero pasado, es requisito indispensable para poder mejorar la consistencia y la calidad de la experiencia escolar de los casi 30 millones de niños que pasarán por la primaria en los años restantes del sexenio.

La actual estructura de empleo en primarias propicia la búsqueda de ocupaciones paralelas, generalmente ajenas al ámbito cultural, y el eventual abandono del magisterio por muchísimos maestros. Se vislumbra en el escenario probable de fines de este siglo la improvisación masiva de maestros de primaria si no se establecen estímulos para el ingreso y la permanencia en la profesión que sean competitivos con otras opciones.

El sueldo es sólo un componente de las condiciones de trabajo docente. Las condiciones materiales y culturales en que se realiza este trabajo constituyen obstáculos igualmente importantes. Entre ellos, la distribución del tiempo, las condiciones laborales de salud, la falta de acceso a la cultura, el

carácter vertical y autoritario de la gestión educativa y sindical.

El mito en torno al reducido tiempo de trabajo del maestro de primaria (jornada corta, vacaciones largas, puentes, ausentismo defendido por el sindicato, etc.) oculta la estructura real del trabajo docente. Se ocuparía mucho más tiempo que el pagado para cumplir bien con los requerimientos formales del maestro de grupo: cubrir el programa, preparar clases, responder a las múltiples necesidades del grupo, asumir comisiones escolares (higiene, cooperativa, social), atender a los padres, llenar una documentación excesiva, "participar" en la modernización educativa, actualizarse, acatar órdenes de otras dependencias (censos, campañas) e incluso del partido en el poder. De hacerse la contabilidad global de las horas laboradas, seguramente rebasarían las horas pagadas, a pesar del alto índice de ausentismo magisterial. Por lo mismo, es ilógico pensar en agregar contenidos o funciones a la primaria que requieran un mayor tiempo que el disponible para su realización.

De hecho, muchos maestros invierten gran parte de su tiempo extra-jornada en tareas propias del trabajo, generalmente por el interés en ver algún progreso en sus grupos. La mayoría se resiste a ello, bajo la necesidad de destinar ese tiempo a otro trabajo remunerado, así como al trabajo doméstico, significativo en una profesión donde las mujeres son mayoría.

En consecuencia, en la primaria se genera una doble jornada simultánea que afecta la calidad educativa de manera central, ya que se sobrepone a las horas frente a grupo la atención a otras tareas. Al grupo se le deja actividades, como las planas, que no requieren atención continua, mientras se cumplen con las demás actividades. Entre las mejores maestras, es común encontrar estrategias para poder atender prioritariamente al grupo, como la reducción de atención a padres, la resistencia a llenar el avance programático y a participar en comisiones y concursos. Rara vez se comprende qué tan agotador resulta ser la jornada frente al grupo, y qué tan necesarias son las estrategias para sobrevivir, como las formas de trabajo rutinarias, el control de los niveles de ruido, los ratos de descanso.



Las múltiples exigencias administrativas hacia el director y la actual estructura escalafonaria que premia lo administrativo sobre lo pedagógico repercuten en el trabajo docente. Sostener el funcionamiento diario de la escuela sin recursos de operación requiere un trabajo adicional de todos los maestros. Incluso la obtención de la "participación" de los padres de familia implica mayor trabajo para los docentes. De ahí la necesidad de un fondo de operación y dotación de materiales para las escuelas que no sea a cuenta, directa o indirectamente, de los padres.

El PME enfatiza la necesidad de normalizar el cumplimiento de calendario escolar, pero lo plantea como un problema de control de los maestros. Sin embargo, muchísimas ausencias en tiempos normales son generadas por la ineficiencia del aparato administrativo: los trámites por irregularidad de pagos, traslados, préstamos, constancias, ocupan días que debieran destinarse a la enseñanza. Los trámites escolares mismos con frecuencia restan valiosos días al calendario escolar, que se destinan a juntas, llenar encuestas, comisiones a la supervisión, gestiones ante las autoridades, obtención de libros de texto.

Las condiciones sindicales también tienen un efecto directo sobre la vida escolar. En la imagen pública esto se relaciona por lo general con paros y marchas, sin considerar los efectos de una vida sindical clientelista en tiempos normales. Dado que todo derecho laboral reclamado pasa por una doble gestión, sindical y administrativa, y se otorga y cobra como "favor", se multiplica el tiempo invertido en el proceso. Una vida sindical democrática y deslindada de la estructura administrativa es condición para la normalización de la escuela.

También son significativos los problemas de salud laboral entre los maestros que cobran numerosos días económicos o licencias al año. Exponerse a diario a enfermedades contagiosas, en las condiciones insalubres de la mayoría de las escuelas, y enfrentar las exigencias físicas y psicológicas del trabajo con grupo, explican la alta incidencia de enfermedad entre maestros. Dada la carencia de servicios de salud eficaces, en particular en el medio rural, frecuentemente se trata de enfermedades crónicas. Entre ellas, se encuentran algunas relacio-

nadas con el trabajo, como problemas de columna, sordera, salud mental y alcoholismo. Uno se pregunta si no habría posibilidad de reforzar los servicios de atención médica directa en las escuelas, los programas de prevención y de terapia ocupacional, y de dar atención prioritaria en las instituciones públicas a maestros a cargo de grupos.

Más grave aún es la ausencia de una política cultural amplia y significativa para los maestros. El trabajo docente, en cualquier nivel que se ejerza, requiere una relación constante con la cultura, un acceso diario a la información acerca del país, posibilidad de consulta de materiales actualizados para su trabajo y oportunidades de reflexión y de formación continua sobre su materia de trabajo en el contexto escolar.

En el lugar y tiempo de trabajo del maestro de primaria no existen estas posibilidades. A fin de lograr un ambiente académico más significativo en las escuelas, es precondition de la calidad educativa la modificación de la estructura del consejo técnico escolar. También lo es una política de publicación y difusión (inexistente en la actualidad) al alcance del medio millón de maestros de primaria, que resuelva las múltiples necesidades de consulta que ellos requieren en el trabajo cotidiano.

Sin embargo, lo sorprendente en estas condiciones es que tantos maestros sigan trabajando, y que aún se encuentren muchos que se proponen hacer cosas nuevas, lo cual implica tiempo extra-laboral. Y no es que no tengan otra opción, todavía escogen la docencia por encima del bracerismo, del pequeño comercio, de los servicios, de la calle. Cualquier ocupación les dejaría mayores ingresos. Y todavía hay jóvenes que optan por entrar a la normal, a sabiendas que el sueldo es ridículo y que la plaza tal vez cueste un millón. Todavía hay grupos de maestros que buscan alternativas de formación para poder ejercer mejor la docencia. ¿Por qué?

Estrategias globales

El documento del PME habla poco de las estrategias necesarias para diseñar una política no sólo de lo deseable, sino también de lo viable.

Evidentemente, una parte importante de la estrategia iniciada por las autoridades educativas es lograr las condiciones políticas que posibiliten los cambios educativos en la primaria, reconocida como nivel prioritario no sólo por su magnitud dentro del sistema, sino por ser el centro de las demandas y polémicas educativas públicas más significativas. La negociación con los diferentes sectores dentro y fuera del país, en torno a asuntos medulares como la descentralización, los contenidos, los libros de texto y la formación para el trabajo, puede estar acotando el campo y la dirección de los cambios posibles. No obstante, esta necesidad no debiera atenderse en desmedro de la coherencia y la calidad técnica de lo propuesto para la primaria.

Una condición para lograr la modernización es transformar la estructura de poder administrativo y sindical, lo cual aparentemente se está dispuesto a hacer. El proceso de modificación sindical aún no ha afectado las estructuras y mediaciones tradicionales del gremio, con todos los efectos que tienen sobre la vida escolar. En la administración del sistema perduran la incomunicación y la competencia entre las diferentes dependencias y comisiones, lo que hace difícil coordinar acciones. Lo que se genera con la mejor intención en las instancias técnicas, incluyendo las consultas, llega a los maestros de grupo como una disposición burocrática más a la se que le da poca atención.

El proceso de concertación y negociación política hasta ahora ha dejado fuera al principal actor, aquél sin el cual las reformas suelen quedar en el papel: el maestro de grupo. Es sobre todo en este aspecto que el PME carece de estrategias, incluso de discurso novedoso. No cabe duda que es difícil convocar a un magisterio decepcionado con las reformas, que no está en condiciones de alentar y apoyar, aún más de lo que lo ha hecho, la permanencia y el aprovechamiento de los niños en la primaria. El poner en manos de normalistas con carreras técnicas y administrativas las comisiones normativas es una respuesta significativa de una demanda del gremio, pero no garantiza la incorporación de las perspectivas de los maestros que enfrentan los problemas en el aula.

Una participación más efectiva de estos maestros en el proceso presupone cambios de fondo en

los ambientes escolares, en el discurso acerca de la propia práctica, en los tiempos y espacios para la reflexión y la propuesta colectiva, en la práctica de la escritura. Presupone buscar estructuras de formación horizontal centradas en las escuelas, con tiempo pagado para el estudio y la preparación colectiva. Presupone modificar la gestión de lo educativo, promoviendo procesos iniciados localmente, apoyados con recursos materiales y técnicos centrales, evaluados de manera pública.

El proceso de transformación cualitativa de las escuelas en este sentido es posible, pero sólo considerando el largo plazo. Las medidas inmediatas no producirán cambios espectaculares. En las condiciones actuales, lo primero es vigilar contra la destrucción progresiva de los recursos materiales, técnicos y humanos existentes; conservar el patrimonio, cuantitativo y cualitativo, que caracteriza a la primaria mexicana.

Notas

1. Fuentes, Olac. "Crisis económica y acceso a la escolaridad en México 1982-1988", en *Cuadernos Políticos* No. 58, 1990.
2. Según las estadísticas oficiales para 1988, del total de escuelas federales un 23.5 % son escuelas unitarias y un 22.5% escuelas incompletas, aunque probablemente las categorías no son excluyentes (¿Cuántas incompletas son unitarias, cuántas completas no tienen un maestro por grupo?, etc.). En los sistemas estatales, generalmente concentradas en poblaciones mayores, es menor el porcentaje de escuelas incompletas (10%) y unitarias (10%). La proporción de grupos por maestro es mayor a 1.4 en 13 estados, aquellos de más baja eficiencia terminal, lo cual indica que existe en promedio un maestro con dos grados por escuela en esas entidades. De 51,720 escuelas federales, sólo 22,950 tienen director que no atiende grupo, es decir 56% tienen directores que atienden grupo. Hay en el país 601,000 grupos/grado, pero sólo 463,115 maestros con grupo, lo cual significa que más de 23% de los grupos/grado son atendidos por maestros que a la vez atienden otros grados.



noticias del centro

Reynaldo Ariel Alvarez Morales, nuevo director de la Unidad Irapuato



La Junta directiva del CINVESTAV aprobó el nombramiento del Dr. Reynaldo Ariel Alvarez Morales como director de la Unidad "Jesús Reyes Heróles" que el Centro tiene establecida en la ciudad de Irapuato, Gto. Este nombramiento es por cuatro años a partir del pasado 1o. de febrero. El Dr. Alvarez Morales sustituye en el cargo al Dr. Alejandro Blanco Labra.

El Dr. Reynaldo Ariel Alvarez Morales es originario de la Ciudad de México, D.F., donde realizó sus estudios profesionales de químico bacteriólogo y parasitólogo en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN (1972-1977). Sus estudios de doctorado los llevó a cabo en la Unidad de Fijación de Nitrógeno de la Universidad de Sussex, Inglaterra (1980-1983). Hizo su entrenamiento posdoctoral en el Instituto de Microbiología del Instituto Politécnico Federal Suizo (ETH), en Zurich (1984-1986).

El Dr. Alvarez Morales ha publicado 18 trabajos de investigación, los cuales han recibido 180 citas en la literatura científica, y ha presentado 26 ponencias en congresos científicos. Es Investigador Nacional y miembro de la Sociedad Internacional de Biología Molecular Vegetal, de la Sociedad Internacional de Fitopatología, de la Sociedad Americana para el Avance de la Ciencia y de la Asociación Latinoamericana de Microbiología.

Notas Breves



El 15 de febrero de 1990 el ahora **M. en C. Jorge López Cuevas** realizó el primer examen de grado de maestría en ciencias de la Unidad Saltillo del CINVESTAV en la especialidad de metalurgia no ferrosa. El título de su tesis es "Efecto del azufre sobre la microestructura en aleaciones Al-Si con altos contenidos de hierro, modificados con antimonio". La dirección de la misma estuvo a cargo del **M. en C. Alfredo Flores Valdés**, profesor de dicha unidad. Este programa de posgrado se inició en 1988 y cuenta con 12 profesores, tres de ellos con doctorado, y 22 estudiantes.



El nuevo director de la Unidad Irapuato se incorporó a la misma el 1o. de abril de 1986 como profesor titular para colaborar, principalmente, en el establecimiento del Departamento de Ingeniería Genética de esta unidad. Esta unidad se fundó en 1980 y cuenta hoy en día con 28 profesores, 16 de ellos con doctorado, y 35 estudiantes de posgrado, 23 de maestría y 12 de doctorado.

Cambio de estatus de la sección de Patología Experimental

La Junta Directiva del CINVESTAV aprobó el cambio de estatus de la Sección de Patología Experimental a Departamento, quedando al frente de la jefatura del mismo el Dr. Adolfo Martínez Palomo.

El Dr. Adolfo Martínez Palomo se incorporó al CINVESTAV en 1972 como profesor titular y fue jefe del Departamento de Biología Celular (1980-1984). Ha obtenido el Premio Nacional de Ciencias Exactas y Naturales (1987), el Premio en Ciencias Naturales de la Academia de la Investigación Científica (1975), el Premio Dr. Miguel Otero (1988), el Premio de Biología de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (1987), es miembro de esta misma academia desde 1988, de la Junta de Gobierno de la UNAM y ha sido presidente de la Academia de la Investigación Científica. Sus áreas de interés son la biología del cáncer, de las membranas biológicas y de las enfermedades parasitarias frecuentes en México, así como el desarrollo de la ciencia en América Latina. El Departamento de Patología Experimental cuenta con ocho investigadores, cinco de ellos con doctorado y tres con maestría.

David Muñoz, Carlos Hirsh y Roberto Linares recibieron el Premio Nacional Ericsson de Ciencia y Tecnología

El pasado 30 de marzo se entregó en el Museo Franz Meyer de la Ciudad de México el Premio Nacional Ericsson de Ciencia y Tecnología correspondiente al año pasado. Este premio se otorga a investigadores radicados en México que se distinguen por sus trabajos en el campo de las telecomunicaciones. En esta ocasión el primero y segundo lugares fueron obtenidos por investigadores del CINVESTAV. El primer lugar lo obtuvieron el Dr. David Muñoz Rodríguez y el M. en C. Carlos Hirsh Ganievich, ambos profesores del Departamento de Ingeniería Eléctrica y el primero de ellos actual jefe del mismo departamento. El proyecto que presentaron en este certamen se titula "El multiplexor digital de segundo nivel jerárquico en un circuito integrado". El segundo lugar lo obtuvo el Ing. Roberto Linares Miranda, también profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, con el proyecto "Receptor óptico para sistemas de transmisión digital vía fibra óptica para 140 MBIT/S en la ventana de 1,300 NM".

