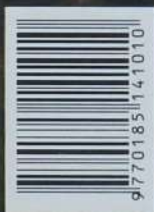


F-2969

AVANCE Y PERSPECTIVA

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



Volumen 21
Noviembre-diciembre de 2002
México ISSN 0185-1411
\$ 25 pesos

El dilema de los
organismos
transgénicos



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Maestría y Doctorado en Patología Experimental

OBJETIVOS

Maestría:

Capacitar recursos humanos para la docencia e investigación. Los Maestros en Ciencias podrán formar parte del personal en instituciones de educación superior, centros hospitalarios y la industria.

Doctorado:

Formar investigadores independientes capaces de generar y aplicar el conocimiento en forma original e innovadora. El Doctor en Ciencias tendrá la preparación necesaria para incorporarse a instituciones y centros dedicados a la investigación científica, a la enseñanza de posgrado y a la formación de nuevos investigadores.

Áreas de investigación

Las Áreas de Investigación se dividen en dos grandes grupos:

- A) Enfermedades Infecciosas
- B) Enfermedades crónico degenerativas

Abordando aspectos como:

- Apoptosis
- Biología molecular de insectos
- Diagnóstico molecular
- Factores involucrados en patogenicidad de virus y parásitos
- Modelos experimentales
- Receptores celulares
- Regulación de la expresión génica
- Regulación de la respuesta inmune
- Resistencia a drogas
- Transducción de señales
- Ultraestructura celular
- Vacunas

Requisitos de Admisión

- Licenciatura o maestría en carreras afines
- Promedio mínimo de 8
- Aprobar examen general de conocimientos y de traducción de textos en inglés
- Entrevista con el Colegio de Profesores

Becas

• Los Programas de Maestría y de Doctorado del departamento pertenecen al Padrón de Posgrado de Excelencia del CONACYT y a los estudiantes aceptados se les auxilia para la obtención de Beca de posgrado.

Informes

Coordinación Académica Patología Experimental
CINVESTAV-IPN
Av. Instituto Politécnico Nacional No. 2508 esq.
Ticomán

Col. Sn. Pedro Zacatenco, México, 07360 D.F.
Tel. 5747-3800 exts. 5630 / 5648
e-mail: coordpat@mail.cinvestav.mx

Plan de Estudios

Maestría

PRIMER SEMESTRE

Bioquímica
Computación
Biología Celular I
Inmunobiología
Métodos de Análisis
Especiales I

SEGUNDO SEMESTRE

Biología Molecular
Biología del Parasitismo I
Biología del Parasitismo II
Biología Celular II
Métodos de Análisis Especiales II
Patología

TERCER SEMESTRE

Trabajo de Tesis
Seminario I

CUARTO SEMESTRE

Trabajo de Tesis
Seminario II

Doctorado

Seminarios de Investigación y trabajo experimental



FT020345



Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del IPN
CINVESTAV

DIRECTOR GENERAL
Adolfo Martínez Palomo
SECRETARIO ACADEMICO
René Asomoza
SECRETARIO DE PLANEACIÓN
Marco Antonio Meraz
SECRETARIO ADMINISTRATIVO
Mario Alberto Osorio Alarcón

AVANCE Y PERSPECTIVA

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

CONSEJO EDITORIAL

J. Víctor Calderón Salinas
BIOQUÍMICA
Luis Capurro Filigrasso
UNIDAD MERIDA
Marcelino Cerejido
FISIOLOGÍA
María de Ibarrola Nicolín
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS
Eugenio Frixione
BIOLOGÍA CELULAR
Jesús González
UNIDAD QUERÉTARO
Luis Herrera Estrella
UNIDAD IRAPUATO
Luis Moreno Armella
MATEMÁTICA EDUCATIVA
Angeles Paz Sandoval
QUÍMICA
Gabino Torres Vega
FÍSICA

Correo electrónico:

avance@mail.cinvestav.mx

Tel. y Fax: 5747 37 46

Consulte nuestra página de Internet:
<http://www.cinvestav.mx/publicaciones>

AVANCE Y PERSPECTIVA

SUMARIO

Volumen 21

noviembre-diciembre de 2002

- 347 *Nuevos materiales superduros*
Francisco Javier Espinoza Beltrán y
Jesús González Hernández
- 355 *El pensamiento natural y las limitantes formales*
Guillermo Morales Luna
- 361 *Participación del Cinvestav en disciplinas de gran ciencia:
física de partículas elementales*
Francisco Collazo Reyes

PERSPECTIVAS

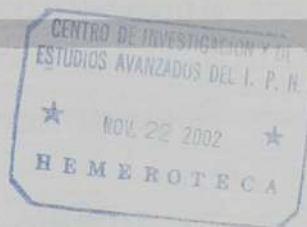
- 375 *Educación para México en el siglo XXI*
Jorge Suárez Díaz
- 379 *La fisiología y la evolución según Cerejido*
Julio Muñoz

DIALOGOS

- 389 *El dilema de los organismos transgénicos*
Carlos Chimal

INDICE DEL VOLUMEN 21

- 402 *Índice de materias*
- 405 *Índice de autores*
- 407 *Índice onomástico*



Portada: La comercialización de productos agrícolas transgénicos, como el maíz, la avena, el trigo o el sorgo ha estado sujeta a un dilema en nuestro país: en qué medida conviene o no regularla. Luis Herrera Estrella ofrece sus puntos de vista al respecto en la página 389.

Foto: M. Calderwood.

Avance y Perspectiva, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación bimestral. El número correspondiente a noviembre-diciembre de 2002, volumen 21, se terminó de imprimir en octubre de 2002. El tiraje consta de 8,000 ejemplares. **Editor responsable:** Miguel Ángel Pérez Angón. Oficinas: Av. IPN No. 2508 esquina calzada Ticomán, apartado postal 14-740, 07000, México, D.F. Certificados de litud del título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de Título No. 577-85 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro No. PP09-0071, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. **Negativos, impresión y encuadernación:** COMRAMSON, S.A. de C.V., Plaza Buena Vista No. 2 Desp. 209, 210 Col. Guerrero, México, D.F. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el número enero-febrero del 2002 página 44. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre que se cite la fuente. *Avance y Perspectiva* se distribuye en forma gratuita a los miembros de la comunidad del CINVESTAV y a las instituciones de educación superior. Suscripción personal por un año: \$ 150.00

Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar

Nuevo Vallarta, Nayarit

14 al 16 de noviembre del 2002

El programa técnico del congreso cubre los siguientes aspectos:

Recursos y medio ambiente

Acuacultura

Pesquerías

Tecnología de alimentos

Ordenamiento costero

Informes:

Comité Organizador
Departamento de eventos especiales
Dirección General de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar
Dr. Jiménez No. 47 Col. Doctores
Delegación Cuauhtémoc
06720, México, D.F.
Tels: (55) 55 78 57 21/30 65/26 33/17 51 Ext. 131
Directo y Fax: (55) 55 78 56 17/56 75
inuecytm@sep.gob.mx
tecuecytm@sep.gob.mx

Nuevos materiales superduros

**Francisco Javier Espinoza Beltrán y
Jesús González Hernández**

Dureza y corrosión

Los primeros intentos hechos por el hombre para obtener materiales de mayor dureza se remontan a la edad del bronce. En tiempos más recientes, una gran cantidad de estudios han sido realizados en diversos laboratorios con la intención de producir materiales cada vez más duros mediante diversos procesos que involucran mezclas, aleaciones, impurificaciones y formación de nuevos compuestos. A mediados del siglo XIX se produjeron algunas aleaciones metálicas con propiedades mecánicas superiores a las de los elementos que las forman, así como los primeros aceros inoxidable. En la actualidad el desarrollo de nuevos materiales duros y superduros es prioritario para diferentes aplicaciones: desde herramientas de uso industrial hasta piezas de armamento militar o aplicaciones aeroespaciales. Entre las nuevas tendencias tecnológicas para el endurecimiento de los materiales se encuentra el uso de recubrimientos duros y superduros. Los recubrimientos han permitido que materiales convencionales como el acero puedan ser utilizados muy eficientemente para incrementar el tiempo de vida de la pieza de trabajo y la calidad del producto final. Además de su utilización para el endurecimiento de materiales diversos, los recubrimientos también han sido empleados para fines anticorrosivos y decorativos, como filtros de luz, materiales inteligentes, o para generar energía.

En la figura 1 se muestra la evolución cronológica de la velocidad de corte para algunos materiales sobre

Los autores son investigadores de la Unidad Querétaro del Cinvestav. El Dr. Jesús González Hernández es director de esta unidad y miembro del Consejo Editorial de *Avance y Perspectiva*. Dirección electrónica: gonzalez@cinateq.net.mx

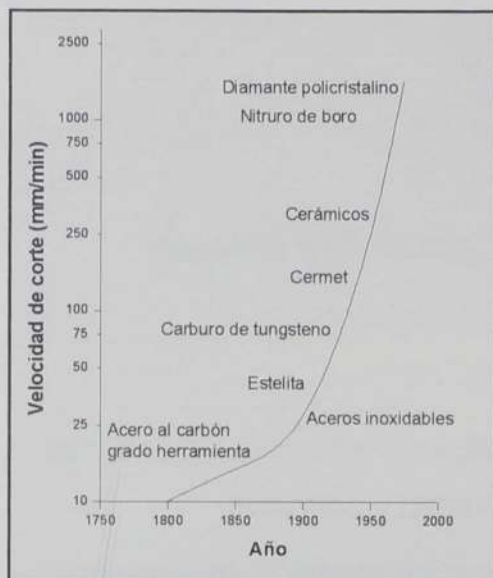


Figura 1. Evolución cronológica de la velocidad de corte para algunos materiales sobre muestras estándar, desde 1850 al 2000.

muestras estándar, desde 1800 hasta el año 2000. Esta propiedad, usada con frecuencia por la industria metal-mecánica, está directamente relacionada con la dureza del material. Esta figura muestra que el primer acero al carbón con grado de herramienta se produjo a comienzos del siglo XIX. En 1913, Harry Brearley de la Universidad de Sheffield¹ notó que agregando 0.25 % de carbono (C) y 13 % de cromo (Cr) a la matriz de hierro, el material no se oxidaba cuando era expuesto a la atmósfera. Estos experimentos dieron origen a los aceros con grado martensítico (11-18 % Cr y 0.1-1.0 de C) y ferrítico (17 % de Cr y 0.1 % de C). Posteriormente aparece el acero de mayor uso en la actualidad (60-70 % del uso mundial), el austenítico (18 % Cr y 8 % Ni). La importancia actual de los aceros inoxidables no radica en su dureza, sino en su resistencia a la oxidación y a la corrosión, la cual aparece debido a la formación de una capa superficial delgada de óxido de cromo.

Diamante sintético

La amplia variedad de propiedades físicas y químicas que presentan los materiales carbonosos es un reflejo de



la diversidad de sus estructuras atómicas. Las más conocidas son las del grafito, fase termodinámicamente estable a temperatura y presión ordinaria, la del diamante y algunas otras estructuras intermedias. En estas dos fases cristalinas el átomo de carbono forma enlaces con hibridaciones sp^2 y sp^3 , respectivamente.

Hasta muy recientemente la síntesis de diamante comercial se realizaba por medio de técnicas con alta presión (mayor a 100 000 atmósferas) y alta temperatura (mayor a 1000°C). En la mayoría de estas técnicas se utiliza un líquido que contiene carbono y un metal como catalizador (Si, Ti, Nb, Ta, W + Co). Bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, el diamante precipita como una fase en equilibrio. Para preparar diamante microcristalino (tamaño de grano de milésimas de milímetro) a bajas presiones y temperaturas moderadas es necesario utilizar procesos en los cuales el diamante se forme como una fase termodinámicamente estable en relación con el grafito. Los métodos más comunes utilizados para prepararlo incluyen varios tipos de descarga por plasma, filamentos incandescentes, flamas de combustión, láseres de alta potencia y otros menos difundidos². En estos métodos, los gases que contienen carbono (CH_4 , C_2H_6 , C_6H_6 , etc.) son fragmentados en especies atómicas o moleculares (neutras o ionizadas) por el plasma, el filamento incandescente o la flama. Utilizando estos métodos es posible formar diamante cristalino a temperaturas que varían entre 700 y 1000°C y a presiones (del gas utilizado) menores a una atmósfera. La dureza de los recubrimientos de diamante microcristalino varía entre 30 y 60 GPa, según el proceso utilizado para su preparación. La dureza del diamante

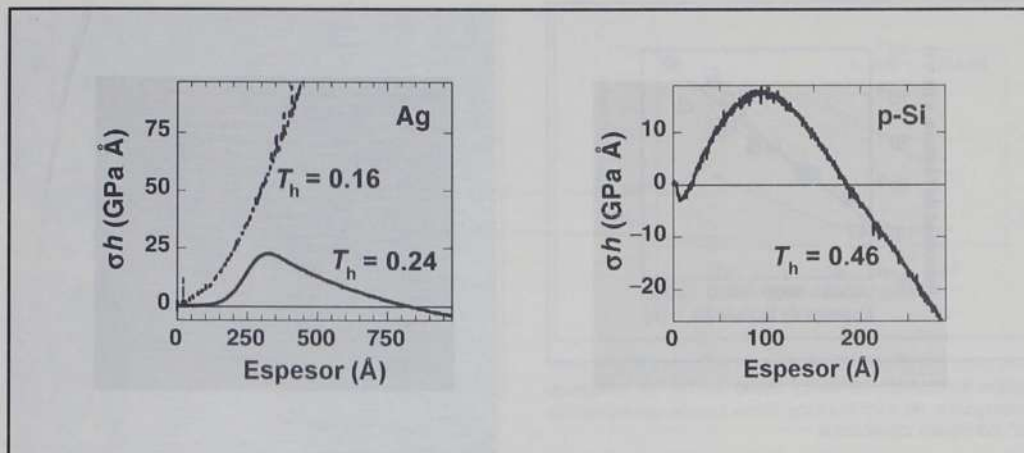


Figura 2. Esfuerzos intrínsecos (σ) típicamente desarrollados en metales (a) y en materiales semiconductores y cerámicos (b), en función del espesor h del recubrimiento. T_h son la razón entre la temperatura de preparación del recubrimiento y la de fundición del material.

natural varía desde 55 hasta 113 GPa, dependiendo de la orientación cristalográfica que se mida.