Según información recopilada por la Sociedad Mexicana de Física para la edición 1990-91 de su *Catálogo de Programas y Recursos Humanos en Física*, el Departamento de Física del CINVESTAV se destacó en 1989 por haber graduado el mayor número de estudiantes de doctorado y maestría en la especialidad de física en relación a las demás instituciones nacionales que otorgan grados en la especialidad. En este año graduó 8 doctores en ciencias y 10 maestros en ciencias. A nivel nacional, el número total de 21 doctores en ciencias en la especialidad de física graduados en 1989 representa haber duplicado el promedio anual de graduados en esta especialidad durante los últimos 10 años. De acuerdo con la matrícula nacional reportada en estos estudios de posgrado en el mismo catálogo, se espera que el número de doctores graduados en física se mantendrá en alrededor de 20 por año. El Departamento de Física del CINVESTAV cuenta con 38 investigadores con doctorado, 42 estudiantes de doctorado y 25 estudiantes de maestría.



Dr. David Muñoz.



M. en C. Carlos Hirsh G.

El Premio CANIFARMA 1989 para Pedro Joseph Nathan y Humberto Cervantes Cuevas



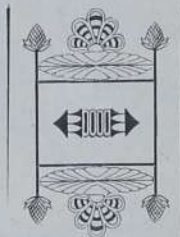
Dr. Pedro Joseph Nathan.

El premio CANIFARMA 1989, otorgado por la Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica a investigadores que hayan contribuido al desarrollo de medicamentos, fue concedido al Dr. Pedro Joseph Nathan y al Dr. Humberto Cervantes Cuevas, profesores del Departamento de Química del CINVESTAV. El trabajo premiado se titula "Síntesis de precursores quirales para la obtención de prostaglandinas usadas en el tratamiento de úlceras pépticas". Este trabajo cubre un aspecto muy importante para generar mejores medicamentos en el tratamiento de este tipo de úlceras, en particular la metodología para preparar los dos isómeros ópticos del 2-metil-1 y 2- hexanodiol que son utilizados en la síntesis de dichas prostaglandinas. Este proceso ya está patentado en los EUA (véase nota en el número anterior de *Avance y Perspectiva*) y permitirá reducir a la mitad las dosis clínicas de esos isómeros y por tanto se espera disminuyan los efectos colaterales.

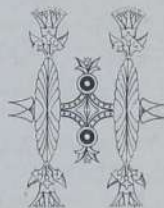


Dr. Humberto Cervantes Cuevas.

El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) firmó un convenio general de cooperación científica y tecnológica con el CINVESTAV para la capacitación y formación de investigadores y la ejecución de programas específicos de investigación. Este convenio es efectivo a partir de abril de 1990.

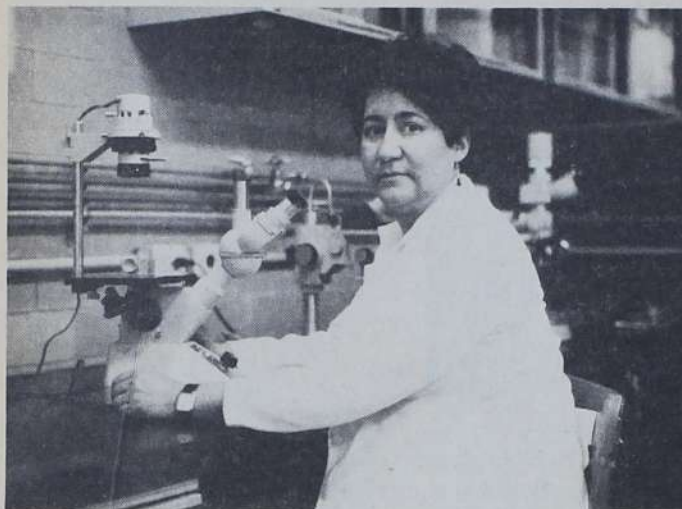


La Lotería Nacional para la Asistencia Pública, mediante un convenio, otorgó al CINVESTAV una donación para ser utilizada en la adaptación y equipamiento de las instalaciones del Departamento de Farmacología y Toxicología. Esta donación será complementada por el CONACYT de acuerdo con las condiciones establecidas en su Programa de Tecnología Industrial para la Producción (TIPI).



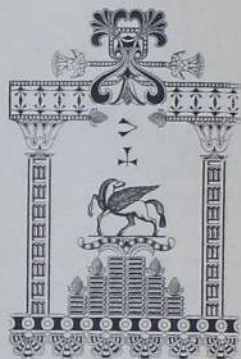
El mes de marzo pasado visitaron el Departamento de Física del CINVESTAV el Dr. Luis Antonio Rubio, de la Universidad Autónoma de Madrid, y el Dr. Christian Russ, del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN), para plantear la posibilidad de que México se incorpore como país miembro al CERN. De ser así, los investigadores de física de altas energías de nuestro país tendrían acceso a las instalaciones y servicios del CERN con la facilidad de que la aportación de nuestro país sería de acuerdo con su nivel de desarrollo económico. Este punto de vista se formuló a funcionarios del CONACYT y de la SEP, los

Pedro Joseph Nathan y Guadalupe Ortega Pierres reciben Premios al Mérito 1989



El Dr. Pedro Joseph Nathan, profesor titular del Departamento de Química, y la Dra. Guadalupe Ortega Pierres, profesora titular del Departamento de Genética y Biología Molecular, recibieron cada uno un Premio al Mérito 1989, otorgado por el Consejo de Salubridad General, dependiente de la Secretaría de Salud. Estos premios se conceden a investigadores que se hayan destacado por sus aportaciones en el campo de las ciencias de la salud. En particular, el Dr. Joseph Nathan presentó al certamen correspondiente a este premio el trabajo "The chemistry of perezona and its consequences", artículo publicado en el libro *Studies in Natural Products Chemistry*, editado en 1989 por Atta-ur-Raham y la editorial Elsevier de Amsterdam. En este trabajo se resumen las investigaciones realizadas por el Dr. Joseph Nathan durante los últimos 25 años sobre las plantas de la flora mexicana utilizadas en nuestra medicina popular. Por su parte, la Dra. Ortega Pierres presentó al certamen el trabajo "*Trichinella spiralis*: recognition of muscle larva antigens during experimental infection of swine and its potential use in diagnosis", el cual dio lugar a varias publicaciones en revistas científicas de prestigio. En el mismo describe un avance importante en el desarrollo de métodos de diagnóstico para la triquinosis, enfermedad producida por el nemátodo parásito *T. spiralis*. Con ello se ofrecen perspectivas para el uso de antígenos purificados del parásito en estudios epidemiológicos sobre la frecuencia de esta enfermedad en el ganado porcino que se destina al consumo humano.

cuales definirán esta posible incorporación. En México ya existe un grupo de usuarios de los aceleradores de partículas de los EUA, con base en el Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato. El Departamento de Física del CINVESTAV tiene un proyecto para formar otro grupo de usuarios con estudiantes que están realizando su programa de doctorado en el CERN, en el laboratorio Fermi de los EUA y en el laboratorio DESY de la RFA.



El Dr. Manuel Méndez Nonell, profesor titular y director de la Unidad saltillo del CINVESTAV, fue distinguido como "Investigador del año" por la Sociedad Mexicana de Fundidores, sección mexicana de la Sociedad Estadounidense de Fundidores. La entrega de este premio se llevó a cabo el 2 de diciembre de 1989 en la ciudad de México.



Graduados entre enero y marzo de 1990

Maestros en Ciencias

Rebeca Georgina Manning Cela. Especialidad de Biología Celular, 16 de marzo, Uso de una sonda molecular conteniendo el gen de actina para estudiar secuencias homólogas en DNAs y RNAs de *Entamoeba*. Asesor: Dra. Isaura Meza Gómez-Palacio. Continúa su doctorado en el CINVESTAV.

Ma. Cecilia Aguilar Zacarias. Especialidad de Biología Vegetal, 27 de enero, Caracterización de las cepas nativas de *Rhizobium leguminosarum biovar. phaseoli* del Estado de Zacatecas. Asesor: Dr. Juan José Peña Cabrales.

Oscar Arath Grageda Cabrera. Especialidad de Biología Vegetal, 27 de enero, Cinética de la fijación de nitrógeno en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Asesor: Dr. Juan José Peña Cabrales.

María Candelaria Valdez Silva. Especialidad de Educación, 26 de marzo, La Comarca Lagunera: educación socialista y reparto agrario. Asesores: Dra. Mary Kay Vaughan y M. en Ped. Susana Ruth Quintanilla Osorio.

Luis Felipe de Jesús Díaz Ballote. Especialidad de Energía, 26 de enero, Control de la corrosión de un acero SAE-9840 en O₂ y temperatura entre 400 y 700 °C. Asesor: Dr. Luis Alfonso Maldonado López. Auxiliar de Investigación.

María Teresa Obdulía Ramírez Apan. Especialidad de Farmacología, 2 de febrero, Evaluación de varios agentes bloqueadores adrenérgicos beta sobre los sistemas cardiovascular y respiratorio. Asesor: Dr. Enrique Hong Chong. Su puesto actual es

Coordinador Académico, Farmacia Universitaria "Alexander Fleming" Universidad Autónoma de Puebla.

José Enrique Barradas Guevara. Especialidad de Física, 2 de marzo, Efectos de un segundo bósón de norma neutro masivo en el proceso $e p \rightarrow e X$ a muy altas energías. Asesores: Dr. Miguel Ángel Pérez Angón y Dr. Alfonso Rosado Sánchez. Se reintegró a la Escuela de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Puebla.

Manuel Enriquez Denton. Especialidad de Fisiología, 2 de marzo, Efecto diferencial del (-)-Baclofen sobre las acciones sinápticas de fibras aferentes musculares de grupo I y de vías descendentes en la médula espinal del gato. Asesores: Dr. Pablo Rudomín Zevnovaty y Dr. Ismael Jiménez Estrada. Continúa su doctorado en el CINVESTAV.

Salvador Rosas Garía. Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 26 de enero, Codificador de la voz a 16 Kbit/s usando RPE-LPC. Asesor: Dr. Arturo Veloz Guerrero. Se integró a la planta de profesores de la Sección de Comunicaciones del CINVESTAV.

Gabino Rolando Espinosa Germán. Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 9 de marzo, Realización del protocolo de acceso al enlace en el canal D para RDSI. Asesor: M. en C. Carlos Edgardo Hirsch Ganievich. Se integró a la planta de profesores de la Sección de Comunicaciones del CINVESTAV.

Ernesto Alonso Sánchez Sánchez. Especialidad de Matemática Educativa, 29 de marzo, Modelos en la enseñanza de la matemática: el caso del modelo conjuntista en la enseñanza de la probabilidad. Asesor: Dr. Jesús Alarcón Bortolussi. Se integró a la

planta de profesores de la Sección de Matemática Educativa del CINVESTAV.

Doctores en Ciencias

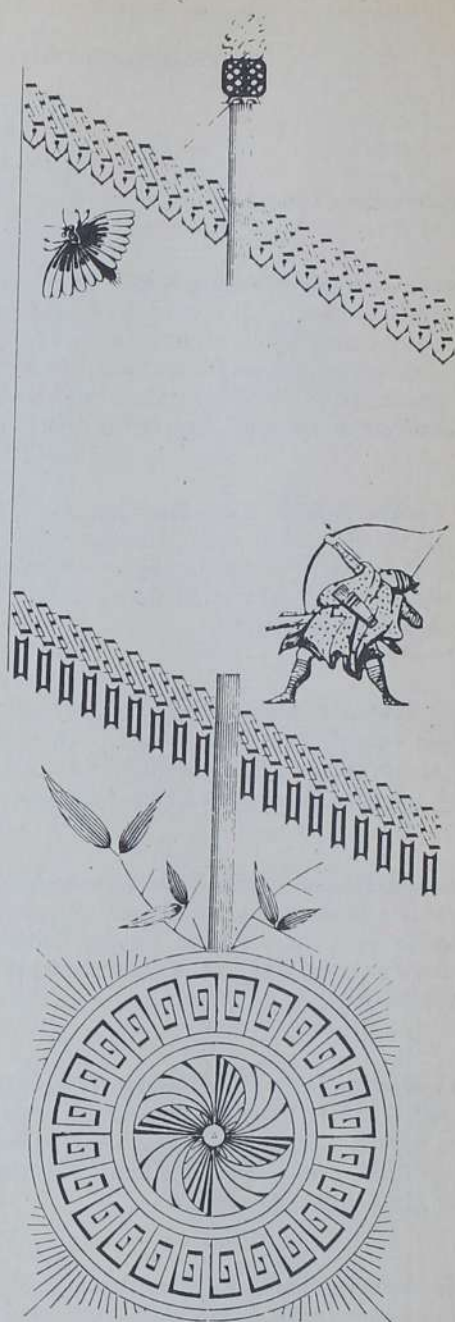
Sergio Arias Negrete. Especialidad de Biología Celular, 27 de marzo, Efecto del suero humano sobre *Entamoeba histolytica* en la expresión de sus actividades fagocítica, citotóxica, y la susceptibilidad a la lisis por complemento. Asesor: Dr. Jesús Calderón Tinoco. Se integró a la planta de investigadores del Instituto de Investigación en Biología Experimental en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guanajuato.

Luz María Guzmán Verduzco. Especialidad de Biología Molecular, 30 de enero, Estudios sobre la secreción de la enterotoxina termo-estable (STA) de *Escherichia coli*. Asesor: Dr. Yankel Mario Kupersztoch Portnoy. Realiza una estancia posdoctoral en el Department of Genetics and Molecular Genetics, Harvard Medical School, EUA.

Luz María Elvira González y Flores. Especialidad de Biotecnología de Plantas, 22 de marzo, Caracterización fisicoquímica e implicaciones nutricias de las lectinas de frijol tepari y sus híbridos. Asesor: Dr. Octavio Paredes López.

Rogelio Arellano Ostoa. Especialidad de Fisiología, 29 de enero, Regulación intracelular de las uniones comunicantes. Asesor: Dr. Fidel Ramón Romero. Realiza una estancia posdoctoral en la Universidad de California, EUA.

María Asunción Begoña Fernández Fernández. Especialidad de Matemáticas, 29 de enero, Fluctuaciones límites de sistemas de partículas: propiedad de Markov, criterio de convergencia y un sistema ramificado. Asesor: Dr. Luis Gabriel Gorostiza Ortega. Se integró a la planta de profesores de la Facultad de Ciencias de la UNAM.



Rincón epistemológico



Definiciones

Rolando García

Durante un seminario de epistemología, en un curso de postgrado, comencé a tratar el problema de las definiciones. Como la mayoría de los asistentes eran sociólogos, se me ocurrió preguntar ¿qué es una clase social? Después de varios intentos fallidos, con mutuos rechazos de diversas propuestas, entre los mismos participantes, hubo una respuesta con la cual todos coincidieron:

—“Clase social” es un concepto.

—Entonces —respondí— ¿la lucha de clases es una lucha entre conceptos?

Las definiciones siempre dieron dolores de cabeza y no sólo a los sociólogos. Ni Euclides ni Newton escaparon a esa dificultad. El primero tropezó con las definiciones de “punto”, “recta” y “plano”; el segundo con la de “masa”.

Aún a fines del Siglo XIX, un científico tan agudo como Hertz reconocía las vicisitudes de las primeras clases de su curso de Física, debido a la dificultad de definir con precisión los conceptos básicos que iba a usar. En la Introducción a su *Mecánica*, confiesa, con humor y honestidad, la esperanza que abrigaba en esas clases iniciales, de que no hubiera entre los alumnos alguno demasiado inteligente como para ponerlo en apuros. Las dificultades desaparecían una vez formuladas las ecuaciones. A partir de allí todo iba sobre ruedas.

El culpable de esas situaciones fue Aristóteles. En efecto, para el Estagirita, el mundo se componía de sustancias con propiedades o atributos. Toda referencia al mundo se expresaba en oraciones (proposiciones) que poseían sujeto y predicado. Los sujetos se referían a sustancias y los predicados a propiedades o atributos. Y toda definición se expresaba en una oración donde el término a definir era el sujeto y la indicación del significado del término (los atributos que lo diferenciaban de los demás términos) estaba en el predicado. Así se define “vaca”, pero no se define “número” ni “masa”, ni “clase social”.

El Dr. Rolando García B. es profesor titular y jefe de la sección de Metodología y Teoría de la Ciencia.

El problema de Aristóteles fue usar una lógica donde no entraban las relaciones (excepto la inclusión). Esa lógica dominó durante dos mil años. La más vigorosa reacción contra ella fue protagonizada por Frege, a fines del siglo pasado, seguido por Peano y Russell a principios de este siglo.

Un paso importante fue dado cuando se empezó a ver claramente que no todo concepto designaba una entidad (su *denotación*) que pudiera ser un "objeto" que posea las características indicadas en un predicado. Gran parte de los conceptos son, en realidad, "nudos" de relaciones, y su definición se obtiene por un "principio de abstracción" analizado con todo detalle por Russell en sus *Principles of Mathematics* (1903).

Hoy cualquier (buen) maestro de matemáticas de nivel secundario, cuando quiere definir qué es la forma de una figura, comienza por explicar qué quiere decir que *dos figuras tienen la misma forma* (relación de semejanza), y sólo a partir de allí definirá qué es "forma".

Esto va en contra de lo que se enseña a los alumnos en otros cursos: que para comprender una frase hay que comprender primero el significado (definir el sentido) de cada una de las palabras que la componen. Aquí no se cumples. El alumno debe comprender qué quiere decir *tener la misma forma*, antes de entender qué es "forma". De la misma manera tendrá que entender qué quiere decir "este conjunto tiene cinco elementos" antes de poder definir qué es "cinco"; o saber que "el número de elementos de este conjunto es cinco", antes de saber qué es "número". En todos estos casos se construye primero una relación de la cual se abstrae el concepto.

Otro paso fue el reconocimiento de *niveles*. Se pueden definir propiedades de un conjunto que no son propiedades de los elementos del conjunto. Por ejemplo, yo puedo decir:

—Los miembros de este club son polacos, y Nowinski es miembro de este club; luego Nowinski es polaco.

Pero no puedo decir:

—Los días de la semana son siete, y jueves es un día de la semana; luego jueves es siete.

Todo esto, que es elemental y que hoy resulta obvio (suponiendo que sepamos qué quiere decir "obvio"), permitió dar definiciones adecuadas de muchos conceptos usados en las ciencias.

Pero no todo resultó tan elemental. En algunos casos se encontraron sorprendentes escollos. Nadie pensó, por ejemplo, que resultaría tan difícil definir "curva", y menos aún distinguir entre una línea y una superficie, hasta que a Peano se le ocurrió definir una curva (que lleva su nombre) que, sin dejar de ser una línea, pasa por *todos* los puntos de un cuadrado. Allí se mezclaron los papeles y lo que parecía clara imagen intuitiva de línea y de superficie se desvaneció. Sólo los sesudos análisis de Menger y Uryshon sobre el concepto de *dimensión* permitieron superar la dificultad. Se pudo establecer con precisión la diferencia entre una curva y una superficie, pero fue necesario pasar primero por conceptos más complejos: transformaciones e invariantes de transformaciones.

La llave para todo este desarrollo fueron las definiciones contextuales. Cuando Russell y Whitehead afirman en su *Principia Mathematica* que toda la matemática puede reducirse a la lógica, no quieren decir que todos los símbolos matemáticos pueden definirse estrictamente en términos lógicos. Lo que quieren decir es que todos los enunciados que contengan expresiones matemáticas pueden traducirse finalmente (aunque por procesos largos y laboriosos) en otros enunciados donde sólo figuran expresiones lógicas. En esto consisten las definiciones contextuales: no se define directamente un término, sino que se da una pauta para reemplazar cualquier expresión donde ocurre ese término por otra que no lo contiene.

Independientemente de que se acepte o se rechace la tesis reduccionista de Russell, el método de definición contextual aplicado en el *Principia*, en la línea de Frege, constituyó un avance significativo.

El artículo de Russell "On denoting", publicado en *Mind* en 1905, ha sido calificado como una de las más grandes contribuciones al análisis filosófico.

fico de la historia moderna. Un historiador observó, con cierta malicia, que era extraño que una publicación tan famosa tuviera como objetivo ostensible la definición de la palabra "the". Estrictamente hablando, la afirmación es correcta, pero tramposa. En realidad se trata de un magnífico análisis de las definiciones contextuales.

El objetivo de Russell —plenamente logrado— fue demoler una gran cantidad de literatura filosófica (en esa época representada por Meinong) destinada a demostrar la inevitabilidad de aceptar que el mundo está superpoblado en entidades fantásticas. El ejemplo más clásico es la proposición "El círculo cuadrado no existe". En la tradición aristotélica, esta oración tiene por sujeto "el círculo cuadrado". De él, del círculo cuadrado, hablo cuando digo que no existe. Pero hay "algo", que es aquello de lo cual hablo, que es el círculo cuadrado. Luego el círculo cuadrado tiene algún modo de existencia: de lo contrario ¿cómo podría hablar de él? (La dificultad no se presenta si digo "un círculo cuadrado no existe". Es el artículo definido quien establece la diferencia).

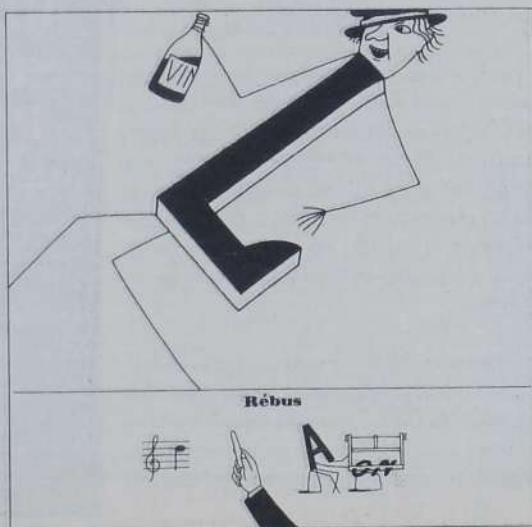
La solución de Russell (que marcó un hito en la historia de la filosofía) es hoy bien conocida. La expresión "el círculo cuadrado no existe" hay que traducirla contextualmente: "no existe ningún x tal que x sea círculo y ese mismo x sea cuadrado". Whitehead y Russell usan la misma técnica en el

Principia para definir clases, números y relaciones como "símbolos incompletos".

Quizás ha sido Quine quien caracterizó mejor el significado que tuvo la introducción de definiciones contextuales: "la definición contextual precipitó una revolución en Semántica: menos súbita quizás que la revolución Copernicana en Astronomía, pero semejante a ésta, en tanto significó un desplazamiento del centro. El vehículo primario del sentido ya no es la palabra, sino la sentencia (el enunciado)."

Un término adquiere sentido como parte de una totalidad significante (la frase, el enunciado). Conocer las palabras es conocer el sentido de los enunciados que las contienen. Quine irá mucho más lejos al señalar que tampoco el enunciado puede considerarse como la unidad del sentido. En su famoso artículo "Dos dogmas del empirismo", hace la siguiente afirmación: "La unidad de significado empírico es la totalidad de la ciencia".

La afirmación es, sin duda, aventurada pero encierra una idea profunda que pone en jaque a más de un filósofo de la ciencia. Quine lleva así a sus últimas consecuencias la posición holista sostenida por Duhem a principios de siglo. Para explicarlo con cierta precisión haría falta un espacio que no cabe en un "rincón" ... epistemológico.





libros

III Mexican School of Particles and Fields, J.L. Lucio M. and A. Zepeda, eds. World Scientific, Singapore (1989) pp. 301.

Durante el mes de diciembre de 1988, en lo que está comenzando a ser una tradición en la comunidad de físicos mexicanos de altas energías, se reunieron 58 físicos, entre investigadores y estudiantes de 17 instituciones del país y del extranjero, con motivo de la 3a. Escuela Mexicana de Partículas y Campos. En esta reunión, reconocidos científicos del campo presentaron una serie de conferencias sobre los avances más recientes en la física de las partículas elementales. El presente volumen contiene los textos de estas conferencias.

F.J. Gilman, investigador del Laboratorio del Acelerador Lineal de Stanford (SLAC), discute la física de los quarks pesados, tema de actualidad a raíz de los nuevos experimentos sobre la física de mesones B y violación de CP. Como menciona el autor, puede hablarse de dos enfoques principales para avanzar en nuestro conocimiento de la naturaleza de las interacciones básicas entre los componentes más fundamentales de la naturaleza. Uno de ellos se basa en la búsqueda de efectos directos de una partícula mediante su producción en los grandes aceleradores (CERN, FERMILAB, SLAC, etc.). En el otro enfoque, que es el que presenta Gilman, se busca descubrir un efecto a bajas energías mediante una medición de alta precisión en algunas partículas ya conocidas. Actualmente se cuenta con una teoría del modelo estándar (ME), que describe todo lo que vemos en el universo por medio de tres familias (réplicas) de cuatro partículas elementales (dos quarks y dos leptones) que interactúan mediante cuatro tipos de fuerzas (electromagnética, débil, fuerte y gravitacional).

La determinación de los parámetros de la teoría se basa en gran medida en un enfoque de bajas energías. Gilman discute ampliamente este punto, con particular énfasis en la determinación de los llamados ángulos de mezcla (o matriz de Kobayashi-Maskawa, KM) que resulta de la existencia de transiciones entre quarks de diferente familia y carga eléctrica. Asimismo, se presenta el fenómeno de violación de la simetría CP (que implicaría que el mundo no cambiara si se intercambiasen izquierda-derecha y partículas-antipartículas) que se relaciona con la matriz de KM en el ME.

A pesar de que todos los experimentos concuerdan con el ME, aún faltan por descubrir algunas de sus predicciones, entre éstas un quark pesado (con masa mayor que 65 GeV), llamado "top". Este es el último tópico que discute Gilman, en el cual presenta las características que debería tener dicho quark así como las expectativas para su descubrimiento.

III MEXICAN SCHOOL OF PARTICLES AND FIELDS

Oaxtepec, Mexico 5-16 December 1988

Editors

J. L. Lucio. M.
A. Zepeda

World Scientific

En otra colaboración, J. Pestieau, siguiendo con el enfoque de bajas energías, describe los métodos para calcular los decaimientos raros de mesones, los cuales son muy difíciles de hacer debido a que la teoría de las interacciones fuertes, llamada Cromodinámica Cuántica (QCD), no permite el cálculo mediante teoría de perturbaciones. Pestieau discute cómo calcular los decaimientos de mesones K usando las simetrías de esta teoría.

Es indudable el éxito del ME para explicar una cantidad de hechos experimentales como nunca se había logrado en la historia de la física. Sin embargo, aún quedan muchas preguntas por contestar. Entre éstas está la existencia de una teoría que nos explique de manera unificada las cuatro fuerzas. En esta área se inscriben las conferencias de W. Ponce de la Universidad de Antioquía en Colombia, quien expone los avances en las teorías de Gran Unificación, las cuales buscan unificar las interacciones electromagnética, débil y fuerte.

En otra colaboración, Joe Butler, del Laboratorio Fermi de los EUA (FNAL), expone varios aspectos de la producción de partículas mediante colisiones de fotones de altas energías. Después de dar una breve introducción teórica sobre los mecanismos que contribuyen a dichos procesos, presenta las técnicas experimentales utilizadas para producir haces de fotones en las colisiones protón-protón. Los fotones resultantes chocan a su vez para producir otras partículas. Discute tanto las técnicas para analizar datos, como la instrumentación de los detectores. Presenta también algunos resultados sobre la producción de mesones encantados (los que contienen el quark C, charm).

Toca después a J. Bagger, de la Universidad de Harvard, exponer los aspectos más formales de la teoría. Discute la llamada teoría de campos conformes, rama que tiene gran popularidad debido a su conexión con las aún más populares teorías de supercuerdas. Estas son teorías de campo en dos dimensiones con propiedades de simetría especiales. En esta misma línea formal se inscriben las conferencias de Y. Meurice del CINVESTAV, que versan sobre la teoría de p -ádicas.

Finalmente, J. Pestieau expone otros aspectos del ME: sobre la determinación de masas y acoplamientos mediante el requerimiento de la simetría de espín débil en correcciones radiativas.

La aparición de estas memorias, editadas por J.L. Lucio y A. Zepeda del CINVESTAV, es altamente motivante pues contribuye a establecer, crisis económica de por medio, una tradición científica en el país. Esto se aprecia aún más, cuando en alguna biblioteca del extranjero se descubre un tercer volumen de memorias de una escuela mexicana que no demerita en calidad con respecto a las escuelas bien establecidas en países desarrollados.

J. Lorenzo Díaz Cruz
Departamento de Física



**matrices**

Luz, más luz



Elisa Carlos

Una mañana despertó asustada, había soñado con el don, y no sólo eso, en el sueño lo había usado. Salí rumbo al trabajo luchando por despegar los tercos restos oníricos de aquella blasfemia involuntaria.

Llegó al laboratorio más tarde que de costumbre, abrió la puerta con un poco de miedo, espe-

rando no encontrar al trío compuesto por el jefe y sus dos compañeros de trabajo. Los conocía muy bien. Luz era inteligente, con mucha experiencia en el trabajo, pero desde el primer día la trataron como lo que era para ellos: una mujer de treinta y cinco años con muy pocos atractivos. En tres años a su lado, lo único que había obtenido de aquellos hombres eran sarcasmos, desprecios y una carga injusta de trabajo. No era eso a lo que había aspirado durante sus años de estudiante. Había sido la mejor alumna de su generación, su carrera le gustaba. Pero ahora, en el laboratorio la hacían sentir como pájaro enjaulado lastimándose con los barrotes. Todos sus proyectos eran plagiados por el jefe,

Elisa Carlos, potosina por nacimiento y por convicción, obtuvo en 1984 el título de físico en la Escuela de Física de la UASLP con una tesis publicada en el Journal of Physics. Los frutos de su creatividad han aparecido también en la revista Alfa de la universidad potosina y en el suplemento EN/CONTRASTE, autocalificado de impredecible, de un periódico sanluisino.

su trabajo lo lucían sus compañeros sin darle crédito, y bien claro había quedado, como anatema, la esperanza de subir un ápice en el escalafón.