Otro tipo de material carbonoso duro, obtenido más recientemente, es el conocido como carbón tipo diamante (CTD), traducción de *diamond-like carbon* (DLC). Este material es preparado en forma de recubrimientos sobre sustratos a una temperatura más baja que el diamante microcristalino (entre 100 y 300°C). Los procesos más frecuentes para su obtención utilizan hidrocarburos gaseosos que son fragmentados mediante el uso de un plasma. Las especies que contienen carbono se depositan sobre el sustrato a las temperaturas arriba indicadas. Este material tiene una estructura amorfa metaestable en la que el carbono utiliza enlaces sp^2 y sp^3 . Según las condiciones utilizadas para su preparación, el recubrimiento puede incluir porcentajes atómicos de hidrógeno de hasta un 40%³. El hidrógeno ayuda a estabilizar los enlaces sp^3 , aunque recubrimientos con demasiado hidrógeno tienen baja densidad, lo cual disminuye su dureza. La mezcla de enlaces induce en los recubrimientos de este material propiedades extremas. Por ejemplo, su dureza es mayor a la del diamante microcristalino y es comparable a la del diamante natural; tiene una superficie más plana y un bajo coeficiente de fricción (0.1)⁴. Esto último le confiere propiedades lubricantes. La dureza de este material puede ubicarse entre 20 y cerca de 70 GPa.

Recubrimientos de una sola fase: desventajas

Hasta hace aproximadamente unos 10 años, casi todos los recubrimientos utilizados para mejorar el comportamiento (mecánico, óptico, tribológico, químico, etc.) de los materiales estaban formados por una sola fase. Esto es, el recubrimiento tenía composición química y estructura homogéneas. Quienquiera que tenga algo de experiencia en la preparación de recubrimientos sabrá que una limitante para su buen funcionamiento es la presencia de esfuerzos intrínsecos. Los niveles de esfuerzos en recubrimientos delgados son generalmente muy superiores a los típicamente encontrados en el mismo material en forma de volumen. Una de las causas que con mayor frecuencia conducen a la falla mecánica de recubrimientos, sobre todo en aquellos de una sola fase, se debe a la presencia de grandes esfuerzos intrínsecos desarrollados durante su deposición. En publicaciones recientes se ha mostrado que existen dos comportamientos genéricos que describen la evolución de los esfuerzos intrínsecos durante el proceso de deposición del recubrimiento en función de su espesor⁵. Uno de estos ocurre en recubrimientos metálicos típicos (figura 2a) y el otro es característico para recubrimientos de materiales semiconductores y cerámicos (figura 2b). Las figuras 2a y 2b muestran el comportamiento del producto σh (σ es

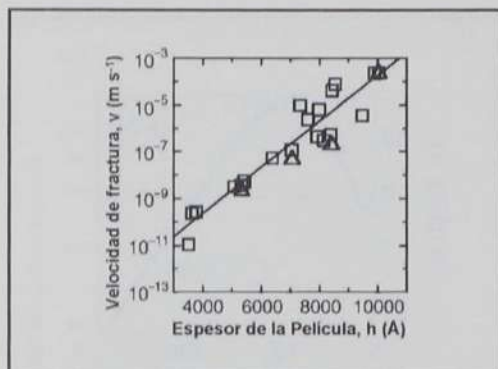


Figura 3. Comportamiento típico de la velocidad de propagación de microfrazas como función del espesor de recubrimientos dieléctricos.

el promedio de los esfuerzos intrínsecos) en función del espesor (h) para recubrimientos de plata y de silicio policristalino, respectivamente. En estos gráficos, los valores positivos (negativos) de σh corresponden a esfuerzos de tensión (compresión). Así, para recubrimientos metálicos, la evolución de los esfuerzos con el aumento en el espesor va de tensión a compresión (T-C) y para materiales semiconductores el comportamiento observado es de C-T-C. Como se puede observar en estas gráficas, el espesor para el cual ocurre el cambio de los esfuerzos de T a C depende del tipo de material y después, para mayores espesores, los esfuerzos de compresión aumentan linealmente, lo que conduce eventualmente a la falla del recubrimiento. La acumulación de esfuerzos en recubrimientos de un determinado espesor se libera mediante diversos mecanismos de falla. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 3, en la que se observa cómo la velocidad de propagación de microfrazas aumenta exponencialmente con el aumento en el espesor de un recubrimiento dieléctrico⁶.

Multicapas y nanoestructuras

Los recubrimientos duros han sido utilizados con éxito desde la década de los años 70 para la protección de materiales y, en especial, para incrementar la vida de herramientas industriales. Las propiedades deseadas en estos materiales son dureza, resistencia al desgaste y resistencia al ataque químico. En términos de su dureza,



estos recubrimientos están divididos en dos grupos: (1) recubrimientos duros, con una dureza menor que 40 GPa, y (2) recubrimientos superduros, con una dureza mayor que 40 GPa.

Según esta división, sólo hay unos pocos materiales naturales superduros. Entre éstos se encuentran el nitrato de boro cúbico (c-BN), muy escaso, y el diamante. Sin embargo, la alta afinidad química del carbono con el hierro limita la aplicación de recubrimientos de diamante a solo maquinado de aluminio, sus aleaciones y madera. Problemas similares se observan con recubrimientos de c-BN, al ser utilizados en herramientas de corte de acero, debido a la alta disolución química del boro en hierro. Estas limitantes conducen a tratar de obtener nuevos materiales superduros basados en recubrimientos de multicapas y nanoestructurados. Un nanómetro (nm) es la millonésima parte de un milímetro.

La fabricación de estos recubrimientos se realiza por medio de las técnicas de deposición de vapor (*physical*

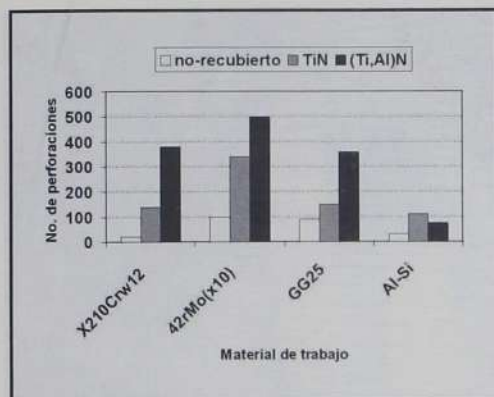


Figura 4. Desempeño de brocas de recubiertas con TiN y (Ti,Al)N con diferentes piezas de trabajo (6 mm ϕ , diferentes condiciones).

vapor deposition, PVD, y *chemical vapor deposition*, CVD). Los parámetros utilizados para su preparación permiten una amplia variación de las propiedades de estos recubrimientos con aplicaciones electrónicas, ópticas, almacenamiento de datos y decorativas⁷, pero de manera muy especial para propósitos tribológicos. Esto es así debido al amplio espectro de materiales que pueden ser depositados por estas técnicas, en especial nitruros y carburos de metales de transición, algunos óxidos y boruros, y también recubrimientos que contienen carbono como diamante, o carbón tipo diamante (CTD), películas de Me-C (metal-carbono) y CN (nitruro de carbono). Además de sus notables propiedades tribológicas, como alta resistencia al desgaste y bajo coeficiente de fricción, estos recubrimientos, en general, muestran una alta estabilidad química en ambientes corrosivos y, en algunos casos, agradables colores decorativos que amplían su campo de aplicación.

Los primeros recubrimientos sintéticos duros fueron los materiales binarios TiN y TiC. Pruebas de campo en piezas de diversos materiales recubiertas con estos compuestos, mostraron un incremento en tiempo de vida o en velocidad de trabajo, en relación a piezas no recubiertas. A partir de los recubrimientos duros "simples", TiN y TiC, se han desarrollado varias estrategias para obtener recubrimientos con mejores propiedades. Los primeros desarrollos se enfocaron a la obtención de recubrimientos multicomponentes, y en otros casos se

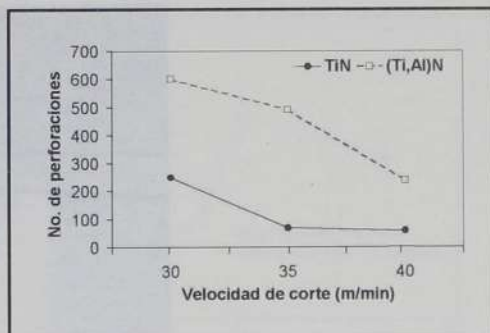


Figura 5. Número de huecos perforados en función de la velocidad de corte (6 mm ϕ , 0.2 mm/rev, profundidad 20 μ m, 34 CrNiMo6).

agregaron componentes metálicos o metaloides. Más adelante los desarrollos se basaron en recubrimientos múltiples o multicapas, y actualmente se llevan a cabo en recubrimientos nanoestructurados. A la matriz del recubrimiento formada por materiales duros se agregan otras componentes con dimensiones nanométricas como metales, carbono y sólidos lubricantes.

Los recubrimientos obtenidos de soluciones sólidas de los binarios TiN y TiC, con inclusiones nanométricas de metales o metaloides, presentan un mejor rendimiento. En particular, han dado resultados muy satisfactorios los carbonitruros de titanio con varias composiciones Ti(C,N), y los nitruros de titanio-aluminio (Ti,Al)N. Se ha observado que en el caso del (Ti,Al)N el incremento en el tiempo de vida de la pieza de trabajo es mucho mayor para altas velocidades de corte en comparación con el TiN en condiciones estándares. La cantidad del elemento introducido influye también fuertemente en el comportamiento al desgaste. Estas investigaciones se extendieron a un gran número de elementos como Zr, Hf, V, Nb, Cr, Mo, W, Al, y Si. El metal base en la mayoría de los casos es el titanio y para algunas aplicaciones es el cromo.

Pruebas de campo y de laboratorio han mostrado claramente el notable mejoramiento de piezas de trabajo recubiertas, en particular su resistencia al desgaste. En las figuras 4 y 5 se presenta una comparación en el rendimiento de brocas no recubiertas y recubiertas con



TiN y (Ti,Al)N; se consideran, por un lado, diferentes piezas de trabajo y, por el otro, diferentes velocidades de trabajo⁸.

Con frecuencia se fabrican también compuestos cuaternarios y aún con más elementos, como por ejemplo (Ti,Al,V) (C,N). En investigaciones más recientes se registraron adiciones de Si a (Ti,Al)N que dieron como resultado recubrimientos de dos fases nanocristalinas.

Recubrimientos de multicapa

Los recubrimientos de multicapa, compuestos de dos (o más) capas alternadas de materiales diferentes presentan propiedades mecánicas superiores cuando las capas tienen espesores nanométricos, esto es, entre 5 y 10 nm. Las capas individuales pueden ser metálicas, nitruros, carburos u óxidos de diferentes materiales, o una combinación de ellas.

Los experimentos han mostrado que multicapas de metales exhiben una dureza relativamente baja. Por el

contrario, recubrimientos de multicapa de nitruros son materiales superduros con una dureza en el intervalo de 45 a 55 GPa, por ejemplo: TiN/VN, 56 GPa⁹, TiN/NbN¹⁰, 52 GPa¹¹, TiN/Nb, 52 GPa^{12,13}. El incremento en la dureza de este tipo de recubrimientos es por lo tanto más alto que el de los materiales de los componentes individuales; por ejemplo, la dureza de un recubrimiento de TiN es de 21 GPa, y de uno de NbN es de 14 GPa; sin embargo, la combinación de ambos es de 52 GPa.

La figura 6 muestra esquemáticamente la estructura de un recubrimiento de multicapa de TiN/Ti¹⁴ fabricado al modular la concentración de nitrógeno en la cámara de evaporación. En la figura 7 se muestran los resultados de mediciones de dureza por nanoindentación para multicapas de TiN/Ti de composición modulada en periodos de 10, 15, 20, y 40 nm, y como referencia se incluye el punto correspondiente a la dureza de una capa simple de TiN. Las barras de error representan desviaciones estándar. Es evidente el incremento de la dureza de la multicapa para el periodo óptimo de aproximadamente 20 nm.

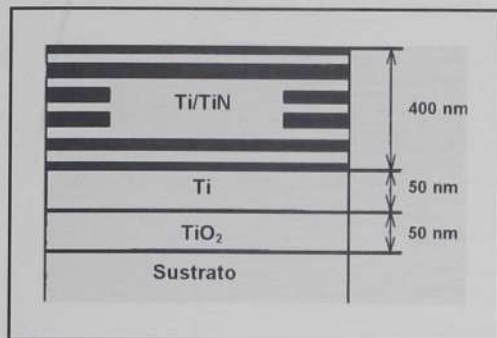


Figura 6. Dibujo esquemático de un recubrimiento de multicapa, con composición modulada de Ti/TiN.