Sus temores se confirmaron, ya estaban ahí los tres. Saludó con un tímido "buenos días" que se quedó flotando en el aire, se podía decir que el primer golpe se lo dieron con el silencio. Después hubo varias burlas indirectas, claramente dirigidas a ella y la voz del jefe exigiéndole el proyecto de investigación que él debería entregar al día siguiente.

El resentimiento arañaba dentro de Luz, luchando por manifestarse. Sólo la enorme fuerza de voluntad, practicada por años de reprimir el don, impidió el estallido. Trabajó en silencio durante la mitad de la mañana. A las once, el cerebro, casi por cuenta propia, le trajo a la memoria el tiempo en el que supo que podía controlar aquel extraño poder.

Lo reprimió en los primeros años de la pubertad. No lo había hecho por un motivo traumático ni nada de eso, fue simplemente porque no le gustaba ser diferente. Así, desde el día de su decimosexto aniversario no lo volvió a usar. Pero la noche anterior, ese don, venido por quién sabe qué caprichos de la naturaleza, empujaba, desde el sueño, aquella puerta cerrada dentro de ella y pugnaba por hacerse presente. Sus dedos temblaron ante el pavor de cederle el paso a aquella aberración.

Trató de no pensar en ello. Fue fácil. Ese día tenía cita con Ciro, el jefe del departamento de biología. Este había insistido durante un mes en aquella invitación para cenar. El día anterior Luz había aceptado venciendo su temor a la frustración, compañera muy frecuente de su vida. Le gustaba ese hombretón con cara de niño, parecía tan diferente de los tres con los que trabajaba. La ilusión por esa cita la llevó a gastar sus ahorros en un vestido nuevo y un enganche para sus lentes de contacto. Tal vez el amor ocuparía el lugar de la soledad.

La tarde de ese día entró por primera vez a un salón de belleza. Pidió que le dieran todos los servicios, desde la punta del pelo hasta la punta de los pies. Salió sin mirarse al espejo, le había nacido el capricho de ver su imagen ya con el vestido nuevo alrededor de su cuerpo. Lo hizo, y las alas del

corazón se le apachurraron cuando el espejo le devolvió lo mismo que ella había visto los últimos años: una mujer de mediana edad sin muchos atractivos. Su decepción duró poco: total, él no era ciego, la había invitado conociéndola sin disfraz. Eso corroboraba la idea: "Ciro era diferente".

En el camino al restaurante en el que se habían citado, Luz le fue dando vueltas al asunto: era una mujer inteligente, culta, con una sensibilidad exquisita. ¿Qué más podía pedir alguien como Ciro? Se notaba a leguas que él era más persona que la mayoría de los hombres que había conocido. Ese razonamiento le dio seguridad y confianza en sí misma. Cuando llegó iba de buen humor y ánimo ligero.

El la esperaba, un poco nervioso. Lo delataba una cierta torpeza acompañada de un tartamudeo casi imperceptible. La tomó ligeramente del brazo y la llevó a un privado situado en la parte más profunda del restaurante.

Durante la cena, Luz recorrió una amplia gama de temas interesantes, en un intento estéril por ganar la atención de Ciro, el cual, a medida que pasaba el tiempo, iba adquiriendo características de pollo: la mirada vagaba por todos lados mientras picoteaba la comida en forma distraída y azarosa. La confianza de Luz fue desmoronándose poco a poco. Una hora después había dejado de existir.

¿Qué estaba pasando ahí? ¿Por qué la había invitado con tanta insistencia? ¿A quién esperaba tan ansiosamente? La mirada de él viajaba frecuentemente a la puerta de entrada. Luz empezó a impacientarse mientras una irritación crecía lentamente.

Después del postre vino el café. Fue entonces cuando entraron sus tres compañeros de trabajo, quienes se dirigieron con aplomo a su mesa. Llegaron con seguridad, se sentaron, saludaron con una camaradería vulgar a Ciro, como si hubieran sido invitados por él. A Luz la saludaron casi imperceptiblemente. Fueron con rapidez al asunto, ¿Ya le dijiste, mano?, le preguntaron a Ciro, quien movió la cabeza negando. Luz se fijó que Ciro tenía una expresión de imbécil. El levantó la cabeza, le dio la cara pero no la mirada, sus ojos tenían más que nunca aspecto de ave de corral.

Balbuzeando, con aquel tartamudeo desesperante, le explicó a Luz el motivo de la invitación: Mire, no tengo nada contra usted pero... ella es una mujer joven que necesita experiencia... usted puede dedicarse a dar clases... yo vería el modo de compensarle el sueldo... Mina es muy bonita... usted sabe... tiene miedo, y con razón, a pararse delante de esas bestias como son los alumnos de la facultad... no es tan lista como usted pero aquí sus compañeros y yo la ayudaríamos y...

A medida que Ciro hablaba, Luz empezó a ver puntitos amarillos mientras una furia roja la asfixiaba. Entonces se rompió el control que mantenía preso al don.

Una calma enorme se extendió hasta el último rincón del cuerpo de Luz. Luego, voluntariamente, empezó a manipular cada una de sus glándulas: una pizca de LH aquí, un poco de beta-endorfinas por allá, la corteza cerebral estimulando al parasimpático para que liberara esa variante de noradrenalina que sólo ella poseía, y el mecanismo estuvo formado, listo para usarse.

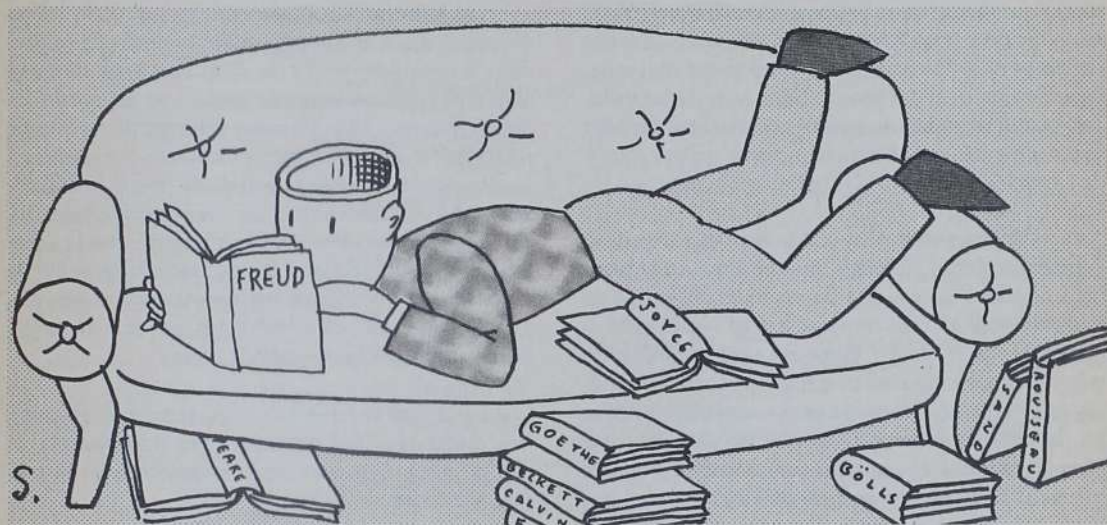
Una sonrisa se insinuó en la cara de Luz mientras el aroma de su cuerpo cambiaba. Una de sus manos se extendió hasta la caja de cigarros de Ciro, sacó uno, lo puso, con un movimiento extraordina-

riamente sensual, entre sus labios, y cuatro encendedores estuvieron prestos. Levantó los ojos, que ahora tenían un brillo espléndido, los paseó sobre cada una de las caras de los cuatro hombres mientras con la otra mano acomodó una guedeja de pelo extrañamente brillante. Una corriente poderosa fluyó desde ella hasta los cuatro. En ese momento su voz vibró con acentos y registros raros, venidos de las capas más profundas de la memoria de la humanidad, la voz civilizada de una hembra en brama: "Explíqueme mejor, Ciro, creo que no entendí muy bien". Los hombres delante de ella babeaban, las excusas de las cuatro bocas hacían incoherentes las palabras. Sus cuerpos se movían en formas ridículas, cada movimiento estaba encaminado a contener los impulsos de saltar sobre ella para poseerla ahí mismo, sobre el mantel.

Delante de aquellos hombres, en los que el animal ganaba terreno, Luz desplegaba, como cola de pavo real, un abanico compuesto de colores, brillos, olores, sonidos y movimientos del más destilado y puro sexo: era el don. Luz lo podía graduar a voluntad, nunca lo había llevado hasta ese extremo. En su adolescencia ni siquiera lo había usado en el segundo grado. Pero ahora sintió que después de todo, había cosas que podían justificarlo. Miles de años de civilización habían caído.



El día que la ciencia me salvó la vida*



Marcelino Cereijido

*Profunda Ciencia...
con tu licencia el doctor Carlino
de tu amarilla borla se cobija;
falsamente arrollando en su baliya,
el mal arrollado pergamino
Góngora*

No me gusta viajar. Odio someterme a controles de migración, revisiones de aduanas, cambios de moneda, y esperas, esperas, esperas de arribos, esperas de embarques, esperas de conexiones, esperas de taxis, esperas de registros en los hoteles. Ese desagrado me lleva a manejar las cosas con negligencia, y entonces surgen contratiempos que aumentan el fastidio y me van afirmando en mi renuencia a salir de la ciudad.

"Es malo que un científico no viaje", pontifica alguna voz dentro de mi conciencia. Ya lo sé, respondo: delata un temor a exponer nuestras ideas y resultados a la crítica de los colegas. Me siento obligado a viajar.

Pongo mi gastada maleta de lona mostaza sobre la cama, y la voy cargando con cinco calzoncillos, cinco pares de calcetines, cinco camisas, el *necessair*, el paraguas retráctil y, cuando considero que ya contiene todo lo imprescindible, voy a bañarme.

Durante el baño mi malhumor va en aumento. No me resigno a alejarme de la ciudad, mi casa, mi biblioteca, mi jardín, mis amigos, los cines y los restaurantes habituales. Me enferman las empleadas de los aeropuertos que, fingiendo la voz que tendrían al borde del orgasmo, anuncian con deleite visceral que nuestro vuelo se retrasará otras dos

* Del libro "Recuerdos y milanesas", que escribiré en cuanto tenga tiempo.

horas y media. Me deprimen los adelantos de una aeronáutica, que brinda desayuno en México, almuerzo en Nueva York y equipaje en... Frankfurt: me lo han perdido más de una vez.

"Es malo que un científico no viaje", vuelve a recriminar la voz de mi alter ego profesional. Ya lo sé, respondo: nos priva de los consejos que nos suelen brindar los colegas de otras tierras; del enterarse de datos no publicados aún, de secretos y trucos experimentales que sólo nos confían en una rueda de café; del regalo de nuevos anticuerpos y de reactivos que todavía no están en el mercado.

—No permitiré que lleves esa valija rafañosa —protesta Nona, mi mujer, que irrumpe en el baño para anunciar que acaba de cambiar mis cosas de la derrengada maleta mostaza a otra —para ella— más decente. Mi mujer aprovecha los preludios de mis viajes para inspeccionar mis pertenencias y determinar que tal camisa ya está demasiado raída y ha de regalársele al portero; que tal pantalón está para la basura, que necesito comprar más pares de calcetines, que ni bien regrese deberé enviar mi impermeable a la tintorería. En ocasiones, también mis bolsos y portafolios sufren drásticos decomisos.

"Es malo que un científico no viaje", vuelve a enunciar mi conciencia. Ya lo sé, respondo: los grandes científicos no suelen leer revistas, hay que ir a ponerles delante de la nariz los resultados que uno va logrando; ni siquiera consultan los cuatro o cinco *journals* más importantes del tema y, aun en el remoto caso de que sus colaboradores jóvenes detecten alguno de mis artículos y se los señalen, debo ir yo, personalmente, a describirles en perspectiva toda mi línea de trabajo. Iré, pero el acarreo de la valija y el dormir en hoteles con almohadas más altas o más bajas que la mía me producirán tortícolis y contracturas.

—A propósito de tu tortícolis —vuelve a asomar Nora— si no tienes nada más que agregar a tu equipaje, le pido a Fabián que lo cargue en el coche—. Mi mujer piensa en todo.

Mi hijo Fabián suele acompañarme al aeropuerto. Baja, registra la valija y, cuando yo regreso de estacionar el coche, le explico dónde lo dejé, le doy la boleta, y él a cambio me entrega el pase de

abordar que especifica un asiento sobre el pasillo en la sección de no fumadores. Mera rutina, con la que evito en lo posible acarrear pesos y exponerme a una recaída del pinzamiento de disco intervertebral que tuve hace más de veinte años.

Al llegar al aeropuerto de Nueva York, mi reluctancia a viajar cobra un nuevo justificativo: desfilan los equipajes por la cinta transportadora y, mientras viajeros más suertudos van retirando los suyos, me invade la desazón presagiosa de que no encontré el mío. Siempre promuevo esa desazón, como cábala o anticipo espiritual por si realmente se perdió, o como fuente de alegre contraste cuando luego lo descubro. Pero ya casi no quedan maletas, hasta que de pronto, acabada la repartija, la cinta se detiene con un par de sacos de correo encima, algunos bultos estrafalarios, y dos o tres equipajes. Ahora sí que se jodió la cosa.

—¿Puedo ayudarle? —me pregunta un guardia, que suena más bien a "A ver si te apuras y te vas de aquí, que éste no es alojamiento para latinoamericanos abre bocas".

—Sí, falta mi maleta —declaro (denuncio) con una voz que suena a "¡Por qué no se irán todos al mismísimo demonio!". Y el tipo se marcha anunciando que llamará al representante de Aeroméxico.

—No se preocupe, llene el formulario correspondiente y en veinticuatro horas puede usted retirar su valija —trata de calmarme el representante tras escucharme explicar que me la han extraviado.

—¡Veinticuatro horas! ¡Cómo "veinticuatro horas"! En veinticuatro horas deberé estar en New Haven, Connecticut —vocifero, y ya no puedo contener mi bronca. —¡Cómo se animan ustedes a operar una compañía aérea, cuando no tienen siquiera el conocimiento, la organización y el cuidado para vender tacos en la esquina!

—Disculpe señor —balbucea respetuosamente el empleado— pero ahora mismo telegrafía a México para que en el próximo vuelo...

—¡El próximo vuelo...mangos! ¿No le digo, pedazo de salame, que tengo que continuar ya

mismo mi viaje hacia New Haven?— Y aunque el tipo es realmente corpulento, mi rabia me induce a expresarle insensatamente mis deseos de que ojalá de una vez por todas pongan de patitas en la calle a los papanatas ineficientes como él.

El empleado se pone blanco de indignación, y se arregla para que el refusilo de los ojos y la contracción de los músculos de la mandíbula me hagan claras sus esperanzas de toparse conmigo fuera de sus horas de servicio. Pero el reglamento le indica que se las tiene que aguantar, y anuncia a regañadientes que irá al mostrador de Aeroméxico a buscar un formulario, para que yo lo llene con mis datos personales, número de vuelo y características del equipaje extraviado. Se va. Me deja hirviendo en mi propia bilis, el muy maldito.

Lamento haberme excedido, pues cuando el próximo vuelo de Aeroméxico traiga mi valija, lo menos que hará el representante es orinarle adentro. Y en tales pensamientos estoy, cuando un empleado del Aeropuerto Kennedy, ajeno a mi problema, murmura "May I see your ticket", al tiempo que me quita el boleto de las manos, y se dirige hacia los bultos abandonados sobre la cinta transportadora. Toma una maleta, constata que el número de la etiqueta coincide con el de la tarjetita pegada a mi boleto, y me la viene a entregar con el aire aburrido de quien debe hacer dicho trámite un millar de veces al día. En ese momento entiendo instantáneamente que yo había estado buscando la valija mostaza, y que no conocía en cambio la que Nona me preparara con tanto cariño.

"Investigador ferozmente masacrado por empleado de Aeroméxico", anuncia el titular del diario que imagina mi mente despavorida. Tomo la valija y busco refugio detrás de uno de los gruesos pilares cubiertos de mayólicas amarillas. Con extremo cuidado me asomo para astisbar, pero no diviso al grandote que partió por el formulario. Cual si fuera un comando que acaba de ser lanzado en paracaídas en pleno territorio enemigo, evalúo mi situación. A unos pasos de la columna comienza una pared de carretillas metálicas encastradas una dentro de otra, de las que usan los pasajeros para transportar sus pertenencias. Corro agazapado desde mi escondrijo hasta ella y me voy desplazando por detrás hasta alcanzar la otra punta.

Vuelvo a espiar: ningún gigantón a la vista. Me animo a correr hasta una segunda columna amarilla. La alcanzo sin novedad, pero mi huida no será fácil: debo pasar aduanas y entonces el fortachón de Aeroméxico me atraparé en los mostradores. Por fortuna ha transcurrido tanto tiempo desde que repartieron los equipajes, que la mayoría de los viajeros ya se ha retirado, de modo que en dos o tres de los puestos los aduaneros, ya libres, conversan despreocupadamente. Uno... dos... ¡tres! cuento, salgo volado hasta el más cercano y me agazapo para desaparecer de la vista de quien transite por la sala de cintas transportadoras. Arrojo mi pasaporte sobre el mostrador y pretendo esforzarme por subir la valija sobre él, tomándola para ello desde su borde inferior, ardid que me permite continuar agachado.

—¿Algo que declarar?

—No señor —exclamo con ansiosa esperanza, y oigo un celestial "Muy bien, vaya nomás", al tiempo que recibo mi papeleta sellada. Pero, todavía en cuclillas, me vuelvo hacia la sala y asomo media cabeza para cerciorarme una vez más de que puedo emprender la huida final hacia la calle. ¡Dios sea loado! agradezco, y corro tan rápido como mi valija me permite, sin dejar por eso de mirar furtivamente sobre mi hombro.

—¡Puedo ver su pasaporte! —me intercepta un guardia vestido de civil, que sin embargo no debe ser de la policía secreta, puesto que luce una identificación de plástico con su foto a colores colgando sobre el pecho.

—Pero si ya... —comienzo a desfallecer. Sin embargo, tengo el buen tino de no seguir perdiendo tiempo y le entrego el pasaporte que no había alcanzado a guardar. Caigo en la cuenta de que, escurriéndome de columna en columna, atisbando aterrado, tratando de pasar a hurtadillas, agazapado, debo parecer una caricatura del inmigrante ilegal. Con grave parsimonia el hombre se dedica a mirar mi nombre, las fechas de emisión y caducidad, a comparar mi cara con la foto, a leer cuidadosamente la visa. Todo en regla. Intento retirar entonces mi documento de sus manos pero oigo un fatal:

—¿Puedo ver su pasaje de regreso?

Y ya rastreo mis bolsillos para encontrar al condenado boleto, cuando veo que a lo lejos el grandote de Aeroméxico entra, formulario en mano y gesto de bulldog encabronado, a la sala de cintas transportadoras. Soy hombre muerto, pienso, e intento resguardarme tras el guardia, que observa con perpleja curiosidad mi desplazamiento angular y tarda otra eternidad en revisar mi pasaje, para ver si en el ínterin logra descubrir qué canastos me sucede.

—¿Trae dinero americano? —me pregunta con cierta sorna. Pero queda confundido cuando pongo en sus manos unos dólares cuidadosamente doblados. Advierto que el empleado de Aeroméxico descansa sus puños en la cintura y recorre ceñudo las cintas transportadoras. ¡Qué pocas cintas transportadoras hay en el Kennedy! Deberían tener... ¡infinitas! "Aeroméxico solicita que se aplique el artículo 33 y se extradite a un argentino que, tras insultar a su representante, osó denigrar a la compañía", se lee ahora en el titular del periódico que imagino. El tipo está a escasos diez metros, cuando mi policía solicita:

—Any major credit card? —y yo azoto sus manos con un tarjetazo, que trata de acabar de una vez por todas con aquel suplicio de la gota. En mi rebúsqueda encuentro mi chequera y también se la doy ¡Dios mío! A juzgar por su gesto maligno, al grandote de Aeroméxico se le acaba de instalar una idea criminal en la mente, y empieza a revisar los mostradores de la aduana con aplomada pero resuelta amenaza. El guardia interrumpe el cotejo de mi firma en la tarjeta con mi firma en el pasaporte, y me mira con una severidad que intenta confundirme, para que delate el motivo de mi enigmática conducta. Pero no caigo en su trampa. Mi problema no es con el gobierno de los Estados Unidos. Por el contrario, le sonrío, si bien con media cara, pues mis ojos siguen espiando al Goliat de Aeroméxico. El oficial migratorio queda perplejo ante mi cara desesperada y mi coreografía pugilística, con esquives, agaches, juegos de cintura y todo. Dudo que se vaya a dar por satisfecho antes de que el empleado de Aeroméxico llegue al mostrador cercano a nosotros y me descubra. Ante la inminencia de perder por knock out se me aflojan las rodillas.

El policía sostiene mi pasaporte, tarjeta de crédito, dinero, libreta de cheques y pasaje, como si se

tratara de una mano de barajas, pero no puede compaginar con ellos modelo explicativo alguno de mis desplazamientos furtivos y ansiosos. "Demasiado estúpido para narcotraficante" ha de pensar, gracias al cielo. Me mira fijamente a las pupilas y huele mi hocico para orientar su búsqueda hacia opiáceos y alcoholes; luego baja la mirada hacia mi atildada vestimenta y mi cuerpo esgrimístico. Frunce la boca.

—¿Cuál es el motivo de su viaje a los Estados Unidos? —le oigo exigir.

—Vine a Yale, en New Haven, Connecticut, a un simposium... —voy explicando sin suspender mis cabeceos, bailoteo de boxeador y desplazamientos laterales para ocultarme detrás suyo, pues el orangután de Aeroméxico ya está a solo un mostrador de distancia.

—¡Oh! —exclama el policía, con la expresión de logro intelectual que, me imagino, habrá tenido Arquímedes cuando saltó en bolas fuera de su bañera gritando ¡Eureka!— Are you a scientist?

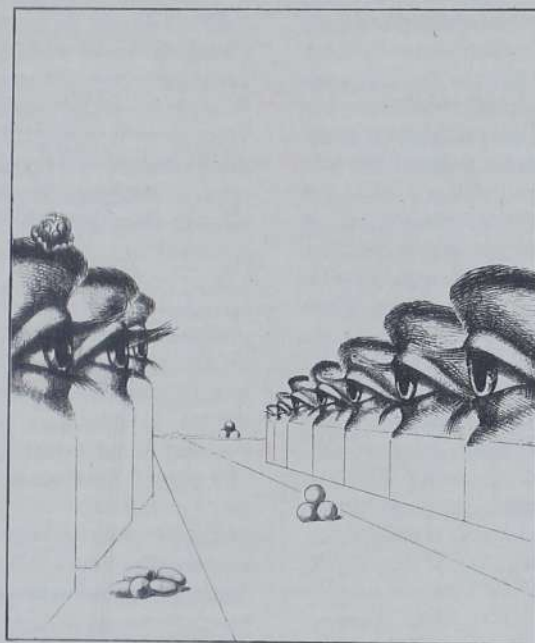
—Yes! Of course! —aúllo.

—Oh, I see... —musita el hombre. Su descubrimiento lo va estusiasmando, ya sonrío, ya dobla su cuerpo hacia atrás para gritarle su regocijado triunfo al aire: "I see... ¡A scientist!". No logro descifrar cuál es su concepto sobre los hombres de ciencia, concepto que de pronto le permite entenderme. Es más: sospecho que si me lo explicara me ofendería. Lo cierto es que recobra su compostura, cierra el abanico que había hecho con mi papeles y me los entrega satisfecho, al tiempo que, torciendo la comisura de la boca, condescendentemente murmura: "Have a nice trip, doctor", y permite que salga del aeropuerto, que me adentre en la inmesidad de la calle.





Física y matemáticas en la frontera



David J. Gross

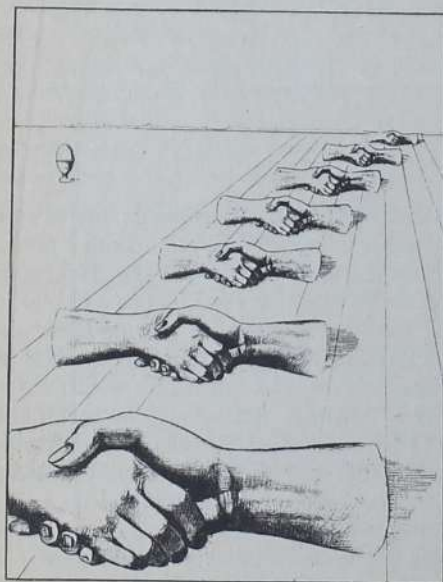
1. Introducción

Paul Dirac, uno de los grandes precursores y héroes de la mecánica cuántica, creía firmemente en la profunda conexión entre matemáticas y física. Más que la mayoría de los científicos, pensaba que, por sí misma, la exploración de las estructuras ma-

temáticas podía conducir al descubrimiento de una física nueva y genuina. En esto, como en muchas otras cosas, Dirac fue un adelantado. Hoy, el objetivo de la física teórica, como nunca antes, se halla en armonía con el punto de vista de Dirac acerca de los vínculos profundos y fructíferos en la física fundamental. Por ello me parece particularmente apropiado hablar en esta ocasión, al recibir la Medalla Dirac, de la interacción entre física y matemáticas. Me limitaré al campo de la física de partículas elementales. Aquí, en la exploración de las leyes fundamentales de la naturaleza, las matemáticas y la física han tenido el nexo más prolongado y fértil.

El Dr. David Gross es profesor de la Universidad de Princeton, EUA. Su campo de investigación es la teoría de partículas elementales. El presente artículo fue tomado de *News from ICTP*, núm. 20-21, pág. 3 (1989), cuya versión original se presentó en un simposio de la Academia Nacional de Ciencias y fue publicado en *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85, págs. 8371-8375 (1988). (Traducción de Carlos Chimal.)

Sin embargo, debo matizar el uso que hago de "fundamental", una palabra embarazosa que podría despertar el humor belicoso de aquellos colegas míos que no están de acuerdo en que un campo sea más fundamental que otro. Por fundamental no quiero decir supremo, preeminente o dominante, sino más bien básico, elemental e implícito. En ese sentido, si fuéramos a enseñar física en un tenor lógico, en oposición al método histórico tradicional, podríamos comenzar con las leyes fundamentales de la física. Desde este punto de vista, las leyes de la mecánica de fluidos serían consideradas como una consecuencia de las leyes microscópicas de la dinámica clásica, las cuales son en sí mismas una excelente aproximación a las leyes no relativistas de la mecánica cuántica atómica. Los átomos se comprenderían, en una excelente aproximación, mediante una mecánica cuántica no relativista que describe electrones que interactúan con sus núcleos; éstos serían considerados estados ligados de quarks y gluones; y todos estos ingredientes formarían parte de una teoría estándar de la física de partículas elementales, la cual es (junto con la ley de la gravedad) parte de quién sabe qué. Es asunto de la física de partículas elementales encontrar el siguiente peldaño de esta escalera, descubrir el "quién sabe qué" a partir del cual podamos deducir nuestra actual, un tanto incompleta descripción de la materia y sus interacciones.



Es este reino de la física fundamental el que se halla íntimamente interrelacionado con la investigación matemática en la frontera del estudio matemático, donde se descubren los nuevos modelos y se construyen los nuevos edificios.

Esto ha sido así desde los orígenes de la física moderna, cuando Galileo enunció por primera vez la proposición de que el lenguaje natural de la física era la matemática. Newton, uno de los grandes matemáticos de su época, inventó el cálculo infinitesimal a fin de calcular las órbitas planetarias así como para resolver problemas matemáticos puros. Durante los siglos siguientes hubo poca diferencia entre la física teórica y las matemáticas, y muchos de los más grandes protagonistas —Laplace, Legendre, Hamilton, Gauss, Fourier— fueron considerados físicos por los físicos, y matemáticos por los matemáticos.

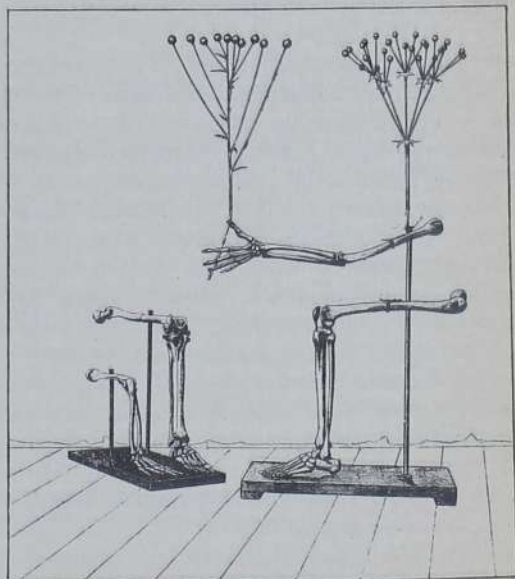
El siglo XX ha presenciado dos revoluciones en física y la culminación de una teoría de la materia ordinaria y sus interacciones. Una vez más hemos recurrido a las matemáticas a fin de hacernos de las herramientas y del marco teórico para esta empresa. Cuando en 1915 Einstein creó la relatividad general, teoría dinámica del espacio y del tiempo, se hallaban a la mano las herramientas necesarias de la geometría diferencial. Habían sido creadas por Gauss y Riemann el siglo anterior. El efecto de la relatividad general sobre las matemáticas fue repentino. La geometría riemanniana se convirtió en un tema central de la geometría. El desarrollo de la mecánica cuántica se llevó a cabo con base en el entendimiento de los espacios de Hilbert e influyó en el desarrollo del análisis funcional. La física de partículas se apoyó desde un principio en forma importante sobre la teoría de los grupos continuos, lo cual fue motivado en parte por el deseo de comprender la simetría espacial de la estructura cristalina.