Recubrimientos nanoestructurados

Los materiales convencionales están compuestos de granos cristalinos separados por fronteras de grano. El tamaño de estos granos varía de alrededor de 100 nm a varios cientos de milímetros para monocristales. El número de átomos en el grano siempre es considerablemente mayor que el de las regiones frontera. El comportamiento de estos materiales está determinado por el volumen de los granos, en los cuales las dislocaciones juegan un papel decisivo. Las propiedades de estos materiales dependen de su composición, estructura y de los procesos tecnológicos usados para su obtención.

Por otro lado, los materiales nanoestructurados, con tamaño de granos de alrededor de 10 nm o menos, exhiben propiedades completamente nuevas debido a que el número de átomos en los granos es comparable o menor a los que existen en las regiones frontera. El comportamiento de estos materiales es determinado principalmente por procesos en las regiones frontera. Bajo estas condiciones no existen dislocaciones¹⁵, debido a que las fronteras de grano previenen su formación, y las regiones fronteras juegan un papel decisivo en la deformación del material. El llamado "deslizamiento de frontera de grano", que es un nuevo mecanismo de deformación, reemplaza la actividad de las dislocaciones, que es el proceso de deformación dominante en los materiales convencionales¹⁶. Todos estos aspectos resultan

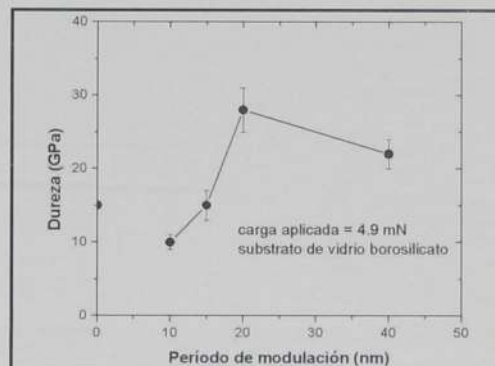


Figura 7. Resultados de mediciones de dureza por nanoindentación para recubrimientos de multicapa de Ti/TiN de composición modulada con periodos de 10, 15, 20, y 40 nm, y para una capa simple de TiN. Las barras de error representan desviaciones estándar.

en nuevas y únicas propiedades de los materiales nanoestructurados. En el caso donde el tamaño de grano decrece por debajo de 5 nm se debe considerar la participación de las fuerzas atómicas en la formación del material y puede esperarse la formación de estructuras subatómicas nanométricas¹⁷. Las novedosas propiedades de los materiales nanoestructurados han sido la principal motivación para estimular su desarrollo. Estos materiales sólo pueden ser preparados por un método que asegure simultáneamente una alta razón de nucleación y una baja razón de crecimiento de granos. Esto es más sencillo cuando los materiales nanocristalinos se obtienen en forma de películas.

Los recubrimientos nanoestructurados consisten de al menos dos fases. Por ejemplo, para obtener dos fases completamente separadas de los sistemas ZrCu-N¹⁸, NiCr-N¹⁹, y nc-TiNi-N²⁰, la incorporación de nitrógeno durante la deposición debe hacerse cuando el objeto a recubrir se encuentra a una temperatura específica. El conocimiento de la estructura de materiales nanométricos ha estado vinculado con el desarrollo de técnicas capaces de proporcionar imágenes nanométricas. El microscopio de fuerza atómica y el microscopio de tunelamiento, así como otras técnicas igualmente útiles²¹, son una muestra del desarrollo alcanzado por esta tecnología.



Notas

1. F. B. Pickering, *The Metallurgical Evolution of Stainless Steels* (ASM/Met, Londres, 1979).
2. A. Lettington y J. W. Steeds, *Thin Films Diamond* (Chapman & Hall, 1994).
3. J. González-Hernández, R. Asomoza, A. Reyes-Mena, *Sol. St. Comm.* **67**, 1085 (1988); A. Reyes-Mena, J. González-Hernández y R. Asomoza, *J. Vac. Sci. Technol.* **7**, 2328 (1989); J. Robertson, *Diamond and Diamond-Like Films*, ed. R. E. Clausing (Plenum, 1991) p. 331.
4. K. H. Habig, *Surf. Coat. Technol.* **76/77**, 540 (1995).
5. A. L. Shull y E. Spaepen, *J. Appl. Phys.* **80**, 6243 (1996).
6. R. F. Cook y Z. Suo, *MRS Bulletin* **27**, 45 (2002).
7. F. J. Espinoza-Beltrán et al., *Mat. Sci. Forum* **287**, 489 (1998).
8. O. Knotek, W. D. Münz y T. Leyendecker, *J. Vac. Sci. Technol.* **A 4**, 2173 (1987).
9. U. Helmersson et al., *J. Appl. Phys.* **62**, 481 (1987).
10. P. B. Mirakami, L. Hultman y S. A. Barnett, *Appl. Phys. Lett.* **57**, 2654 (1990).
11. M. Shinn, L. Hultman y S. A. Barnett, *J. Mater. Res.* **7**, 901 (1992).
12. X. Chu et al., *J. Vac. Sci. Technol.* **A 10**, 1604 (1992).
13. X. Chu et al., *Surf. Coat. Technol.* **57**, 13 (1993).
14. E. Kusano et al., *J. Vac. Sci. Technol.* **A 16**, 1272 (1998).
15. S. Veprék y S. Reiprich, *Thin Solid Films* **268**, 64 (1995).
16. R. W. Siegel, *Nanophase materials: Structure, defects and properties* (Proc. ATC Int. Symp., 1996).
17. P. Yu Butyagin, *Colloid J.* **59**, 112 (1997).
18. J. Musil, y F. Regent, *J. Vac. Sci. Technol.* **A 16**, 3301 (1998).
19. J. Musil, y P. Zeman, *Vacuum* **52**, 269 (1999).
20. M. Misina, J. Musil, y S. Kadlec, *Surf. Coat. Technol.* **110**, 168 (1998).
21. L. L. Díaz-Flores et al., *Surface and Coating Technol.* **148**, 1 (2001).

El pensamiento natural y las limitantes formales

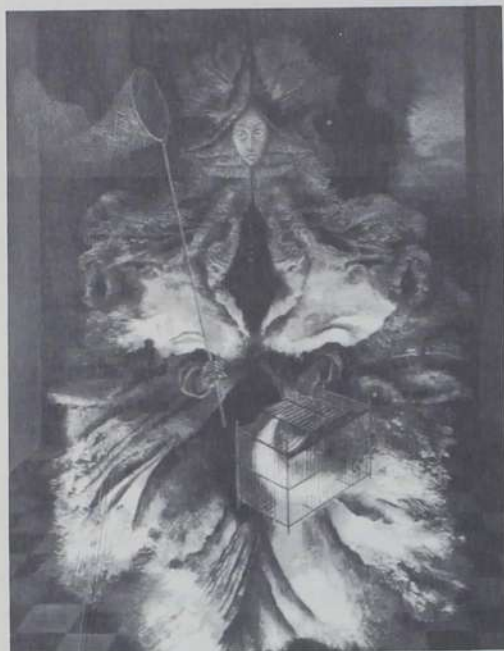
Guillermo Morales Luna

En este artículo abordamos, de manera más bien *naïve*, algunos aspectos de la teoría de la computación y la filosofía. Distinguimos inicialmente las nociones de lenguaje, de modelo o idea, y de objeto. En la relación entre lenguajes y modelos están las nociones de consistencia, de completitud y de decisión de la noción de inferencia lógica. Los teoremas de Gödel imponen limitantes para que una teoría lógica sea completa o sea formalmente consistente. En el plano de la computación estas limitantes se traducen a nociones de no-computabilidad. En el análisis de la inteligencia humana los teoremas de Gödel también imponen limitantes. Ufanos como somos, y seguros como estamos, no podemos aceptar vernos limitados como lo están las máquinas. Así pues resulta interesante ver cómo influyen los teoremas gödelianos en la inteligencia humana.

Modelos y objetos

El pensar es la actividad más importante de nuestro cuerpo y esto nos hace precisamente conscientes de nuestra existencia: *cogito, ergo sum*. Al pensar aprehendemos y aprendemos "la realidad". De acuerdo con ciertos patrones de pensamiento, nos formamos modelos mentales de la realidad y después confrontamos "la validez" de esos modelos utilizando diversos procedimientos. El método científico puede dar cuenta de algunos de ellos. La semántica conceptual ciertamente está ligada con la organización funcional del pensamiento.

El Dr. Guillermo Morales Luna es investigador titular de la Sección de Computación del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav. Dirección electrónica: morales@cs.cinvestav.mx



La diferencia entre "modelo" y "objeto" está muy bien ilustrada en el célebre cuadro de René Magritte, *Ceci n'est pas une pipe* (figura 1). En efecto, a lo que se refiere la frase en francés es una imagen de una pipa, y ésta no sirve para fumar. Una pipa, en cambio, bien que puede ser utilizada para fumar. Wittgenstein decía que el significado de una palabra no es un objeto físico, ni siquiera una imagen mental. En 1928, George de Chirico, surrealista, decía en cambio que la palabra "estrella" está muy cerca de la idea de una estrella.

Estas reflexiones sobre lenguaje, idea y objeto se llevan naturalmente al ámbito de la computación. Un algoritmo, por ejemplo el cálculo de un punto fijo de una función polinomial o el del monto de los impuestos a ser devueltos a un causante en un cierto año fiscal o el del monto de los impuestos de una cierta transacción comercial, son motivados por "la realidad", codificados en un lenguaje matemático y programados luego en un lenguaje de programación. Aquí "programa", "procedimiento" y "noción calculada" son, en efecto, tres nociones distintas. Desde un inicio, entonces, podemos distinguir a los tres componentes principales en una teoría del conocimiento:



Figura 1. *Ceci n'est pas une pipe*, de René Magritte.

la sintaxis es el lenguaje de representación de las nociones; la semántica es la interpretación de las nociones, es la "idea" de los objetos descrita con los elementos de representación; la pragmática se refiere al ente que aprende, el cual observa los objetos y se forma modelos. La realidad, no es tan solo una población en Chiapas, es el universo de los objetos. La sintaxis y la semántica son las herramientas para construir modelos.

Es bien sabido que una teoría formal que sea consistente (es decir, libre de contradicciones) y que describa sus propios procedimientos de inferencia es, por un lado, incompleta (habrá proposiciones que se cumplan en cualquier modelo de la teoría pero que no son demostrables en la teoría) y, por otro lado, no podrá demostrar su propia consistencia. Estos son los famosos teoremas de Gödel. Cualquier noción razonable de "computabilidad" resultará por esto incompleta. ¿Qué hay sobre el proceso de pensamiento natural?

Conciencia y entendimiento

Evidentemente la función de pensar la realiza el cerebro. Desde mediados del siglo XX se han intensificado los esfuerzos por simular artificialmente varias de las tareas cerebrales. La inteligencia artificial fuerte (AIF) busca construir una máquina que piense. La inteligencia artificial débil (AID) busca, en cambio, crear máquinas que hagan pensar a sus usuarios que piensan. Para analizar el proceso de pensamiento en el enfoque de la AIF plantea que el cerebro es una computadora física con ciertos



códigos de representación y con propios esquemas de procesamiento. En un segundo enfoque se distingue entre cerebro y mente. Acaso, puesto de manera más bien burda, el cerebro es el *hardware* y la mente es el *software* del proceso de pensamiento. ¿Es la mente la versión moderna de la antigua noción de alma? No nos adelantemos.

Parece necesario un proceso de cómputo en la actividad del cerebro. Sin embargo, la noción de cómputo puede parecer no suficiente para describir todas las actividades mentales: la intencionalidad (planteamiento de objetivos, creencias, intenciones) y el libre albedrío plantean actitudes no-deterministas, muy poco formalizables. Ya no mencionemos los sentimientos o las sensaciones. Algunos atributos de la mente son la conciencia y el entendimiento. Sin entrar en detalles técnicos, quedémonos con sus definiciones de diccionario o de sentido común. Si acaso, para precisar estos conceptos nos podríamos referir a los textos de Chalmers¹ y Tye². "Entender", por ejemplo, tiene al menos dos acepciones. Siempre se puede escribir un programa de computadora que calcule las dos raíces complejas de un polinomio de segundo grado con coeficientes reales. La computadora que corre el programa parece entender el procedimiento. Por otro lado, un alumno en una clase de álgebra elemental se encuentra con la fórmula para el cálculo de raíces y además de comprender el cálculo involucrado, se ha de esforzar para adquirir la noción de que los puntos resultantes son las abscisas de los puntos de cruce de la gráfica del polinomio dado con el eje de las *x*. Como dice Penrose³: si alguien considera irrelevante distinguir estas dos nociones de entender, entonces

también lo ha de ser distinguir la noción de conciencia. Pero a pesar de la dificultad para ser definidas, para muchas personas las nociones de conciencia y de entendimiento tienen sentido.