Sin embargo, hacia la mitad del presente siglo las matemáticas y la física fundamental habían sido desarrolladas en direcciones muy distintas con poca interacción significativa entre ellas. Esto se debió, en parte, a una atmósfera de abstracción cada vez mayor en la comunidad matemática, así como a una insistencia en un rigor formal inflexible, como lo ejemplificó la famosa Escuela Bourbaki. (Esta es-

cuela, por cierto, ha tenido un efecto desastroso en el estilo escrito de las matemáticas, ya que ha promovido que los autores eliminen de la descripción de sus trabajos todo vestigio de razonamiento intuitivo o cualquier alusión a la manera como llegaron a sus ideas. Este estilo, que últimamente está empezando a cambiar, ha complicado para los legos seguir el desarrollo de las matemáticas modernas.) No obstante, gran parte del razonamiento de esta separación se debió a los desarrollos en física. Primero, el temprano desarrollo de la mecánica cuántica y sus primeras aplicaciones para dilucidar la estructura de la materia requerían poca complejidad matemática. Se ha dicho que "en los treinta, bajo la desmoralizante influencia de la teoría de la perturbación teórica cuántica, las matemáticas exigían a un físico teórico que se limitara a un conocimiento rudimentario de los alfabetos latín y griego". Los instrumentos matemáticos simples eran más que suficientes para las primeras aplicaciones de la mecánica cuántica al estudio de la materia. Durante las primeras décadas después de la guerra, el panorama de la física de partículas se amplió rápidamente. Esa época se hallaba dominada por las sorpresas experimentales y la construcción de un modelo teórico requería algo más que las herramientas matemáticas tradicionales.

La situación cambió notablemente hace diez años, cuando, gracias a décadas de exploración experimental, llegamos a las teorías de norma no abelianas de las interacciones fuerte, débil y electromagnética. Tales teorías son aceptadas hoy universalmente, ya que producen una descripción completa de todas las interacciones de la materia en energías y distancias accesibles, hasta ahora, en forma experimental. Este desarrollo es sin duda uno de los logros más significativos de la ciencia del siglo XX. En fecha reciente se ha puesto mayor atención a la exploración de la estructura de estas teorías y a intentos aún más ambiciosos por construir teorías unificadas de todas las interacciones de la materia junto con la gravedad. En el desarrollo de estas teorías de norma —el llamado "modelo estándar"— ha sucedido que muchos problemas significativos conducen a conceptos importantes en las matemáticas modernas. De hecho, muchos de tales conceptos fueron ideados de manera independiente por físicos y matemáticos.

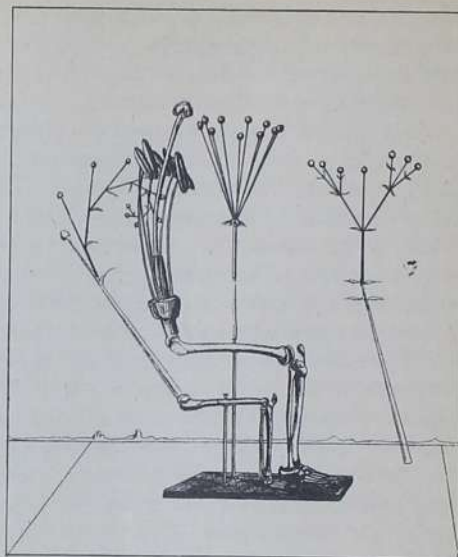
Así, por ejemplo, en 1931, en uno de los artículos más hermosos en física teórica, Paul Dirac analizaba la posible existencia de cargas magnéticas elementales, los monopolos magnéticos. Como todos saben, no existen pruebas en la naturaleza de la existencia de dichos monopolos. Si cortamos un imán en dos, en lugar de obtener una pieza con un sólo polo norte y una con sólo un polo sur, tenemos dos nuevos imanes cada uno con sus respectivos polos norte y sur inseparables. Este es un hecho experimental, pero los monopolos podrían existir y haber eludido la observación hasta ahora; en cualquier caso, tal vez podamos llegar a observar sus existencia. Dirac investigó esta posibilidad en el contexto de la entonces recién desarrollada mecánica cuántica. Demostró que en ésta los monopolos magnéticos tenían sentido si y sólo si el producto de su carga, g , con la carga eléctrica del electrón, e , era un múltiplo entero de la constante de Planck, h : $ge = n - h$. Esto era sumamente emocionante, pues significaba que en la medida que existiera un polo magnético en el universo, todas las cargas tenían que cuantificarse en unidades enteras de h/g . En términos matemáticos, Dirac había descubierto un entero que caracterizaba la clasificación topológica de los haces vectoriales, constructos matemáticos que fueron ideados casi al mismo tiempo por los matemáticos. Estos concep-



tos han llegado a desempeñar un papel de importancia cada vez mayor en las modernas teorías de norma y en las matemáticas modernas.

Hemos pedido prestado mucho de las matemáticas modernas, pero ahora la deuda está siendo pagada. Es fascinante el hecho de que las geometrías de tres y cuatro dimensiones, que son precisamente el número de dimensiones espaciales y espaciotemporales, sean, al menos en términos macroscópicos, de sumo interés desde un punto de vista matemático. La variedad de superficies bidimensionales es tan pequeña que su análisis es sencillo. El análisis clásico utiliza herramientas que también desempeñaban un papel central en la física clásica, particularmente en el electromagnetismo. Las soluciones de la ecuación de Laplace, por ejemplo, que se emplean en la resolución de problemas en electrostática, también pueden utilizarse para clasificar superficies de dos dimensiones. Uno puede desviar su atención de la superficie misma (una esfera, un toro, una esfera con 17 asas, etc.) a las propiedades de las soluciones de la ecuación de Laplace sobre la superficie, digamos, el número de soluciones generales independientes de esta ecuación. Los resultados clásicos son tan simples como en el análisis de las superficies bidimensionales, debido a que la ecuación de Laplace es lineal.

Una vez que tenemos más de cuatro dimensiones, hay mucho sitio disponible para que las cosas se vuelvan simples otra vez. Tres y cuatro dimensiones siguen siendo sumamente misteriosas. Aquí, los métodos desarrollados en las teorías de norma cuántica, que utilizan los llamados "instantones", fueron tomadas hace pocos años por Donaldson, Taubes y Floer para deducir algunas propiedades profundas y sorprendentes de la geometría de tri y tetra espacios dimensionales. Parece que las ecuaciones que gobiernan los campos de norma en cuatro dimensiones, que fundamentan la moderna física de partículas, desempeñan un papel en la geometría de tres y cuatro dimensiones, similar al que desempeñaban las ecuaciones de Laplace en dos dimensiones. En lo que difícilmente será el capítulo final de esta saga, Witten ha reinterpretado en fecha reciente la teoría de Donaldson en términos físicos, sirviéndose de ella para especular sobre una nueva fase de la gravedad cuántica; y



empleando las teorías de norma cuántica a fin de ofrecernos una bella interpretación de ciertos invariantes que nos permiten clasificar problemas en tres dimensiones.

Finalmente, recientes desarrollos en la teoría de supercuerdas, una ambiciosa teoría que intenta construir una teoría cuántica unificada de la materia y la gravedad, han comenzado a aproximarse a las fronteras reales de las matemáticas. Tales teorías han atraído gran parte de la atención de los matemáticos ya que proporcionan fuertes indicios de nuevos nexos entre partes hasta hoy separadas de las matemáticas. Muchos físicos creen que la comprensión final de la estructura de la teoría de cuerdas implicará generalizaciones fundamentales de la geometría. Quizá estemos entrando en una era de oro en la larga historia de cooperación entre las matemáticas y la física fundamentales. Hablaremos de ello más adelante.

2. Sobre la inexplicable eficacia de las matemáticas en física

Hace casi treinta años, Eugene Wigner se preguntaba sobre la "inexplicable eficacia de las matemáticas en las ciencias naturales". De hecho, la eficacia de esta disciplina en la física es extraordina-



ria, y muy a menudo se da por un hecho. Wigner sostenía que no es del todo obvio que los conceptos matemáticos sean adecuados para la descripción de los fenómenos naturales. Estos conceptos ciertamente no son simples desde un punto de vista conceptual, ya que la simplicidad conceptual no es uno de los objetivos primarios de las matemáticas, ni tampoco son necesariamente inevitables. Sin embargo, sin duda son útiles. A menudo, la formulación matemática de la física ofrece una notable fidelidad en la descripción de muchos fenómenos. Esta trayectoria de concordancia nos da pruebas suficientes de que las matemáticas son el lenguaje correcto de la física. Wigner señalaba que "la enorme utilidad de las matemáticas en las ciencias naturales es algo que raya en lo misterioso y no existe explicación racional para ello. No es tan natural como parece que las 'leyes de la naturaleza' existan, y mucho menos que el hombre sea capaz de descubrirlas. El milagro de lo pertinente que resulta el lenguaje matemático para la formulación de las leyes físicas es un don maravilloso que ni entendemos ni merecemos". Supongo que en esta última aseveración quería decir que si no las comprendemos entonces no las merecemos.

En realidad, se trata de una especie de milagro mediante el que podemos concebir teorías que nos permiten realizar predicciones increíblemente

precisas respecto de los fenómenos físicos, y que podemos llevar a cabo experimentos controlados que nos permiten medir estas cantidades con extraordinaria exactitud. Para dar uno de los ejemplos más asombrosos, consideremos el momento magnético del electrón. Este puede concebirse en términos primitivos, muy primitivos, como una diminuta bola eléctricamente cargada que gira. La carga rotatoria da origen a una corriente, la corriente a un campo magnético. Por tanto, el electrón tiene un momento magnético μ (el cual determina el campo magnético que produce) proporcional a su espín S ;

$$\mu = g \frac{eh}{2mc} S.$$

Naturalmente, la relación giromagnética del electrón, g , debe ser igual a 2, y la desviación de g de 2 era una de las anomalías que estimularon el desarrollo de la teoría cuántica relativista del campo electromagnético. Luego de muchísimos cálculos, los investigadores dedicados a la electrodinámica cuántica pudieron predecir, y después de mediciones muy cuidadosas los científicos atómicos pudieron determinar este parámetro en una parte en cien billones! El resultado es (utilizando $\alpha^{-1} = 137.035963(15)$)

$$g_{\text{teo.}} = 2 \left[1 + \frac{\alpha}{2\pi} - .328478445 \left(\frac{\alpha}{\pi} \right)^2 + 1.183(11) \left(\frac{\alpha}{\pi} \right)^3 + \dots \right]$$

$$= 2[1.000159652459 \pm .00000000123]$$

$$g_{\text{exp.}} = 2[1.000159652459 \pm .00000000004]$$

No estoy seguro de cuál es más extraordinaria, la precisión teórica o la exactitud experimental. En términos experimentales, esta exactitud se logra mediante la proeza de capturar un solo electrón, durante largo tiempo, en una botella magnético-eléctrica (una trampa de Penning). En cuanto a la teoría, uno debe calcular hasta el cuarto orden en el desarrollo perturbativo de la electrodinámica cuántica, y este orden requiere la evaluación de 891 diagramas de Feynman, lo cual también significa una hazaña teórica. El error involucrado en el cálculo está totalmente dominado por las incertidumbres en la determinación de la constante de estructura fina $\alpha = 1/137.03$, que es la constante adimensional que caracteriza la intensidad de la fuerza electromagnética.

La capacidad para lograr esta clase de precisión es resultado de muchas circunstancias afortunadas —por nuestra habilidad para aislar del entorno los fenómenos físicos estudiados; por la invariancia de la física básica bajo traslaciones temporales y espaciales, de tal forma que podemos repetir los experimentos en cualquier otro momento; y por la pequeñez de la constante de estructura fina—, características ausentes en el análisis, digamos, de los fenómenos sociales. Sin embargo, también es resultado de esta milagrosa correspondencia (o isomorfismo, para emplear el término matemático) entre las estructuras matemáticas puras que subyacen en la teoría de campo cuántico y el mundo físico real, material. Esta aparentemente perfecta concordancia, que se evidencia en estas y muchas otras mediciones, era el origen del asombro de Wigner. Como lo dijo Einstein, “¿cómo es posible que las matemáticas, un producto del pensamiento humano que es independiente de la experiencia, se adecúen con tal exactitud a los objetos de la realidad física?”. Después de todo, en muchas otras áreas del discurso humano nuestros conceptos son demasiado confusos y nuestros instrumentos de análisis excesivamente burdos para alcanzar una armonía semejante. Si tuviéramos que generalizar sobre los logros de la economía y la ciencia política, tendríamos que decir con Pascal: “La Exactitud y la Verdad son puntos tan finos que nuestros instrumentos, demasiado brutos, no pueden tocarlos”.

Quizá podamos comprender un poco más este misterio si profundizamos en él examinando otro milagro en la conexión entre matemáticas y física.

3. Sobre la inexplicable belleza de las matemáticas en la física

El misterio de la eficacia de las matemáticas en la física fundamental es mucho más profundo que el simple milagro de su asombrosa utilidad. Después de todo, no es sorprendente enfrentar situaciones complejas que involucren sistemas constituidos de muchas partes, las cuales en sí mismas son sencillas. También hemos aprendido, recientemente, que incluso los sistemas simples, cuyas microscópicas leyes de evolución son fáciles de describir, pueden presentar un comportamiento extremadamente

complejo. Sin embargo, podríamos esperar ser capaces de describir las leyes microscópicas en función de matemáticas simples. Lo más extraño es que para las leyes fundamentales de la física necesitamos de matemáticas aún más profundas, y que a medida que indagamos más adentro a fin de revelar la simplicidad microscópica última, requerimos de estructuras matemáticas más y más profundas. Inclusive, dichas estructuras matemáticas no son solamente más profundas, sino que son también más interesantes, hermosas y poderosas. Como los observó Dirac: “Parece ser una de las características esenciales de la naturaleza el que las leyes físicas fundamentales sean descritas en función de gran belleza y poder” y “Conforme pasa el tiempo, se vuelve cada vez más evidente que las reglas que los matemáticos encuentran interesantes son las mismas que la Naturaleza ha elegido”.