Una pregunta natural es si acaso los programas de computadora pueden adquirir conciencia y entendimiento. Consideremos una máquina provista de un programa que juega ajedrez. Por un lado, su memoria de juegos previos o hipotéticos y los criterios de evaluación de situaciones actuales pueden hacer las veces de entendimiento, en tanto que su percepción de la partida, de las tiradas del oponente y su objetivo de ganar pueden hacer las veces de su conciencia. ¿Porqué no pueden ser considerados como reales tales entendimiento y conciencia? ¿Podría reconocer está máquina jugadora de ajedrez que en una cierta partida va a perder? Aun para la mente humana éste puede ser un problema difícil. Efectivamente, ciertos jugadores expertos pueden identificar situaciones de mate con varias jugadas de antelación. Plantearle el mismo problema a una máquina sería pedirle que calcule todas las posibles jugadas, a partir de la actual, y revise que ninguna de ellas es exitosa para ella. Esto equivaldría a probar que el objetivo de triunfar en la partida es inalcanzable desde la jugada actual. Visto este problema en un sistema formal equivale a demostrar la no-derivación en ese sistema de una cierta proposición. El célebre "segundo teorema de incompletitud" de Gödel afirma que los sistemas formales, como los programas de computadora, no pueden demostrar su propia consistencia y en consecuencia habrá proposiciones que no se pueden demostrar como inalcanzables.

Penrose llega a afirmar que la inteligencia humana, es decir, su entendimiento y su conciencia, es superior a la de cualquier máquina por ese hecho: los humanos entendemos la incompletitud de los sistemas formales y las máquinas no la pueden realizar. Sin embargo, John McCarthy⁴ señala que acaso la mente humana realiza la incompletitud porque razona sobre teorías, pero las teorías son meros objetos cuando se razona sobre ellas. Una máquina que razona sobre programas podría realizar la "no-programabilidad" de algunos problemas y aún así tendría un sistema formal incompleto. Puesto de una manera equivalente: si el sistema de razonamiento humano fuese formalizable entonces habría nociones verdaderas pero no-deducibles para la mente humana.

Consecuencias inmediatas del teorema de Gödel

Así pues, en una posición antropocéntrica, deberemos suponer que el razonamiento humano no es formalizable. En otras palabras, que supera los límites de lo computable. En un primer vistazo esto no parece descabellado. Diríamos que las creaciones del intelecto son fruto o motivo del placer estético. El arte, por ejemplo, manifiesta el talento de sus creadores. Sin embargo, una máquina que vaya colocando símbolos del alfabeto castellano uno tras otro, obteniendo siempre cadenas finitas de caracteres, al cabo de un número finito de pruebas habrá escrito *El ingenioso hidalgo Don Quijote de la Mancha*. O bien, variando píxeles de colores en un arreglo matricial, al cabo de un número finito de pasos podría obtener algo parecido a *Los fusilamientos del 3 de mayo* de Francisco de Goya, al *Cristo crucificado* de Velázquez o a cualquier otra pintura de El Prado. A pesar de lo pedestre de los argumentos anteriores, ellos hacen parecer “casi” computables a las creaciones artísticas.

Penrose demuestra por contradicción la no-formalización del razonamiento humano: supóngase que hubiese un sistema formal F para el razonamiento de una persona, digamos Fulano. Entonces, necesariamente toda proposición que Fulano considere verdadera ha de ser demostrable en F ; F ha de ser consistente y F ha de describir su propio mecanismo de inferencia. Al construir un enunciado autorreferente al estilo de Gödel, “La fórmula que tiene el índice que yo tengo es indemostrable en F ” (una observación pertinente aquí es que hay una correspondencia biunívoca entre fórmulas e índices, y otra es que el pronombre “yo” en el enunciado hace referencia a ese mismo enunciado) será verdadera y por tanto indemostrable. F entonces no puede existir.

Pero, como apunta McCullough⁵, lo que el argumento anterior demuestra es que si el pensamiento fuese computable, entonces o bien es contradictorio o bien no puede formalizar sus mecanismos de razonamiento. Ciertamente, en cualquier sociedad humana se vive en contradicciones. En el mes de julio de 2002 hemos visto que un par de jóvenes palestinos hizo explotar bombas en sus cuerpos, en Tel Aviv, con lo que mataron de paso a dos ciudadanos israelíes. Menos de dos semanas después, el ejército israelí atacó “cuarteles” palestinos, mató a un cabecilla y a once personas más e hirió a otros 95 civiles. La primera



acción se vio por segmentos importantes de la prensa mundial como un acto de terrorismo en tanto que la segunda como una “acción militar legítima”. El uso de las palabras pretende disminuir la contradicción resultante de las apreciaciones de los hechos. En lo individual, sobra decirlo, se puede vivir con muchas contradicciones lógicas. McCullough ilustra la inconsistencia del pensamiento con un experimento sencillo: a un individuo se le pide que apriete uno de dos botones marcados con “Sí” y “No” en función de la respuesta que considere correcta para cada pregunta que se le formule. Cuando se le pregunte “Aprieta ahora el botón No” entonces el individuo caerá en contradicción.

En cuanto a los mecanismos de razonamiento se tiene que, a diferencia de los sistemas formales donde el conjunto de verdades es estático a manera de ideas platónicas, el conjunto de verdades aceptadas por un individuo es variable, e incluso puede ser no-monótono, y también está sesgado por creencias sociales. Se han dado diversos intentos a lo largo de la historia respecto a la formalización de las reglas del pensamiento. Sin embargo, dada la influencia notable de las relaciones sociales en el proceso de pensamiento, tenemos que a la fecha no hay una formalización universal. Tan no se tiene en el ámbito jurídico, por ejemplo, que es común dilucidar la corrección de un razonamiento por mera mayoría de votos de algunos ministros depositarios de la confianza social. Naturalmente, es necesario reconocer que algunos de los criterios para zanjar diferencias tienen que ver con el mantenimiento de la consistencia de los sistemas de deducción utilizados.



El teorema de Gödel establece que o bien no se puede formalizar el pensamiento o, si se hiciese, entonces no podría probar su consistencia. Este es un aspecto común de la inteligencia artificial y de la inteligencia natural. No es una limitante de ellas, es un rasgo inherente de todo sistema de razonamiento que puede razonar sobre sí mismo. Gödel en algún momento escribió que la combinación hilbertiana de materialismo con algunos aspectos de las matemáticas clásicas es imposible (de manera demostrable). Las limitantes lógicas nos ponen pues al nivel de las máquinas. Ahora bien, cada humano tiene (o debería tener), en su interacción con el medio, la posibilidad de utilizar un lenguaje "natural", una autonomía, un libre albedrío, una capacidad de resolución de problemas y una capacidad de razonamiento abstracto. En cambio, las computadoras no son creativas, pues no dan origen a nada, ellas sólo siguen las instrucciones dictadas por programas. Esta es tan sólo una diferencia

trivial y determinante entre la inteligencia natural y la artificial.

Hasta aquí he mencionado que considero a las relaciones sociales como una dificultad para la formalización del razonamiento natural. Acaso su propia inconsistencia sea la clave del "no-sometimiento" del pensamiento humano al teorema de Gödel. Penrose afirma, en cambio, que ese no-sometimiento se debe a que el pensamiento no es computable. Siendo todo cerebro un dispositivo físico (orgánico, biológico y vivo) la mecánica newtoniana determinista haría implausible la no-computabilidad. Así que la explicación física de ella se remonta a propiedades de la física del cerebro analizada en el marco de la mecánica cuántica (sobre todo porque en ella se han visto ciertos patrones de cuasicristales que evidencian patrones no-computables de organización). En las referencias 6 y 7 se pueden leer críticas y réplicas a este enfoque. Es acaso relevante mencionar que esta explicación ha sido acogida con mucho entusiasmo por asociaciones religiosas o místicas y por esto mismo se han expresado reservas hacia ella desde su misma aparición⁸. Parece que el antropocentrismo sigue siendo de gran influencia aún en los tiempos actuales.

Conclusiones

El razonamiento humano es no-computable, es contradictorio o bien sus reglas no pueden ser abarcadas en un sistema formal. Probar cada una de estas propiedades ha dado origen a intensos trabajos de investigación. Desde un punto de vista materialista elemental se puede suponer que el cerebro, como dispositivo físico que es, no puede ser superior a una máquina de Turing. Sin embargo, físicos de gran relevancia en la física moderna, como Roger Penrose, han planteado como hipótesis la no-computabilidad del pensamiento debido a la no-computabilidad de ciertos patrones vistos en la física de partículas subatómicas.

Me parece, sin embargo, que hay que considerar la complejidad de las relaciones sociales y de la percepción que colectivamente nos hacemos del mundo para "probar" que, en efecto, nuestro pensamiento es contradictorio y no codificable en un sistema formal (que incluya sus propias reglas de deducción). En este escrito sólo incluyo primeras impresiones personales y no les atribuyo validez "científica" alguna.



Notas:

1. D. Chalmers, *The conscious mind* (Oxford Univ. Press, 1996).

2. M. Tye, *Ten problems of consciousness* (Bradford Books/MIT Press, Cambridge, 1995).

3. R. Penrose, *The shadows of the mind: A search for the missing science of consciousness* (Vintage, 1994).

4. J. McCarthy, Awareness and understanding in computer programs: a review of *Shadows of the Mind* by Roger Penrose, *PSYCHE* 2, 11 (julio 1995).
<http://psyche.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-11-mccarthy.html>

5. D. McCullough, Can humans escape Gödel?: a review of *Shadows of the Mind* by Roger Penrose, *PSYCHE* 2, 4 (abril 1995).
<http://psyche.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-11-mccullough.html>

6. R. Grush, P.S. Churchland, *Consciousness Studies* 2, 10 (1995), incluido en Paul Churchland y Patricia Churchland *On the Contrary: Critical Papers 1987-1997* (MIT Press, Cambridge, 1998).

7. R. Penrose, S. Hameroff, *J. Consciousness Studies* 2, 98 (1995).

8. Véase, por ejemplo, V. J. Stenger, *The Humanist* 53, 13 (1992). <http://www.phys.hawaii.edu/vjs/www/qmyth.txt>



Participación del Cinvestav en disciplinas de gran ciencia: física de partículas elementales

Francisco Collazo Reyes

Evolución generacional

La física de campos y partículas elementales (FCPE), referida también en la literatura científica como física de partículas elementales o de altas energías, está considerada como una ciencia pura en la que sólo pueden competir los países ricos¹ debido a los altos costos para desarrollar el trabajo experimental: la tecnología de los grandes aceleradores y detectores de partículas. Desde su reconocimiento como disciplina científica, después de la Segunda Guerra Mundial, ha sido considerada como una de las especialidades más representativas del fenómeno *big science*². Según Livingston y Blewett³, su proceso de evolución ha seguido un patrón de descubrimientos fuertemente asociado al desarrollo generacional de los aceleradores, con una correlación entre la secuenciación de los hallazgos importantes en la disciplina y lo que Rescher⁴ denomina el escalamiento tecnológico: cada nuevo descubrimiento ha requerido de un nuevo estado del arte de la tecnología y una nueva generación de aceleradores, que implica a su vez mejoras tecnológicas entre una generación y otra, siempre en órdenes de magnitud y rendimientos. Esta evolución generacional de tecnologías y costos fue abordada en la década de los años 80 por Rosen⁵ como una marcha interminable hacia las altas energías y más recientemente por Tigner⁶ como una circunstancia preocupante para el futuro de la investigación en la física de partículas basada en aceleradores. Esta circunstancia promueve la cultura de la cooperación internacional como el único medio viable para su desarrollo, definida por Rosen⁷ como el *sine qua non* para el futuro de la disciplina.

El Lic. Francisco Collazo Reyes es coordinador de la Biblioteca de Ciencias Exactas del Cinvestav. Dirección electrónica: franc@csb.cinvestav.mx



La comunidad científica del área cuenta con uno de los modelos de colaboración más efectivos basado en la modalidad de la colaboración multi-institucional⁸, altamente dependiente de los grandes centros de investigación experimental: el *Stanford Linear Accelerator Center* (SLAC), *Fermi National Accelerator Laboratory* (Fermilab), *Brokhaven National Laboratory* (BNL), *CSEER-Cornell*, ubicados en EUA; el *Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire* (CERN) en Francia, el *Deutsches Elektronen-Synchrotron* (DESY) en Alemania; que después surgieron en Japón con el *KEK National Laboratory* y en la República Popular China con IHEP, principalmente.

La participación en los aspectos experimentales de esta disciplina desde países periféricos plantea una doble problemática⁹: tecnológica y científica, que implica, por un lado, acceder al manejo de las tecnologías y los conocimientos y, por otro lado, a las líneas de investigación. Esta situación complica su desarrollo desde los países que cuentan con recursos ordinarios para el desarrollo de programas de investigación en el área.

En el proceso de maduración de la física mexicana de partículas elementales (FMPE) se pueden identificar dos generaciones distintas de esfuerzos¹⁰: la primera generó las condiciones locales para la institucionalización y profesionalización de los primeros grupos de investigación teórica en el área que luego abrió el camino a la segunda, los grupos responsables de los esfuerzos que tienen que ver con la formación y profesionalización de una nueva generación de físicos experimentales formados y orientados a participar en las circunstancias del trabajo

big science desarrollado en los grandes centros experimentales. Desde esta perspectiva, en el presente artículo analizamos la participación de la comunidad científica del Departamento de Física del Cinvestav en la cultura de colaboración científica internacional de la FCPE, como parte del proceso general de maduración y arraigo de la disciplina a las circunstancias locales. Para ello identificamos y revisamos la estrategia y las distintas vías de acercamiento o escalamiento de esfuerzos para participar en proyectos de física experimental, el perfil bibliométrico o cuantitativo de la producción y el impacto científicos de esta participación y la influencia o los impactos de estas circunstancias en el proceso de consolidación de la disciplina en la institución.

Antecedentes

La primera generación de esfuerzos para el desarrollo de la FPE en Cinvestav se inició a finales de los años 60 con la atracción de los primeros investigadores, el inicio de las primeras líneas de investigación y la formación de los primeros estudiantes que formaron parte del primer grupo de FPE del Cinvestav integrado en los primeros años de la década de los 70, dedicado al desarrollo de aspectos teóricos de la física de campos y partículas elementales¹¹. Este grupo ha jugado un papel central en todo el proceso de consolidación de la disciplina y ha participado en la formación de las distintas generaciones de estudiantes, la producción de literatura científica, la atracción e incorporación de nuevos investigadores al área, la promoción del programa de posgrado y la formación de nuevos grupos de investigación. Entre estos esfuerzos se

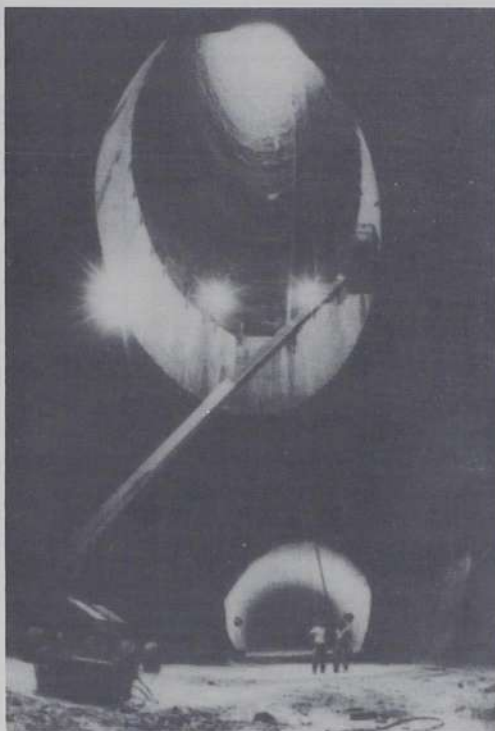
encuentran los iniciados en los primeros años de la década de los 80 que dieron origen a los primeros grupos de física experimental.

Los esfuerzos de acercamiento a los grandes centros de investigación experimental en el área de altas energías se iniciaron a principios de los años 80 en el marco del interés de Leon Lederman, entonces director del Fermilab, por promover el desarrollo de la física de partículas elementales en América Latina y el Primer Simposio Latinoamericano sobre Física de Altas Energías y Tecnología desarrollado en México¹². Los primeros convenios entre Fermilab y Cinvestav¹³ abrieron una de las puertas de acceso más importantes a la cultura *big science*, que se inició con los apoyos que hicieron posible las primeras estancias de estudiantes mexicanos en Fermilab, continuó con la formación académica de la nueva generación de doctores experimentales en física y la participación de estos nuevos especialistas en las primeras colaboraciones *big science*.

En el transcurso de la década de los años 90 el Cinvestav, a través de su programa de posgrado en física de partículas elementales, consolidó su relación con Fermilab y logró nuevos acuerdos con otros centros experimentales de Europa, como CERN¹⁴ y DESY¹⁵, diversificando las posibilidades para la formación de recursos a través de las visitas a estos centros en el esquema de estancias de estudiantes en cursos de verano, la formación académica de investigadores experimentales en el área y la participación en dos colaboraciones importantes: ALICE¹⁴ en CERN y H1 en DESY¹⁵. La participación del Cinvestav en la Colaboración H1 se inició a través de la Universidad de Dortmund, Alemania¹².

Metodología

Este trabajo está apoyado en el análisis de un banco de datos desarrollado localmente para propósitos de estudios bibliométrico/cienciométricos en la Biblioteca de Ciencias Exactas del Cinvestav; por ahora nos hemos concentrado en los artículos de los físicos mexicanos de partículas elementales (FMPE), obtenidos del sistema internacional de información especializada en campos y partículas elementales SLAC-SPIRES-HEP¹⁶, en el periodo 1971-2000, y complementados con información tomada de los *Catálogos Latinoamericanos de Programas y Recursos Humanos en Física*¹⁷ de la Sociedad Mexicana de Física y la Federación Latinoamericana de Sociedades de Física.



Se consideraron todos los trabajos registrados en el sistema SLAC-SPIRES-HEP con filiación Cinvestav pertenecientes a cualquiera de sus departamentos o unidades y en todas las modalidades: artículos en revistas, tesis, *e-prints*, memorias de congresos y libros. Recursos en línea:

<http://www.slac.stanford.edu/spires/hep/>

[http://www.slac.stanford.edu/spires/experiments/
online_exp.shtml](http://www.slac.stanford.edu/spires/experiments/online_exp.shtml)

Dentro de esta página se consultó cada uno de los sitios correspondientes a los experimentos: D0, ALICE, H1, Focus, E791, E789, E687, BTeV, Auger y GEM. Tanto los trabajos como las citas fueron contabilizados para cada una de las dependencias o instituciones nacionales participantes en los trabajos en cada colaboración. La aportación del Cinvestav a la productividad y el impacto científico del área se definió tomando como base los totales correspondientes a las sumas acumulativas de trabajos y citas de las instituciones. El estudio bibliométrico de la producción y el impacto de la literatura

Tabla 1. Participación del Cinvestav en proyectos de colaboración big science.

Internacional				México	
Colaboración ^a	Científicos	Instituciones	Países	Instituciones	Científicos ^b
D0/Fermilab	400	38	18	CINVESTAV	9
E791/ Fermilab	120	20	4	CINVESTAV UAP	14
H1/DKS	400	39	12	U-MERIDA, CINVESTAV	4
FOCUS/Fermilab	134	19	9	CINVESTAV UAP	10
ALICE/CERN	1223	85	27	CINVESTAV UAP	13
Ex 687/Fermilab	241	17	5	CINVESTAV	3
Pierre Auger	250	30	19	CINVESTAV, UNAM, UAP, UMSNH, INAOE	20
GEM	600	40	15	CINVESTAV UGTO	1
E789/Fermilab	46	10	2	CINVESTAV	1
BteV/Fermilab	158	34	8	CINVESTAV	1

^(a) El número de participantes (científicos, instituciones y países) varía regularmente, los datos registrados corresponden a la información registrada en línea en el sitio: <http://www.slac.stanford.edu/spires/find/experiments/>, en el mes de marzo del 2002.

^(b) Incluye Investigadores y estudiantes adscritos al Cinvestav y otras instituciones nacionales.

están apoyados en técnicas estadísticas de bibliometría bi-variante, como es el modelo de regresión lineal para determinar el nivel de relación entre variables y el ajuste a curvas de tendencia exponencial, polinomial y lineal, como mecanismo para determinar las regularidades en la producción, el crecimiento y la dinámica de su evolución. Las dinámicas de crecimiento se determinaron con base en el modelo de regresión lineal y en medidas de tendencia central¹⁰.

Escalamientos

El Cinvestav ha participado en 10 proyectos de colaboración FCPE: D0, E791, H1, FOCUS, ALICE,

E687, Auger, GEM, E789 y BteV, considerados *big o mega science* debido al número de científicos, instituciones y países participantes, como se muestra en la tabla 1. El número de participantes en las colaboraciones registradas en esta tabla, tanto a nivel internacional como nacional, no son permanentes: representa la composición de esfuerzos correspondientes a etapas particulares de los proyectos. Generalmente las colaboraciones se inician con grupos pequeños de científicos que con el tiempo tienden a crecer a varios cientos, involucrando nuevas instituciones y países. Por ejemplo, la colaboración D0 concebida en 1981 inició sus actividades en 1984 con la participación de un grupo de 40 científicos de 10 universidades de los Estados Unidos¹⁸ y en su última etapa se incrementó a 400 científicos, 38 instituciones y 18

Tabla 2. Participación del Cinvestav en colaboraciones *big science*. Con asteriscos se indican los años en que los grupos del Cinvestav iniciaron su colaboración.

Etapas	E687	D0	E789	E791	H1	GEM	BTeV	FOCUS	ALICE	Auger
Propuesta y Diseño	1981	1981	1987	1987	1986	1991 1992	1998*	1996*	1995 1996*	1995 1996*
Aprobado	1983	1983	1988	1988	1988	1992	2000	1996	1996	1996
Construcción	1987	1985	1990	1991		?		—	1996	1999
Toma y análisis de datos	1992	1992*	1992	1992*		?		1996	2005	1997
Análisis y resultados	1996	1992-	1993	1987*	1998*			1997		
Conclusión	1996	1996							2005	2010
Continuación	Focus E831	D0 II E823								
Situación actual		Análisis datos	?	Análisis Datos	Análisis datos	?	Cons-trucción	Análisis datos	Cons-trucción	Cons-trucción

países, como se muestra en la tabla 1, constituyendo una auténtica red de colaboración científica. De acuerdo al número de participantes (investigadores, países e instituciones) a algunas de estas colaboraciones como D0, ALICE, H1 y GEM, se les considera también como mega colaboraciones.

Según Pickering¹, las colaboraciones *big science* tienen un promedio de vida de 10 años y su desarrollo consiste de un ciclo de varias etapas que se inicia, de acuerdo a la información del sistema SPIRES-HEP, con la presentación de las propuestas técnicas registrando, en la mayoría de los casos, sus fechas de presentación y aprobación, como se muestra en la tabla 2. La siguiente etapa tiene que ver generalmente con los aspectos del diseño, construcción y operación de los aceleradores o detectores de partículas que constituyen el instrumental científico-tecnológico básico del trabajo experimental en el área, con excepción de la colaboración Pierre Auger, dedicada a diseñar, construir y operar observatorios para el desarrollo de investigación en astropartículas y rayos cósmicos¹⁹. El desarrollo continúa con el trabajo experimental y la toma de datos de cada uno de los eventos programados. Finalmente el ciclo se complementa con el análisis y la

publicación de resultados. Cada una de estas etapas requiere de distintos especialistas y ofrece diferentes posibilidades para el desarrollo de habilidades en el manejo de modernas tecnologías y adquisición de conocimientos que constituyen auténticos laboratorios para el proceso de formación de los estudiantes.

Como se puede ver en la tabla 2, cada uno de los proyectos se encuentra en distintas etapas de su desarrollo y la participación del Cinvestav ocurrió también en distintos momentos de su ciclo de vida. Por ejemplo, mientras que la participación en las colaboraciones D0, H1 y E791 se dieron en las etapas finales correspondientes a la toma de datos, análisis y publicación de resultados, en los proyectos FOCUS, ALICE y Auger ocurrió desde las primeras etapas propias del diseño y construcción del instrumental científico. En los casos de los proyectos E789, E687, GEM y BTeV, donde la participación del Cinvestav ha sido temporal, resultó difícil determinar la fecha de participación. En algunos de estos casos los investigadores que iniciaron la participaban ya no están adscritos a la institución, como son los casos de la Dra. Marleig Sheaff y el Dr. H. Méndez que participaron en la elaboración de la propuesta técnica y los programas de

Tabla 3. Producción e impacto científicos de la física de partículas elementales del Cinvestav. Aportación de los trabajos en colaboración multi-institucional.

Trabajos					Citas			
Años	A	B	C	D	E	F	G	H
1991	17	1	16	5.9	110	1	109	0.9
1992	24	1	23	4.2	119	0	119	0
1993	29	4	25	13.8	78	0	78	0
1994	51	6	45	11.8	164	74	90	45.1
1995	75	34	41	45.3	433	308	125	71.1
1996	82	33	49	40.2	831	640	191	77
1997	70	29	41	41.4	897	681	216	75.9
1998	90	32	58	35.6	1128	837	291	74.2
1999	92	43	49	46.7	1094	784	310	71.7
2000	138	47	91	34.1	1170	708	462	60.5
Totales	668	230	438	34.4	6024	4033	1991	66.9

Columnas: (A) Producción científica anual, (B) trabajos generados en colaboración *big science*, (C) producción científica sin los trabajos en colaboración, (D) aportación porcentual de los trabajos en colaboración a la producción total, (E) citas anuales acumuladas, (F) citas correspondientes a los trabajos en colaboración, (G) citas sin las correspondientes a los trabajos en colaboración, (H) aportación porcentual de las citas correspondientes a los trabajos en colaboración al impacto total.

las colaboraciones BTeV y E687, respectivamente, todavía como investigadores titulares del Departamento de Física. Las colaboraciones E687 y D0 concluyeron su primer ciclo de presentación de resultados en 1996 y continúan con el nombre de FOCUS o E831, en el primer caso, y D0 Run II o E823 en el segundo. En ambos casos la participación del Cinvestav continúa con mayor intensidad.

Como se ve aprecia en la tabla 2, hasta el momento el Cinvestav no ha participado en ciclos completos de las colaboraciones *big science*, la historia de su incursión es muy reciente, se inicia a principios de los años 90, en las últimas etapas de los proyectos D0 y E791. En este sentido, la participación desde las primeras etapas en las colaboraciones FOCUS, ALICE y Auger representan las primeras oportunidades de participar en todas las etapas del ciclo, incluyendo los aspectos de diseño y construcción del instrumental científico-tecnológico.

Producción científica

De acuerdo a la base de datos sobre la FMPE 1971-2000, la producción y el impacto científicos del Cinvestav representan una aportación global del 34 % (894 trabajos) para el primer caso y del 59.5 % (6,584 citas) para el segundo, lo que significa una participación de una tercera parte de la producción total mexicana en esta especialidad y más de la mitad en el caso del impacto. Esta producción y este impacto científicos se encuentran altamente concentrados en la década de los años 90, como se muestra en la tabla 3, donde el 75 % (668) de los trabajos y el 91 % (6,024) de las citas corresponden a este periodo (1991 – 2000). Tanto la producción como el impacto científicos correspondientes a los trabajos generados en proyectos de colaboración multi-institucional están concentrados en la década de los años 90. Su aportación creció de manera importante hasta convertirse en una

Tabla 4. Producción e impacto *big science* en física de partículas elementales del Cinvestav. Trabajos y citas por proyecto.