Esta hipérbole está llena de terminología definida como nociva: interesante, bello, poderoso. ¿Qué queremos expresar cuando decimos que una ecuación es bella?, ¿o que un concepto físico es poderoso? Pensemos en la formulación matemática del “modelo estándar”, la referida teoría de las interacciones fuerte, débil y electromagnética, que según nosotros describe todos los constituyentes de la materia y sus interacciones en distancias de 10^{-15} cm. La acción que describe esta teoría, a partir de la cual pensamos que, en un frenesí del reduccionismo, puede describir toda la física de energías bajas, está dada por la siguiente expresión matemática:

$$\begin{aligned}
 S = \int d^4x \sqrt{g} \bigg[& \frac{1}{4} g_{\alpha\beta} g_{\gamma\delta} \{ A^{\alpha\gamma} A^{\beta\delta} + \text{Tr } B^{\alpha\gamma} B^{\beta\delta} \\
 & + \text{Tr } C^{\alpha\gamma} C^{\beta\delta} \} \\
 & + \frac{\theta_2}{32\pi^2} \text{Tr } B^{\mu\nu} \widetilde{B}_{\mu\nu} + \frac{\theta_3}{32\pi^2} \text{Tr } C^{\mu\nu} \widetilde{C}_{\mu\nu} \\
 & + \sum_{i=1}^3 g_{\mu\nu} (\bar{Q}_i \gamma^\mu D_\nu^\alpha Q_i + \bar{L}_i \gamma^\mu D_\nu^\alpha L_i) \\
 & + g_{\mu\nu} \text{Tr } (D_\mu^\alpha \Phi)^\dagger (D_\nu^\alpha \Phi) - V(\Phi) \\
 & + \sum_{ij a} (\bar{Q}_i \Gamma_{Qa}^{ij} Q_j \Phi^a + \bar{L}_i \Gamma_{La}^{ij} L_j \Phi^a) + R \big]
 \end{aligned}$$

¿Es hermosa? Tal vez, pero sólo a los ojos de un espectador muy bien informado. Sin duda, la noción de belleza en matemáticas, como en el arte, implica un gusto adquirido. Para poder apreciar la belleza matemática se requiere de una prolongada educación y largas horas de adiestramiento, y siem-

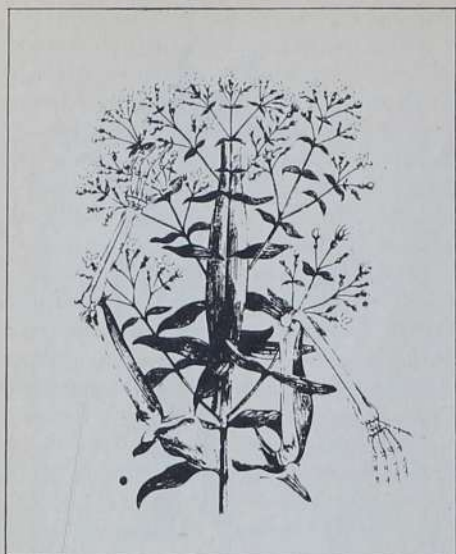
pre se trata de un juicio subjetivo. Sin embargo, existe la tendencia entre los matemáticos y físicos a llegar a un consenso respecto de lo que es bello y lo que no lo es. En la teoría anterior, hay una parte importante que la mayoría de nosotros siente como algo hermoso y una gran parte que no la sentimos así. Las partes hermosas son aquellas que explican las fuerzas de la naturaleza en la medida que surgen de los poderosos principios de simetría que conforman el sentido de estas "teorías de norma". Son bellas para los físicos, pues a partir de un sencillo principio de simetría deducimos en un estilo casi único la naturaleza de las fuerzas de la Naturaleza y la existencia de los portadores de estas fuerzas: el gravitón que sirve de fundamento a las fuerzas gravitacionales, el fotón de luz, los gluones que mantienen unidos los núcleos, y los mesones W y Z , que son los responsables de su decaimiento radiactivo. Esta parte de la teoría también es bella para los matemáticos ya que estas teorías de norma proporcionan gran interés a medida que se descubren sus estructuras matemáticas: los haces fibrados a los que me referí anteriormente.

partes que no son juzgadas hermosas son aquellas que describen el extraño espectro de la materia. Estas no se derivan de ningún principio de simetría y deben ser colocadas a mano con muchos, muchísimos parámetros a fin de que concuerden con la observación. De hecho, se debe sobre todo a esta carencia de belleza, así como al gran número de parámetros que no tienen explicación, 19 en total, por lo que creemos que esta teoría no es el final del asunto; simplemente no es suficiente. Desde luego, estos dos defectos están correlacionados. Tanto en matemáticas como en física la belleza y la fuerza de un concepto están íntimamente ligadas. Encontramos que ciertos conceptos y estructuras son bellos si nos permiten derivar nuevos resultados; comprender nuevos fenómenos, si son poderosos.

El aspecto más hermoso del modelo estándar es la idea de las simetrías locales o de norma. Estas no son como las simetrías generales conocidas del mundo, según las cuales las leyes de la física permanecen inalteradas si llevamos a cabo una transformación de simetría en todo el mundo al mismo tiempo. Recordemos que un sistema posee simetría si después de efectuar una transformación geomé-



trica permanece sin cambios. Por ejemplo, los sistemas físicos poseen simetría rotacional si no sufren cambios en rotaciones alrededor de algunos ejes. Si el mundo tiene una simetría de norma, podemos realizar rotaciones locales por una cantidad que podría ser distinta de un sitio a otro. Esta simetría apareció por primera vez cuando Maxwell formuló las leyes del electromagnetismo a mediados del siglo XIX, aunque su cabal significado no se comprendió hasta el desarrollo de la mecánica cuántica. Una teoría que tiene simetría de norma local necesariamente requiere de un campo específico (el campo de norma, o, en términos matemáticos, la conexión) con la cual podemos vincular objetos que se hallan separados en el espacio. Asociados al campo de norma se hallan una partícula y una fuerza, la cual es transmitida por dicha partícula. En el caso del electromagnetismo, el campo de norma es simplemente el campo electromagnético, y la partícula de norma asociada es el fotón de luz, el cual transmite las fuerzas electromagnéticas entre las partículas cargadas. Todo electromagnetismo es una consecuencia de este principio de simetría local y de la existencia de la materia cargada. Debe notarse que todas las fuerzas restantes de la naturaleza, las fuerzas débiles responsables de la radiactividad y las fuerzas fuertes que unen los núcleos, son transmitidas por partículas que son una generalización de la luz ordinaria. La diferencia matemática



es que el grupo de simetría de norma es no abeliano, es decir, importa el orden en el que llevemos a cabo las operaciones de grupo, a diferencia de un grupo abeliano, como el que sustenta al electromagnetismo, en donde carece de importancia. Este grupo es también mucho más grande, de tal forma que existen más clases de luz. En el caso de las generalizaciones no abelianas de la teoría de norma que aparecen en el modelo estándar, las partículas de norma son los ocho gluones y las partículas W y Z que transmiten las interacciones fuerte y débil. Por supuesto, hay otras diferencias dinámicas entre estas fuerzas, las cuales surgen debido a la naturaleza no abeliana del grupo de norma, que conducen al fenómeno de la simetría que rompe las interacciones electro-débiles, y al fenómeno del confinamiento de los quarks y gluones de las interacciones fuertes. Por estas razones no observamos en forma directa la existencia de otras 11 clases de rayos luminosos.

Las transformaciones geométricas no necesitan llevarse a cabo en el espacio ordinario, tridimensional. Pueden efectuarse en un espacio interno. Así, es posible pensar en la simetría de norma del electromagnetismo como una rotación alrededor de un círculo; pero no un círculo en un espacio ordinario, sino en algún espacio interno. En términos matemáticos, es conveniente pensar en unir cada punto del espacio ordinario con un es-

pacio interno en el cual actúa la simetría local. A este objeto combinado se le llama haz fibrado. Es una de las generalizaciones más fructíferas de los objetos geométricos ordinarios, y es de interés primordial para las matemáticas modernas.

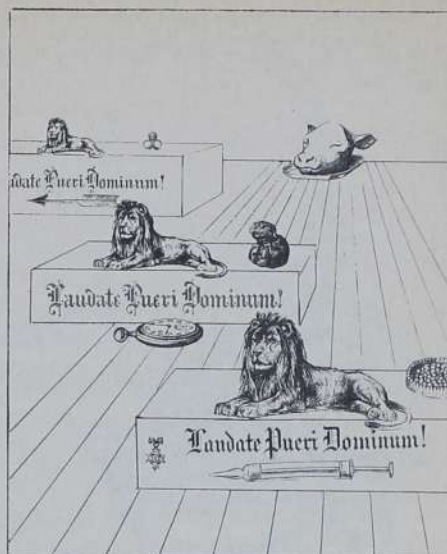
C.N. Yang, uno de los inventores de las teorías de norma no abelianas, cuenta la ocasión de su encuentro con el matemático Chern, quien había sido su maestro en China, pero con quien había tenido poca comunicación profesional. Chern fue uno de los precursores de la clasificación de los haces fibrados. Yang relata que quedó muy sorprendido cuando supo que los matemáticos habían estado charlando durante años sobre la estructura idéntica que los físicos habían descubierto. Hizo notar a Chern que "resulta a la vez emocionante y enigmático, ya que ustedes, los matemáticos, concibieron estos conceptos a partir de nada". Chern replicó: "No, no, estos conceptos no fueron inventados. Eran naturales y reales". Se trata de una respuesta maravillosa. Chern estaba expresando un punto de vista que, a partir de mi experiencia, es común entre los matemáticos creativos, esto es, que las estructuras matemáticas a las que llegan no son creaciones artificiosas de la mente humana, sino más bien tienen para ellos un carácter natural, como si fueran tan reales como las estructuras creadas por los físicos para describir el llamado mundo real. En otras palabras, los matemáticos no están inventando las nuevas matemáticas que están descubriendo. El matemático inglés Hardy decía: "Pienso que la realidad matemática se coloca fuera de nosotros, que nuestra función es descubrirla u observarla, y que los teoremas que comprobamos y calificamos en forma grandilocuente como 'creaciones' nuestras son simplemente apuntes de nuestras observaciones". Téngase en cuenta que Hardy era un teórico de números, el más puro de los matemáticos puros.

Si tal es la situación, entonces quizá algunos de los misterios que hemos estado explorando se vuelvan un poco menos enigmáticos. Si las matemáticas se ocupan de estructuras que son una parte real del mundo natural, tan reales como los conceptos de la física teórica, no debe en consecuencia sorprender que sean una herramienta eficaz para analizar el mundo real. Asimismo, podríamos esperar que las estructuras físicas y ma-

temáticas compartieran las características que calificamos de bellas. Sin duda, nuestras mentes han evolucionado a fin de encontrar placenteras las formas naturales. Es decir, estamos formulando el punto de vista de Kant, quien afirmaba que el origen de las matemáticas se encuentra en el poder organizador de la mente, de dentro hacia fuera. Nuestras mentes son producto de la naturaleza, funcionan de acuerdo a sus leyes y patrones, los cuales se reflejan en los conceptos matemáticos.

Hay una objeción evidente a este punto de vista. Los físicos teóricos están restringidos por la experimentación. Sus construcciones no sólo deben ser bellas y poderosas, también deben resultar correctas. Tienen que concordar con la experimentación e ir más allá de la mera explicación para enunciar una predicción exitosa. Los matemáticos no parecen estar limitados por estas trabas. Si los físicos buscan una estructura lógica que describe el mundo real, los matemáticos exploran el espacio de todas las estructuras lógicas concebibles, y sólo una porción de éstas se traslapan con el mundo real, único. Esto es absolutamente correcto, a pesar de que no contradice la idea de una estructura básica común que es una característica real de la naturaleza.

Si es cierto que los conceptos y estructuras que sustentan las matemáticas y la física fundamentales son comunes a ellas, entonces podría ser ventajoso para aquellos que trabajan en uno y otro campos buscar nuevas ideas y estructuras en el patio trasero del vecino. Tal estrategia fue promovida y seguida por Dirac, quien dijo: "El investigador, en sus esfuerzos por expresar las leyes fundamentales de la naturaleza en forma matemática, debe procurar sobre todo la belleza matemática". y "Es muy probable que el siguiente paso en física sea como sigue: primero se descubren las ecuaciones y luego se necesitan algunos años de desarrollo a fin de encontrar las ideas físicas que se hallan detrás de dichas ecuaciones". Por el contrario, los matemáticos deben estudiar las estructuras que los físicos descubren en busca de posibles indicios de nuevas matemáticas. El conocimiento de estructuras a partir de la física fue de enorme importancia en el desarrollo temprano de las matemáticas, y esta fertilización cruzada ha sido revitalizada en fecha reciente, no sólo en la física de partículas, sino tam-



bién en el estudio del caos en sistemas dinámicos simples, en el descubrimiento de la geometría de fractales y en muchos otros ejemplos.

La revitalización de las conexiones entre matemáticas y física es particularmente cierta en el reino de la física de partículas elementales. Intentos recientes por construir teorías unificadas de la materia y la gravedad han conducido a una clase radicalmente nueva de teoría, la teoría de cuerdas, que ofrece indicios de los vínculos esenciales a muchas áreas fronterizas de las matemáticas modernas. La teoría de cuerdas, que originalmente fue descubierta en forma accidental hace unos 20 años en un intento por comprender la fuerza nuclear, ha surgido en los últimos años como una teoría realista y prometedora, de todas las interacciones y por primera vez contamos con una teoría consistente de la gravedad cuántica. Hasta cierto punto, la teoría de cuerdas es una generalización simple del marco teórico ordinario de la teoría de campo cuántico, en la cual los constituyentes elementales de la naturaleza no son puntuales, sino objetos unidimensionales extendidos, es decir, cuerdas. Destaca el hecho de que esta aparentemente insignificante prolongación de partículas puntuales a cuerdas extendidas, sin modificar de ninguna otra manera los principios fundamentales de la física, conduce a una estructura increíble. Esta estructura implica que sólo las fuerzas que pueden existir sean preci-



samente de la clase que nosotros vemos: interacciones de norma y gravitacionales. También puede generar el contenido de materia del mundo como lo conocemos, al igual que el modelo específico de fuerzas que observamos. Contiene asimismo implicaciones extravagantes, pues exige que el espacio-tiempo tenga diez dimensiones. Para concordar con la más burda de las observaciones, debe ser cierto que seis de las dimensiones espaciales sean enrolladas en un pequeño espacio cerrado, de manera que no podemos notarlas. Esto puede lograrse ya que, como una generalización de la teoría de la relatividad general de Einstein, la teoría de cuerdas incorpora la dinámica del espacio-tiempo, y posee soluciones con seis orientaciones del espacio compactas y enrolladas.

La teoría de cuerdas ha producido ya muchas e interesantes conexiones matemáticas. Se sirve de estructuras profundas en geometría diferencial y geometría algebraica, y se relaciona con la teoría de las funciones modulares y los grupos finitos. Incluso parece tener lugar para aquellas ramas de las matemáticas que pensaba yo que nunca desempeñarían papel alguno en física, como la teoría de números y la teoría de nudos. Una vez describí este desarrollo a un famoso matemático, quien se hallaba intrigado por esta teoría y las ideas matemáticas a las que recurría. Sin embargo, siendo un mate-

mático, su primera pregunta fue: "Pero, ¿es esto física?"

Si bien originalmente esta teoría (que en principio tiene la capacidad de permitirnos calcular todos los parámetros del modelo estándar así como entender la causa que sustenta muchas de sus características) causó gran optimismo y se pensaba que conduciría pronto a nuevas predicciones y pruebas, ha experimentado una seria reevaluación. No es que haya contradicciones experimentales ni que existan indicios de inconsistencia interna; más bien es evidente que aún no sabemos lo suficiente sobre la estructura de la teoría para controlar su dinámica lo necesario a fin de establecer contacto con la experimentación. Parte del problema es que hemos tropezado casualmente con esta teoría, sin saber cuál es o será su sedimento lógico (se ha dicho que la teoría de cuerdas, descubierta por accidente en el siglo XX, pertenece al siglo XXI).