	D0		E791		H1		ALICE		FOCUS		Auger ^a		Otros
Año	Trab	Citas	Trab	Citas	Trab	Citas	Trab	Citas	Trab	Citas	Trab	Citas	Citas
1991													1
1992													1
1993	2												2
1994	3	347	3										
1995	34	1441	0										
1996	28	441	4	247			1						
1997	24	407	5	91			0						
1998	24	343	6	161			1				1		
1999	23	165	7	100	9	100	2				1	1	1
2000	21	45	6	5	14	103	1		5	12			
Totales	159	3189	31	604	23	203	5		5	12	1	6	1
Spires ^a	815		79		549		130		34		12		

^a Producción científica total registrada en el sistema SPIRES-HEP hasta el año 2000 para cada colaboración.

^b De acuerdo al sitio (<http://www.fis.cinvestav.mx/~auger/papers.html>), la colaboración mexicana ha publicado, hasta el 20 de agosto del 2001, 34 trabajos.

tercera parte del total en el caso de la producción y en dos terceras partes del impacto como se puede ver en los totales de la tabla 3: columnas D y H, respectivamente.

Hasta el momento, las colaboraciones que más han aportado a la producción y el impacto científicos de la FCPE del Cinvestav tienen mucho que ver con la consistencia y la participación en las etapas de análisis y publicación de los resultados, que son los casos de las colaboraciones D0, E791 y H1, que juntos concentran el 92% de los trabajos y el 99 % de las citas como se muestra en la tabla 4. Sin embargo, la participación del Cinvestav en las publicaciones generadas por las colaboraciones todavía resulta modesta. Por ejemplo, los 159, 31 y 23 trabajos publicados en los casos del D0, E791 y H1, apenas representan el 20%, 39% y 4%, respectivamente, del total de las 815, 79 y 549 publicaciones registradas en el sistema SPIRES-HEP para estas colaboraciones (tabla 4).

Sin duda la participación institucional en la colaboración D0 ha sido un acontecimiento importante debido a que representa uno de los proyectos *big science* más importantes en física de altas energías en términos de su producción e impacto científicos, así como por la importancia de sus investigaciones que culminaron, en su primer etapa, con el descubrimiento del quark top en 1995¹⁸. Este trabajo aporta más de la mitad de las 1441 citas registradas en la tabla 4 para el año 1995. Los 159 trabajos y las 3189 citas que se obtuvieron a través de esta participación representan en términos cuantitativos una aportación sobresaliente con una influencia específica en la producción y el impacto científicos de la institución como se muestra en las gráficas de las figuras 1-3.

El patrón de crecimiento de la producción científica de los grupos teóricos de FPE del Cinvestav tiene un comportamiento compuesto de incrementos, en periodos breves, seguidos regularmente por decrementos con duración de uno o dos años, con índices de crecimiento contrastante entre las dos primeras décadas y la última.

Cinvestav. Física de partículas elementales

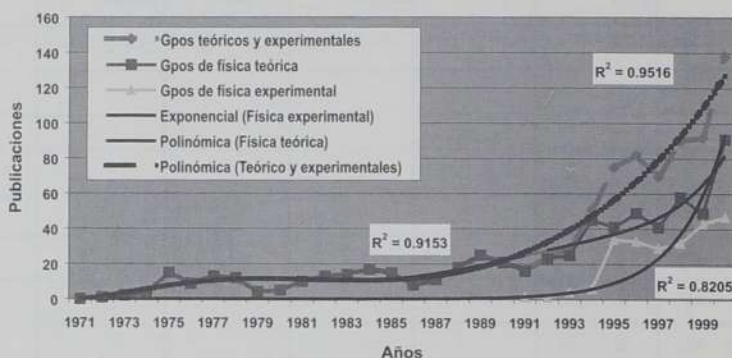


Figura 1. Influencia de los trabajos generados en proyectos *big science* en la producción científica de la física de partículas elementales del Cinvestav.

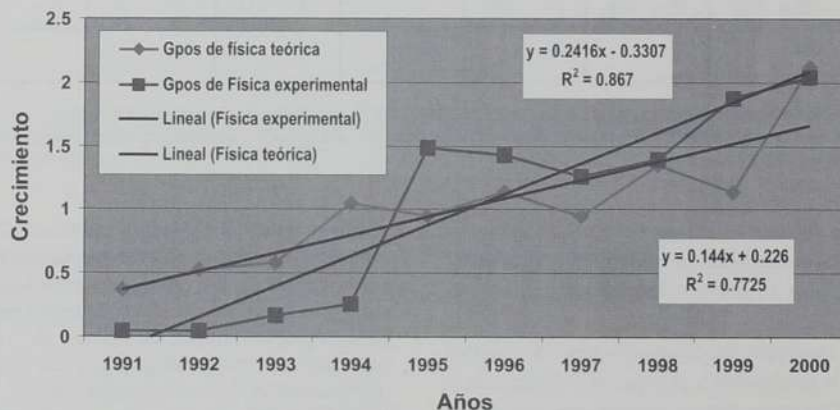


Figura 2. Dinámica de crecimiento de la producción de los grupos teóricos y experimentales de física de partículas elementales del Cinvestav. El intervalo de valores sobre el eje vertical representa la escala de la dinámica del crecimiento resultante de dividir los valores de las series anuales entre el número promedio general (utilizados como datos divisores base) de trabajos de ambos grupos: teóricos y experimentales.

La línea de tendencia que mejor refleja este comportamiento es la polinomial, que se muestra en la figura 1 con valores de ajuste adecuados representados por $R^2 = 0.9153$. La aportación de los grupos experimentales se inicia en los primeros años de la década de los 90 y se muestra a través de dos líneas. Una de ellas representa la producción acumulada de los dos

grupos señalada con la línea punteada que presenta un ajuste ($R^2 = 0.9516$), más adecuado que el caso anterior, y la otra representa únicamente la producción de los grupos experimentales y aparece ajustada a una línea de tendencia exponencial representada por el valor de $R^2 = 0.8205$ que significa que el ajuste es adecuado en una escala de 0.1 a 0.99.

CINVESTAV. Física de partículas elementales

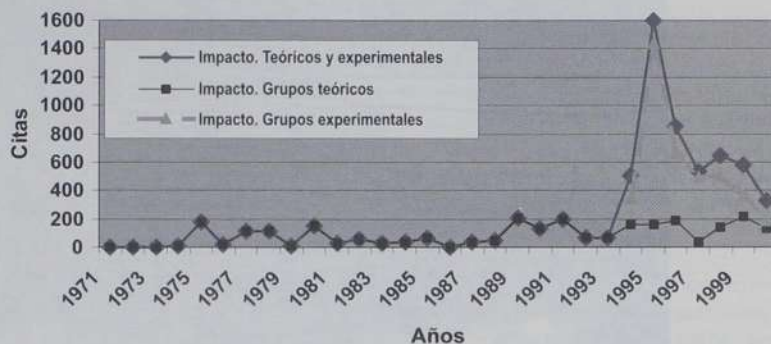


Figura 3. Impacto de la física de partículas elementales por grupos.

La figura 1 muestra que la producción científica de la FPE manifestó un cambio repentino en la tendencia del crecimiento de la producción a principios de los años 90, con relación al comportamiento irregular de incrementos y decrementos de las décadas anteriores. El inicio de esta nueva tendencia, que corresponde a los primeros años de la década y que se mantuvo durante todo el periodo, coincide con la aparición de las primeras publicaciones con participaciones de investigadores del Cinvestav en las colaboraciones *big science*; sin embargo, el origen del crecimiento no se debe a estos últimos trabajos, sino al inicio del periodo de incremento sostenido más importante en la historia de 30 años de producción científica de los grupos de investigación teórica, que lograron modificar el estado estacionario de su producción de las dos primeras décadas por un crecimiento de tendencia exponencial en el último periodo independientemente de la aportación de los grupos experimentales, como lo muestra la línea continua de la figura 1.

La aportación a la producción generada por los grupos experimentales, constituidos en torno a lo que aquí denominamos la segunda generación de esfuerzos, tiene su origen y principal fuente de crecimiento en la Colaboración D0, particularmente asociados a la participación en las etapas más prolíficas del proyecto en términos del proceso de generación de datos y presentación de resultados que acompañó las fases de búsqueda, descubrimiento y repercusiones del hallazgo del quark top¹⁸. Esta aportación ha sido incrementada en los últimos

años con la literatura generada por otros grupos experimentales, principalmente los que participan en las Colaboraciones E791, H1 y ALICE, situación que ha permitido mantener y mejorar la dinámica de crecimiento de la producción científica lograda inicialmente por la Colaboración D0, como se muestra en la figura 2. En el transcurso de la década de los años 90 ocurrió un cambio en las dinámicas de crecimiento de la producción de ambos grupos como se ve en la figura 2, que se muestra con el cruce de ambas pendientes a la mitad de la década; aquí se destaca una dinámica de crecimiento mayor en la producción de la física experimental, cuantificada por el valor mayor de su pendiente de 0.2416, con respecto al valor de 0.144 de la física teórica.

Impacto científico

La figura 3 muestra en forma de series anuales el número de citas recibidas por la literatura científica del área de FPE representada por tres líneas. La primera se refiere a la suma de las citas de los grupos teóricos y experimentales; la segunda registra las citas de los grupos teóricos y la tercera representa los mismos datos de los grupos experimentales. Como se puede ver en la línea correspondiente al impacto acumulado, la aportación de las citas de los grupos experimentales, ocurrida en la última década, provocó un crecimiento radical y atípico en la medida que no se ajusta a ninguna de las líneas de tendencia exponencial, lineal o polinomial, que reflejan los patrones comunes de crecimiento de la información



científica. Este crecimiento tiene que ver con una circunstancia de atención e impacto de la literatura generada en torno a un evento muy anunciado en la Colaboración D0, la búsqueda y descubrimiento del quark top¹⁸ que provocó un impacto de más de mil citas como se muestra en la tabla 4; la publicación que anunció el descubrimiento de esta partícula¹⁸ ha recibido más de 800 citas, contabilizadas entre las 1600 citas registradas por el año 1995 en la figura 3. Esto quiere decir que el crecimiento excepcional del impacto alcanzado en el Cinvestav en el año de 1995 está asociado a su participación en la búsqueda y descubrimiento de un evento *big science*. El artículo donde se anunció el descubrimiento del quark top se convirtió precisamente en el más citado en la literatura científica correspondiente a la década 1990-1999 entre más de ocho mil artículos publicados en este periodo por físicos adscritos a instituciones mexicanas, incluidos los artículos en astronomía²⁰.

Formación de estudiantes

Los convenios con los grandes centros internacionales de experimentación, que han hecho posible la estancia de unos 100 estudiantes de verano en Fermilab, DESY, CERN y la creación de un Programa para formar físicos experimentales en colaboración con esos centros, han representado la forma natural de la comunidad científica

del Cinvestav para iniciar los esfuerzos de inserción a la arena internacional del trabajo experimental en altas energías; después de 15 años ha dado como resultado una nueva generación de físicos experimentales que están incorporados a distintos grupos de investigación y han diversificado los esfuerzos e incrementado el rol de las instituciones en la cultura de la colaboración científica.

De los 20 doctores experimentales en física de altas energías existentes en México hasta el año 2002, 6 trabajan en el Cinvestav (5 en Zacatenco y 1 en la Unidad Mérida) y es considerado el grupo de experimentales más grande y con mayor representatividad en los proyectos. Actualmente los doctores Heriberto Castilla, Gerardo Herrera y Arnulfo Zepeda son considerados líderes de las colaboraciones mexicanas en los proyectos D0, ALICE y Auger, respectivamente, posición que les ha permitido promover y apoyar la formación en curso de una docena de nuevos maestros y doctores como parte de estos proyectos, utilizando datos generados en los propios experimentos.

Aportaciones

Las aportaciones del Cinvestav a las colaboraciones se han diversificado hacia distintos aspectos que tienen que



ver con la elaboración de las propuestas técnicas y programas de los proyectos, como son los casos del GEM, BTeV y E687, en las etapas de diseño y construcción de equipo e instrumental científico de los proyectos ALICE y Auger, el desarrollo e instrumentación del *Silicon detector raw data algorithm* en el proyecto D0 Run II, así como la participación en las etapas que tienen que ver con la preparación del *hardware*, el desarrollo de *software*, la toma o levantamiento de datos, el análisis y la publicación de resultados. En la colaboración D0 el grupo de Cinvestav ha participado directamente en los estudios relacionados con las propiedades del bosón W que han sido incluidos en por lo menos una docena de publicaciones¹⁸.