Un problema más inmediato es que al tratar de descubrir los principios de dicha teoría y al aplicarlos al mundo real con objeto de probar su validez, nos enfrentamos al hecho de que la escala de distancia básica de la teoría es sumamente pequeña. La escala de longitud fundamental de la teoría de cuerdas, o de hecho la de cualquier teoría unificada de la gravedad y la materia, es la escala de Planck, la longitud que puede formarse a partir de las tres constantes fundamentales dimensionales de la naturaleza: la constante de la gravitación de Newton, G ; la constante cuántica de Planck, h ; y la velocidad de la luz, c .

$$l_{\text{Planck}} = \sqrt{\frac{G}{hc^3}} \approx 10^{-33} \text{ cm}$$

(En forma alternativa, podemos expresar esta escala en unidades de tiempo: $t_{\text{Planck}} = 10^{-44}$ seg, o en unidades de masa: $M_{\text{Planck}} = 10^{19} M_{\text{nucleón}}$). Desafortunadamente, esta escala de longitud es más pequeña por 17 órdenes de magnitud que las distancias más pequeñas que podemos ver con nuestros microscopios más potentes, los aceleradores de partículas de mayor energía. El hecho de que este número sea tan pequeño es la causa de algunas de las características más impresionantes del universo. Por ejemplo, la razón por la cual las estrellas son tan grandes es que en la escala del ra-

dio de átomos y núcleos ordinarios la gravedad es muy débil (ya que esta escala se halla 17 órdenes de magnitud por debajo de la escala de Planck). Por tanto, los agregados de los núcleos gravitacionalmente ligados pueden contener alrededor de $(M_{\text{Planck}}/M_{\text{nucleón}})^3 = 1057$ núcleos antes de colapsarse.

El valor de este número nos presenta uno de los principales problemas de la física teórica, ya que es muy difícil ofrecer una explicación natural para un número tan pequeño. Se trata del problema de jerarquías, que es una de las motivaciones detrás de la construcción de las teorías unificadas. En cualquier caso, implica que la teoría de cuerdas es un intento por extrapolar mucho más allá de la experimentación que se lleva a cabo en nuestros días. Existen dos facetas en este problema. Primera, es difícil adivinar la naturaleza de la física en energías apartadas 17 órdenes de magnitud de la experimentación actual. Segunda, incluso si fuéramos afortunados y tuviéramos una idea de la física a esas distancias planckianas increíblemente pequeñas, sería muy complicado avanzar hasta las distancias en las que hoy se realizan las medidas. Hay mucha física que aparece a lo largo del camino que debemos comprender si queremos entrar en contacto con la experimentación.

¿Existe alguna posibilidad de experimentación directa de la teoría de cuerdas? No lo sé con certeza, pero no creo que sea imposible. Por ejemplo, algunas personas se molestan mucho con los teóricos que imaginan dimensiones extra que no pueden verse en forma directa. Llevé a cabo cierta investigación histórica y descubrí que la primera persona en objetar la existencia de más de tres dimensiones fue Ernest Mach, quien en 1883 escribió que "pueden utilizarse espacios de más de tres dimensiones, pero no es necesario considerarlos más que como artificios mentales". ¿De qué estaba hablando Mach? Por supuesto, en 1883 él no sabía de la existencia de la teoría de Kaluza-Klein ni de la teoría de cuerdas. A lo que se refería era al interés en teorías de mayores dimensiones, las cuales eran generadas por el trabajo matemático de Riemann. Hacía notar que "el uso de la cuarta dimensión fue un descubrimiento muy oportuno para los espiritistas y teólogos, quienes se hallaban en un aprieto en cuanto a la ubicación del infierno". ¡Sincera-



mente espero que los espiritistas no lleguen a enterarse de las 10 dimensiones!

La crítica de Mach no debe proporcionar consuelo a los oponentes de las teorías de Kaluza-Klein o de cuerdas, ya que en la misma página hace notar que los átomos, los cuales no pueden ser detectados por nuestros sentidos, son "esas convenientes sustancias mentales que no tienen nada que ver con el fenómeno en sí". Mach no creía en los átomos porque pensaba que no podíamos observarlos. De poco le hubiera servido saber que sólo 22 años más tarde Einstein y Smoloukowski comprenderían que la observación del botánico Brown, llevada a cabo mucho antes, nos ofrecería evidencia indirecta de la existencia de los átomos, que no podían ser percibidos mediante los sentidos, sino sólo a través de su efecto en las pequeñas partículas suspendidas en una solución. Quizá sea esta la forma en que las cuerdas, o dimensiones espaciales extra, serán finalmente mostradas, como efectos que podrían hoy encontrarse a nuestro alrededor y que aún no podemos reconocer.

Una extrapolación de esta inmensidad no tiene precedentes en la historia de la física. Uno tiene todo el derecho de expresar su escepticismo respecto de las oportunidades de éxito de semejante riesgosa aventura, como recientemente lo han he-

cho algunos de mis colegas en forma oral y pública. No resulta tan malo recordar a estos críticos que, en altas energías, hemos aprendido que la escala correcta de las distancias es logarítmica (es decir, la física cambia conforme el logaritmo de la escala de distancia para distancias muy cortas), de tal forma que una extrapolación por un factor de 1017 es realmente sólo un factor del $\log(1017) = 40$. Es igualmente inútil señalar que no tenemos más que intentar tal extrapolación si deseamos enfrentar cuestiones fundamentales.

Lo que es claro es que las nuevas estrategias que se requieren en el ambiente de nuestros días difiere de las que empleamos en décadas anteriores, cuando en nuestro campo predominaba el descubrimiento experimental. No digo que no esperáramos nuevos descubrimientos experimentales. Todas las teorías unificadas, incluida la teoría de cuerdas, predice gran parte de la nueva física que podría verse en el Superconductor Supercolisionador (SSC), el cual esperamos y confiamos será construido. Los experimentos en el SSC, si bien no nos llevarán a la escala de energía en la que la gravedad llega a ser tan fuerte como la fuerza nuclear, serán de crucial importancia para proporcionar claves en la conexión entre la física de la escala de Planck y nuestro mundo de baja energía. Sin el SSC o máquinas similares, la física de partículas morirá.

Una pregunta más interesante y práctica es: incluso si llegamos a tener éxito, ¿cuánto tiempo tardará? Es difícil de pronosticar. Permítaseme emplear una analogía con el alpinismo. Estábamos acostumbrados a que mientras escalábamos la montaña de la Naturaleza, los experimentalistas nos guiaban. Nosotros, perezosos teóricos, nos movíamos lentamente. Cada vez que ellos pateaban una piedra experimental, rebotaba en nuestras cabezas. Finalmente, llegábamos a entender la idea y seguíamos el camino que era interrumpido por los experimentalistas. Una vez que unos uníamos a nuestros amigos, les explicábamos lo que tenían a la vista y cómo podían llegar allá. Esa era la manera vieja y fácil (al menos para los teóricos) de escalar, la montaña. Todos añoramos el regreso de aquellos días. Pero es probable que hoy los teóricos tengamos que conducir el camino. Se trata de una empresa mucho más solitaria. En el pasado siempre supimos dónde se encontraba la experimentación y

en consecuencia hacia dónde debíamos dirigirnos. Ahora no tenemos idea de cuán grande es la montaña ni en dónde se encuentra la cima. Así, es muy difícil predecir cuánto tiempo tomará realizar progresos significativos.

Sin embargo, en este momento, cuando no tenemos frente a nosotros sorpresas experimentales o paradojas, y cuando la teoría de cuerdas alude a estructuras matemáticas profundas, la estrategia de Dirac se ha vuelto cada vez más atrayente. Muchos teóricos de cuerdas se hallan explorando las estructuras matemáticas que han sido levantadas por la teoría de cuerdas, con la esperanza de que proporcionen el marco esencial para dicha teoría y nos den claves en cuanto a su dinámica.

Nuestros colegas críticos denuncian estos esfuerzos, en realidad los de toda la teoría de cuerdas, y la llaman por el peor nombre que pudieron idear: matemáticas recreativas. Aunque considero una ofensa ser llamado un matemático recreativo, admito que existe un punto válido (si bien pequeño) en estas críticas. Nos recuerdan el peligro, al seguir la sentencia diraciana, de sumergirnos en las matemáticas. Para algunos teóricos, esto representa una tentación eterna. Pero no daría buenos resultados para los físicos ni, sospecho, para los matemáticos. Recordemos algunas de las diferencias entre matemáticas y física.

El punto crucial de los matemáticos es la demostración de sus teoremas, la consistencia lógica de sus resultados. El juicio final de los físicos teóricos es la experimentación. En lo personal, creo que el experimento es un perito más severo que la consistencia. Dirac, entusiasmado como estaba por las ideas matemáticas, no obstante afirmaba: "No estoy interesado en las comprobaciones, sino únicamente en lo que la Naturaleza hace". De hecho, cuando se hallaba frente a la asombrosa predicción de su ecuación relativista del electrón, según la cual debe existir una partícula cargada positivamente con la misma masa que el electrón y no contaba con ninguna evidencia de tal partícula (el positrón fue descubierto por Anderson cinco años más tarde), pensó en dejar de lado parte de la bella simetría de su teoría a fin de identificar el positrón con el protón, el cual es 1836 veces más pesado que el electrón. Weyl, quien más que ningún otro

matemático en este siglo vio las matemáticas y la física como un todo orgánico, dijo, en contraste: "Siempre he tratado en mi trabajo de unir la verdad con la belleza, pero cuando tuve que elegir, por lo general me incliné por esta última". Irónicamente, en el caso del positrón, fue Weyl quien reconoció la simetría de conjunción de la carga en la ecuación de Dirac y quien se opuso vigorosamente a la identificación del positrón con el protón. Al final se descubrió la existencia del positrón, con la misma masa que el electrón, y según la simetría de la ecuación de Dirac. Se demostró que Weyl estaba en lo correcto y prevaleció la belleza. En este caso verdad y belleza eran lo mismo, de acuerdo con mi proposición de que la mayoría de las veces no necesariamente debe haber conflicto entre estos dos principios. Sin embargo, si surge una disyuntiva entre belleza y verdad, cada uno de nosotros debe retirarse a su propia esquina de seguridad.

Los matemáticos piensan distinto y tienen diferentes hábitos de trabajo que los físicos, aun cuando exploren estructuras similares. A los matemáticos les fascina generalizar, extender sus conceptos al caso más universal posible, construir la teoría más inclusiva. Desde luego, los físicos no están interesados en el caso más general, sino en el particular del mundo real. También trabajan por simplificación, idealización y mediante la construcción de ejemplos específicos. Podríamos decir que los matemáticos trabajan para construir definiciones interesantes y útiles, a partir de las cuales fluyen los buenos teoremas; mientras que los físicos construyen modelos interesantes y útiles a partir de los cuales fluyen buenas predicciones.

Los matemáticos y los físicos también tienen poderes distintos. Encuentro que el atributo más notable de los grandes matemáticos es su poder de abstracción. Son capaces de proezas que me dejan sin respiración. Sospecho que los matemáticos admiran de igual forma la intuición de los físicos, por la cual son capaces de emplear el formalismo matemático tanto como los poetas usan el lenguaje. A diferencia de los matemáticos, se les permite abandonar las restricciones de rigor, con objeto de conjeturar sin demostración, abocándose lo más rápido posible a confrontar sus ideas con la experimentación. El matemático soviético Manin está de acuer-

do. Al analizar los avances que condujeron al modelo estándar, hacía notar "la preferencia de una lagrangiana en la teoría unificada de las interacciones débil y electromagnética... la introducción de los campos de Higgs, la deducción de los valores esperados para el vacío y otras brujerías, lo cual condujo, digamos, a la predicción de las corrientes neutrales; esto deja al matemático atónito".

Finalmente, se cree que los físicos y los matemáticos piensan diferente. Incluso la cronología de la curricula regular es distinta en los dos campos. Se concibe siempre la física en términos históricos, desde abajo hacia arriba. Empezamos con la mecánica clásica, luego seguimos enseñando mecánica cuántica relativista y sólo al final enseñamos física relativista moderna. Esto nos permite enseñar a nuestros estudiantes intuición física, ya que les dejamos practicar con los fenómenos cotidianos concretos. Las matemáticas modernas a menudo se enseñan de arriba hacia abajo. Esto enseña el poder de abstracción. Manin escribe que "sería maravilloso dominar ambos tipos de pensamiento, así como dominamos el uso de una mano derecha e izquierda".

Quizá esto sea imposible, ya que debe violar alguna clase de principio de incertidumbre:

$$\Delta \text{Matemáticas} \times \Delta \text{Física} \geq C.$$

En cualquier caso, ambas aproximaciones son necesarias. Necesitamos el talento e ingenio de las dos. Sigamos colaborando y profundicemos... pero ¡Vive la différence!



Información para los autores de Avance y Perspectiva

La revista *Avance y Perspectiva* (A y P), órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV), es una publicación trimestral editada por la Secretaría Académica. A y P publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos escritos por miembros de la comunidad del CINVESTAV. Los artículos y notas que se propongan para ser publicados en A y P deben enviarse por triplicado a:

Editor, Avance y Perspectiva
Secretaría Académica
CINVESTAV
Apdo. Postal 14-740
07000 México, D. F.
Tel. 586 4237

Los artículos y notas recibidos serán evaluados por especialistas seleccionados por el Consejo Editorial. Los artículos de divulgación deben dar cuenta de los logros o avances obtenidos en las especialidades que se cultivan en el CINVESTAV. Se buscará que su contenido sea ameno y novedoso. Deberán estar escritos a máquina, a doble espacio, con márgenes amplios y extensión máxima de 20 cuartillas. El lenguaje debe ser accesible a estudiantes de licenciatura sin perjuicio de la información científica o académica contenida en el artículo. Cuando sea necesario el uso de tecnicismos, deberá explicarse su significado con la amplitud conveniente. Se recomienda la inclusión de recuadros que aclaren el significado de conceptos de difícil comprensión. Dentro de lo posible, se evitará el uso de fórmulas y ecuaciones. Los artículos pueden tener subtítulos o incisos y un resumen al principio, no mayor de cinco líneas, a manera de introducción, que atraiga el interés del lector. Las referencias bibliográficas aparecerán completas al final del texto; cuando se mencionen en el artículo deberán indicarse con un superíndice y estar numeradas por orden de aparición.

Deberán enviarse los originales de las figuras, gráficas o fotografías que acompañen el texto. Las figuras y gráficas se deben preparar con tinta china sobre papel albanene o mantequilla de buena calidad. Los autores recibirán las pruebas de galera de sus artículos con la debida anticipación. Sin embargo, para evitar retrasos en el proceso de publicación, sólo se aceptarán en esta etapa correcciones mínimas al texto original. Para agilizar el proceso de publicación, los autores que usen un procesador de textos en microcomputadora, además del texto impreso en papel, deben enviar su texto grabado en un disco flexible. Los procesadores de textos útiles para este propósito son: *Microsoft Word*, *Word Perfect*, *PC Write*, *Xi Write III*, *Wordstar* y *Multimate*.



CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN. MAESTRIA Y DOCTORADO EN FISICA

PRIMAVERA 1990
Examen de admisión
7-8 de marzo
Cursos propedéuticos
12 de marzo al 8 de junio

VERANO 1990
Examen de admisión
11-12 de junio
Cursos propedéuticos
14 de junio al 17 de agosto

Inicio de cursos de maestría
4 de septiembre

Para mayor información:
Apdo. Postal 14-740
07000
México, D. F.
Tel. 754-68-01



CENTRO DE INVESTIGACION
Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL IPN