En la colaboración H1, los estudiantes de verano han participado en tareas técnicas cotidianas del proyecto y el grupo de investigación trabaja en la física de las partículas *charm* y en aspectos referentes a la descripción de la dinámica de la estructura del protón. Actualmente ALICE ha producido 130 trabajos que tienen que ver

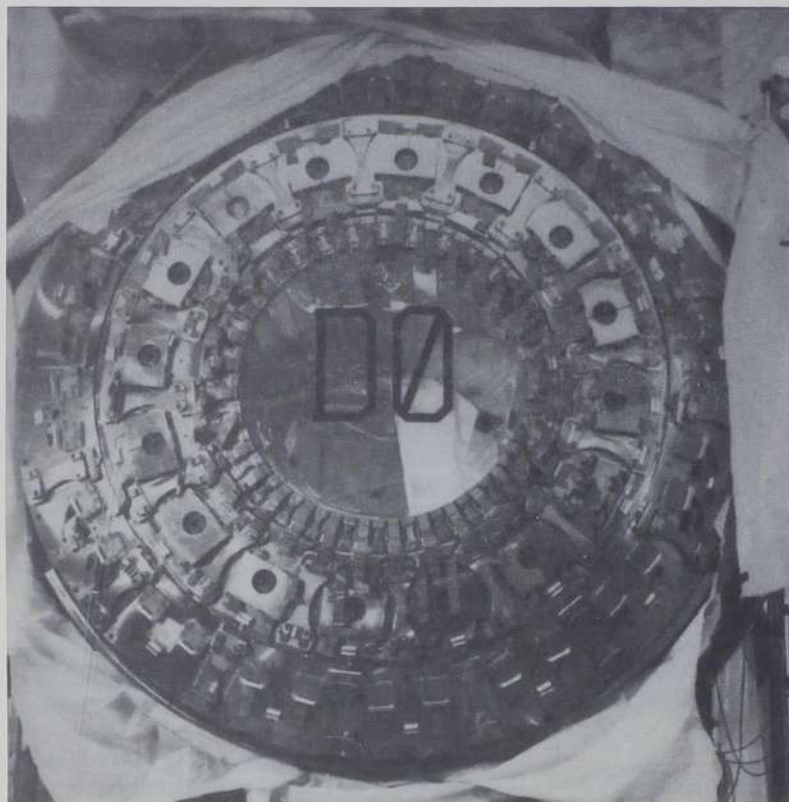
principalmente con reportes técnicos que han sido presentados generalmente en congresos y conferencias. Estos trabajos se han referido al avance de los aspectos de diseño, instalación, ensamble, calibración, características y resultados de pruebas con prototipos descriptivos del funcionamiento. El grupo del Cinvestav ha participado en cinco reportes que tienen que ver con el diseño técnico de los detectores para este experimento. La literatura publicada está centralizada en tres títulos de revistas como *Nucl. Phys. A*, *Nucl. Phys. Proc. Suppl.* y *Nucl. Instrum. Meth.*

Algunos proyectos que aparecen en etapa de diseño y construcción cuentan con prototipos que les permiten correr eventos, registrar datos, analizar y publicar resultados, como es el caso de la colaboración mexicana en Auger que tiene instalado un detector prototipo de superficie en el campus de la Universidad Autónoma de Puebla desde 1996, y que le ha permitido empezar a publicar los primeros resultados en conferencias y revistas de divulgación. Hasta el 20 de agosto del 2001 se tenían registrados 34 trabajos en el sitio <http://www.fis.cinvestav.mx/-auger/papers.html>. En Focus, la participación mexicana colabora en el grupo de trabajo sobre "The Outer electromagnetic Calorimeter (OE)" junto con el CBPF de Brasil y el INFN Frascati de Italia.

En el medio latinoamericano, el Cinvestav y el Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) iniciaron la modalidad de la colaboración regional en el marco del experimento E791, con sede en Fermilab, y que también involucra la participación y formación de estudiantes. Varias publicaciones y tesis de maestría y doctorado están siendo desarrolladas en el marco de los datos generados en esta colaboración²¹.

Comentarios finales

Puesto que la ciencia se basa por naturaleza en la "circulación de hombres e ideas"²², la instrumentalización de la estrategia de incursión del Cinvestav a la cultura *big science* está basada también en un ejercicio de apertura institucional a la movilidad de recursos y formación de una nueva generación de físicos experimentales en Fermilab, CERN y DESY, así como en el seguimiento y los apoyos al proceso de incorporación, participación y crecimiento de los roles de estos nuevos perfiles, tanto en los programas locales de investigación y docencia como en estos proyectos internacionales de colaboración *big*



science. Estos esfuerzos locales han dado lugar a un importante proceso de fertilización de ideas²³ y acumulación institucional de conocimientos presentes en forma de hechos y recursos documentales, que representan la historia del desarrollo de los aspectos experimentales de la disciplina y sus características particulares, que en este trabajo hemos articulado utilizando las distintas vías de escalamientos de esfuerzos como piezas documentales que atestiguan su proceso de desarrollo.

La evolución histórica de los modos de producción del conocimiento tienen que ver con una transición de las investigaciones basadas en la individualidad, a las realizadas en colaboración entre grandes grupos de diferentes instituciones y países⁹; así ha ocurrido con la participación del Cinvestav en las colaboraciones D0, H1, E791, ALICE, FOCUS, Auger, E789, E687, GEM, BTeV, que lo han involucrado en el nuevo tejido de relaciones y

de intercambios en forma de redes de colaboración científica, constituidas por cada uno de los proyectos con fuerza, alcance e intensidad distintos, pero que juntos involucran miles de investigadores adscritos a cientos de instituciones de diferentes países, interactuando en forma de ligas y nodos como signos de los nuevos mecanismos de un escenario que inciden en los modos de difusión y obtención del conocimiento⁹ y forman parte del proceso de aprendizaje de las instituciones y entre las instituciones. Este proceso es básicamente interactivo y los conocimientos están enraizados en las estructuras y nodos del tejido de las redes de colaboración²⁴. En este sentido, el Cinvestav se ha convertido en un nodo más del tejido internacional de conocimientos en el área, y a nivel local en un punto de intersección y flujo de conocimientos entre instituciones y un espacio para la formación de recursos humanos y de promoción de nuevos grupos de investigación. Esta ubicación nodal en la red de

conocimientos representa una posición estratégica para la captación, creación, utilización y acumulación de conocimientos en la institución.

Hasta ahora la estrategia del Cinvestav ha sido exitosa y ha provocado una indudable reorganización de la disciplina basada en un nuevo equilibrio de roles teóricos y experimentales resultantes de un doble entorno de esfuerzos: las circunstancias, principalmente locales, en que se desarrolla el quehacer de los grupos teóricos y las circunstancias, altamente dependientes de factores externos, en que ocurre el trabajo de los grupos experimentales. La producción y el impacto científicos paralelos y sin influencias claras entre ambos grupos, han dado como resultado una dinámica de crecimiento novedosa entre las ciencias físicas.

La aportación principal a la producción científica generada por los grupos experimentales tiene su origen y principal fuente de crecimiento en la participación del Cinvestav en las etapas más prolíficas de los proyectos, como son la generación de datos, el análisis y la presentación de resultados, pero el crecimiento excepcional del impacto alcanzado en el Cinvestav en el año de 1995 está asociado a su participación en la búsqueda y descubrimiento de un evento *big science*, el descubrimiento del quark top. Este es uno de los acontecimientos más importantes y anunciados¹⁸ de la disciplina en la década de los años 90, ocurrido en circunstancias de una gran atención previa al acontecimiento y de impacto posterior a él mismo en la comunidad científica internacional.

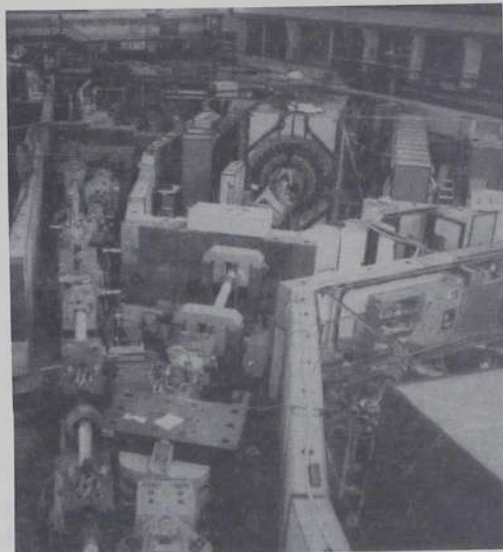


Notas

1. A. Pickering, *Constructing quarks: a sociological history of particle physics* (U. Edinburgh Press, 1984).

2. El concepto *big science*, acuñado por S. Weinberg (*Science* **134**, 164) y divulgado por W. Price (*From little science to big science*. Columbia University Press, 1963), se refiere a la ciencia de los laboratorios a gran escala como parte de un fenómeno de transición de la pequeña a la gran ciencia.

3. M.S. Livingston, J.P. Blewett, *Particle accelerators* (McGraw-Hill, Nueva York, 1962).



4. N. Rescher, *Scientific progress: a philosophical essay on the economics of research in natural sciences* (Basil Blackwell, Londres, 1978).

5. S.P. Rosen, en *Particle physics: a Los Alamos primer*, N.G. Cooper y G.B. West, eds. (Cambridge, Nueva York, 1988).

6. M. Tigner, *Physics Today*, **36** (enero 2001).

7. S.P. Rosen, *Beam Line* **27**, 4 (1997).

8. J.S. Katz, B.R. Martin, *Research Policy* **26**, 1 (1997) definen la colaboración *big science* o multi-institucional como el caso extremo de las colaboraciones científicas. Por su carácter internacional, multi-institucional, multigrupal, multi-sectorial, las diferencian de las siguientes modalidades: colaboraciones que involucren individuos del mismo o distinto grupo, entre grupos del mismo departamento o institución, entre departamentos de la misma institución y entre instituciones del mismo sector o país.

9. M.J. Santesmases, *Rev. Intern. C. Sociales* **168**, 135 (2001); J. Sebastián, La cultura de la cooperación en la I+D+I, artículo en prensa en la revista *Espacios* (2002).

10. F. Collazo Reyes, M.E. Luna Morales, *Interciencia* **27**, 347 (2002); M.E. Luna Morales y F. Collazo, El síndrome *big science* y su influencia en el proceso de maduración de la física mexicana de partículas elementales, Seminario Int. Est. Cuantitativos y cualitativos de la C y T, La Habana (2002).
11. M.A. Pérez Angón, *Avance y Perspectiva* **26**, 12 (1986).
12. G. Herrera Corral, *Avance y Perspectiva* **12**, 105 (1993).
13. A. Zepeda, en *Foros: diagnóstico de la física en México* (Academia Mexicana de Ciencias, 2000).
14. J.G. Contreras, L. Magaña, *Avance y Perspectiva* **12**, 101 (1993); G. Herrera Corral y L.M. Montaña, *Avance y Perspectiva* **17**, 357 (1998).
15. J.G. Contreras, en *Particles and Fields* (AIP Proc. **531**, 276, 2000).
16. Este sistema es desarrollado y administrado por la biblioteca de SLAC y complementado con el sistema administrador y recuperador de información, Stanford Public Information Retrieval System (SPIRES) en el área de física de partículas elementales (HEP).
17. *Catálogo de Programas y Recursos Humanos en Física* (Sociedad Mexicana de Física, 1987 – 1996). A partir de la edición de 1996 incluye en su cobertura a los países de Centroamérica y del Caribe. En 1997 cambió a *Catálogo Latinoamericano de programas y Recursos Humanos en Física*, coeditado entre la Sociedad Mexicana de Física y la Federación Latinoamericana de Sociedades de Física. La edición 2000-2001 incorporó información sobre la física de los países de la Península Ibérica y modificó su nombre anterior por *Catálogo Iberoamericano de Programas y Recursos Humanos en Física*.
18. A. Sánchez Hernández, en *Paricles and Fields* (AIP Proc. **531**, 263, 2000); D0 Collaborations (S. Abachi et al., *Phys. Rev. Lett.* **74**, 2632, 1995), e-Print Archive: hep-ex/9503003; G. Herrera, *Avance y Perspectiva* **13**, 141 y 195 (1994); M.A. Pérez Angón, *ibid* 199 (1994).
19. U. Cotti y A. Zepeda, *Avance y Perspectiva* **17**, 131 (1998).
20. A. Ramírez Núñez, tesis de licenciatura en biblioteconomía, ENBA (2002).
21. J.G. Anjos, en *Particles and Fields* (AIP Proc. **531**, 267, 2000).
22. J. Gaillard y A. Gaillard, *Science Technology and Society* **2**, 195 (1997).
23. M.J. Baptiste, D. Kaplan, J. Charum, *Rev. Int. Sociales* **168**, 135 (2001).
24. R. Maspons. En "Congreso Internacional de Información Info 2002" (La Habana, Cuba, abril 22-26, 2002).

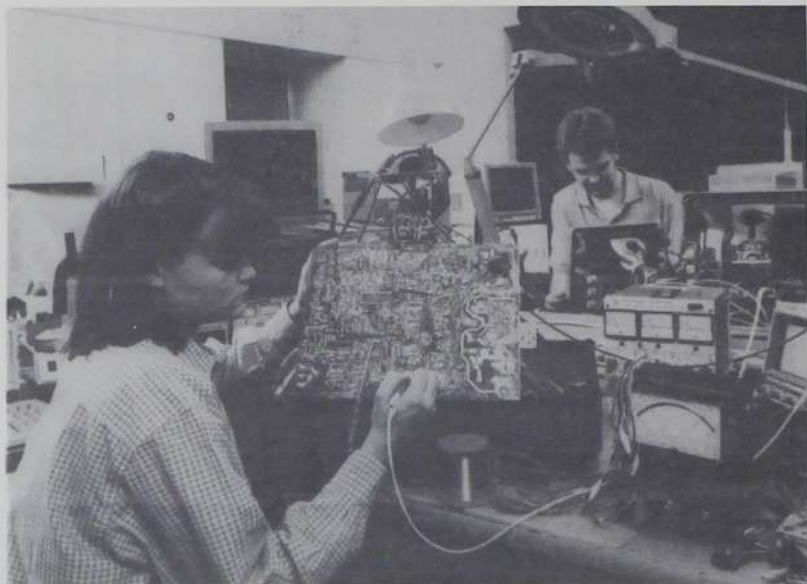
Educación para México en el siglo XXI

Jorge Suárez Díaz

Se ha vuelto un lugar común, indiscutible, la afirmación de que "La calidad del sistema educativo de una nación será uno de los factores decisivos —el decisivo, creo yo— de su buen éxito durante este siglo XXI, e incluso, para más adelante, con tecnologías aún más avanzadas que las actuales". Desafortunadamente, nuestro sistema educativo está muy degradado y atrasado, no obstante que se le asigna anualmente uno de los presupuestos más altos con relación a las demás áreas y que, por ello, debería lograr una buena educación de excelencia para todos los mexicanos. Esto se debe en gran parte a que se siguen utilizando las mismas metodologías del siglo antepasado, que estaban adaptadas para una sociedad que evolucionaba tan lentamente que parecía que estaba estacionaria, por lo que ya no son adecuadas para la sociedad moderna, tan dinámica.

Todavía durante casi toda la primera mitad del siglo XX padecimos esta inacción o apatía, por lo que varios autores le llamaron la época del estancamiento. En esa época nada progresaba, los alumnos estudiaban en los libros en que habían estudiado sus antecesores y, esos mismos libros, sirvieron para varias generaciones posteriores. Sin embargo, sobrevino la segunda guerra mundial; los países de ambos bandos obligaron a sus científicos e ingenieros a que trabajaran a marchas forzadas para superar al enemigo con mejores medios de ataque y destrucción. De este modo, la guerra sirvió como catalizador positivo para el progreso espectacular de la ciencia y la tecnología. Ese desarrollo tan notable de la ciencia y la tecnología continuó acelerándose durante toda

El Ing. Jorge Suárez Díaz es jefe de la Sección de Proyectos de Ingeniería del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav.



la segunda mitad del siglo XX y, aparentemente, seguirá progresando aún más durante este siglo XXI.

Debido a todo eso, la sociedad también ha tenido un cambio considerable en ese período y es muy distinta de la sociedad de la primera mitad del siglo XX y las anteriores. La actual es una sociedad muy evolucionada, que progresa en forma acelerada, por lo que las metodologías de la educación, utilizadas en los siglos XIX y XX, ya no son adecuadas para la sociedad del siglo XXI: resultan totalmente obsoletas, hay que cambiarlas por otras que se adapten a nuestra sociedad actual.

Estamos viviendo una época notable por la rapidez con que se suceden los descubrimientos científicos, las innovaciones tecnológicas y la forma notable como se manifiesta la creatividad humana. Nunca antes habíamos visto y aprendido tanto en lapsos tan cortos. Todo esto es una consecuencia directa de los avances tan notables de la ciencia y la tecnología. En especial de las telecomunicaciones, la informática, la cibernética, la visualización científica y los ambientes virtuales (realidad virtual). Hay que aplicarlas a la educación.

Para que nuestro país se desarrolle y progrese en todos sentidos, se requiere mejorar su sistema educativo; para

ello es necesario utilizar todos los recursos disponibles para llevar al cabo, eficaz y eficientemente, esta importante tarea. Me refiero a los recursos de las tecnologías modernas avanzadas, aplicables a la educación, con el fin de que ésta se adapte a la dinámica de nuestra sociedad moderna y sea, además, de una calidad de excelencia en toda la república y no sólo en sus grandes e importantes ciudades, como sucede ahora.

En los países más avanzados del mundo se está llevando al cabo una revolución de la educación, utilizando nuevas y eficientes metodologías, basadas en tecnologías modernas, aplicables al aprendizaje, con resultados muy alentadores. Se está comprobando que los estudiantes que se educan mediante ellas superan a los que emplean las metodologías tradicionales. Durante los últimos años ha surgido una gran variedad de ambientes de aprendizaje apoyados con tecnología avanzada. Estos nuevos y modernos ambientes de aprendizaje constituyen soluciones prácticas, eficaces y eficientes, para superar la educación y, a la vez, para disminuir sus costos. Algunos de ellos incrementan el acceso al aprendizaje, como la educación interactiva a distancia, por medio de las redes telemáticas de banda ancha; algunos otros mejoran la calidad de la educación, como los medios múltiples interactivos; algunos más desarrollan la imaginación, la creatividad y la

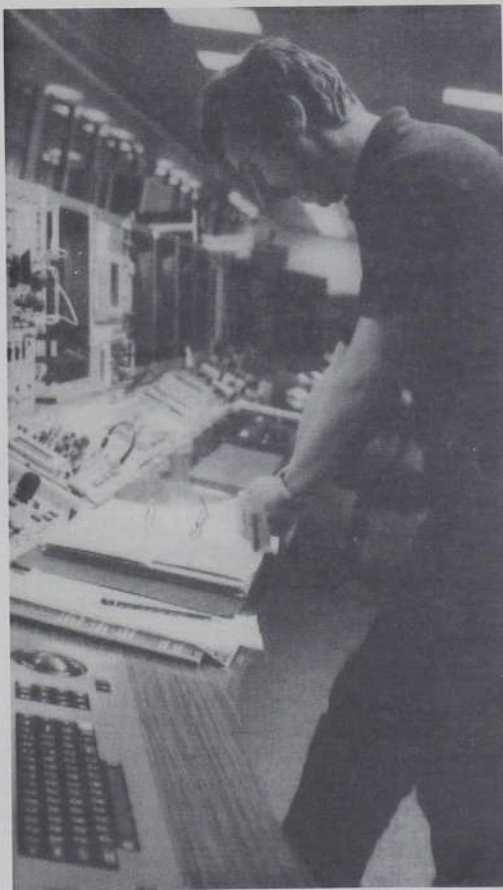
inteligencia, como los simuladores electrónicos, la visualización científica y los ambientes virtuales (realidad virtual).

Actualmente ya no se considera a la inteligencia (o mejor dicho inteligencias) como una "caja negra", con la que se nace y que no está sujeta a cambios. Ahora los expertos han encontrado que las inteligencias se pueden considerar en función de diferentes tipos y combinaciones de representaciones mentales, de modo que éstas sí se pueden cambiar en función de la maduración, como consecuencia de la experiencia, resultado de las interacciones con otras representaciones. De aquí lo interesante e importante que pueden resultar las interacciones de los estudiantes con los medios tecnológicos que hemos mencionado para mejorar el aprendizaje con comprensión. Disponemos de cantidades masivas de conocimientos de todas clases que podrían ser de fácil acceso para los estudiantes, por medio de redes telemáticas de banda ancha. Es necesario establecer una o varias redes de esta naturaleza, para servir al sistema educativo, con el fin de ayudar a mejorarlo y hacerlo eficiente. Además, estas metodologías ayudarían también a resolver el problema de cómo lograr que los estudiantes digieran y comprendan todo el cúmulo de conocimientos que estudian. La clave para esto es la ayuda de la tecnología avanzada, como la mencionada arriba, aplicada a la educación.

Actualmente, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav, Sección de Proyectos de Ingeniería, se están desarrollando cursos de alto nivel para ingenieros sobre "Sistemas de Telecomunicaciones", basados en las nuevas metodologías mencionadas, apoyadas en tecnologías avanzadas aplicables al aprendizaje, con comprensión, con el fin de ensayarlas con estudiantes de ingeniería del IPN, para afinar su estructura y nivel y evaluar sus resultados.

Como personas interesadas en que los estudiantes se eduquen, eficaz y eficientemente, debemos aceptar la responsabilidad de participar y contribuir a la tarea de que aprendan y se habiliten, para que puedan realizarse plenamente, dentro de sus potencialidades, con el fin de que estén mejor capacitados para servir, en forma más amplia y eficiente, a la sociedad y a su país. Debemos tratar de inventar sistemas educativos modernos, mejores y más eficientes que los actuales, que estimulen a los estudiantes a superarse, adquiriendo la más amplia com-

petencia, en el campo de acción de cada uno de ellos. Por ello, si aceptamos la importancia que tiene la participación directa, inmediata y activa, como proceso fundamental del aprendizaje, debemos ver el desarrollo de los medios tecnológicos modernos con gran entusiasmo y esperanza, para coadyuvar a mejorar el proceso del aprendizaje de los estudiantes de nuestro país. En este sentido, uno de los temas humanísticos de nuestro tiempo es cómo utilizar las tecnologías modernas avanzadas, para diseñar el ambiente adecuado de la educación, de modo que el estudiante obtenga control creciente sobre su desarrollo. Esto es, proveer al estudiante con una variedad amplia de modelos de aprendizaje que pueda utilizar, con flexibilidad y ventaja, para lograr sus mejores propósitos.



Verano Científico en Laboratorios Extranjeros

La División de Partículas y Campos de la Sociedad Mexicana de Física convoca a los estudiantes de recién ingreso a maestría o que estén a punto de terminar su programa de licenciatura en física o áreas afines, a concursar por una de las becas que patrocinan laboratorios de física en los EUA y Europa para realizar estancias de dos meses en el verano del 2003.

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

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

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

Laboratorios en el área de óptica cuántica:

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

Los interesados deberán presentar antes del viernes 7 de diciembre del 2002:

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

Los candidatos finalistas serán convocados a una entrevista personal en inglés, que tendrá lugar el SÁBADO 14 de diciembre del 2002 en el auditorio del Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato.

La documentación deberá llegar antes del 7 de diciembre del 2002 a:

Para mayores informes y entrega de las solicitudes dirigirse a:

Myriam Mondragón
IF-UNAM
Apdo. Postal 20-364
01000, México, D.F.
Tel.(55) 56 22 15 67/5020
Fax (55) 5622 5015
myriam@fisica.unam.mx

Julián Félix Valdez
Instituto de Física, Universidad de
Guanajuato
Loma del Bosque No. 103
Col. Lomas del Campestre
37150, León, Gto.,
Tel.(47) 183089, 730905
Fax: (47) 187611
felix@ifug1.ugto.mx

La fisiología y la evolución según Cereijido

Julio Muñoz

El Dr. Marcelino Cereijido nos ha regalado un estupendo documento fruto de su ingenio. Los beneficiarios somos los integrantes del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias. El documento es importante por lo que informa, denuncia y propone, y está construido con un libérrimo lenguaje salpicado de buen humor. Cereijido resulta gracioso incluso en las raras ocasiones en que no se lo propone. Cereijido rompe el apretado corsé que nos imponen la gramática, los diccionarios y las academias. Cereijido vive la libertad de escribir como le da la gana y con gran regocijo. Su estilo literario viste muy bien a su discurso y está en armonía con sus ideas.

En el documento se exponen la situación de la fisiología y de nuestro departamento, las limitaciones intelectuales en el Cinvestav, la historia de la disciplina, la filosofía de la ciencia, la teoría de la evolución y la medicina darwinista — de la cual no tenía noticia — todo ello haciendo muy pertinentes referencias operísticas y tangueras, y poniendo ejemplos que hasta el más lerdo puede entender. Es un documento crítico, sí, pero no se piense ni por asomo que Cereijido es un críticón sistemático. No hace denuncias personalizadas sino de situaciones generales que son adversas para el desarrollo científico y académico, y al denunciar lo malo deja en claro que lo opuesto es lo bueno. De manera explícita se refiere a su propio trabajo y al de sus colaboradores. Seguramente por discreción no menciona el trabajo de ningún otro colega. Para buenos ejemplos, con uno basta, pero no sobra. Cereijido es el mejor ejemplo que puede dar Cereijido. El documento es también honesto y valiente al

El Dr. Julio Muñoz es investigador titular del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav. Dirección electrónica: jmunoz@fisis.cinvestav.mx



hacer garrida defensa del CICATA del IPN, que para Cerejido es fuente de inspiración, y por extensión defiende a su fundador, nuestro colega y ex director Feliciano Sánchez Sinencio, aunque se equivoca Cerejido en el nombre del CICATA, pues no se trata del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Técnica, como él escribe, sino del Centro de Investigación Científica Aplicada y Tecnología Avanzada, ciertamente muy apreciado entre los cicateros a los cuales Cerejido se sumó. Esa defensa es particularmente valiente ahora que el CICATA está bajo sospecha legal de haber procedido indebidamente, aunque el Dr. Sánchez nos ha aclarado a todos, sin habérselo pedido, que él nada tuvo que ver con malos manejos. Su credibilidad es su garantía. Finalmente, Cerejido acaba haciendo recomendaciones por el bien del departamento y del Cinvestav.

Le dedico toda mi atención al documento de Cerejido. Me propongo recorrer algunos vericuetos trazados en su talentoso escrito, en verdad un laberinto, deteniéndome a veces para hacer preguntas y comentarios. Incluso me atreveré a entrar en desacuerdos con él a pesar de la admiración que merece, pero con ello daré pie a que me conteste. Ya se sabe que Cerejido se siente en la polémica como pez en el agua, y si no logra provocar alguna,

entonces se la inventa, como fue el caso del toma y daca Cerejido vs Handsom, es decir, Cerejido vs Cerejido, en titánico duelo intelectual celebrado en la palestra de *Avance y Perspectiva*¹. Cerejido, por supuesto, ganó la contienda. Es la ventaja de discutir consigo mismo, como lo hace en cierto modo en el escrito que nos regala.

Tuve la tentación de comentar todo el documento, pero no tengo su agilidad para moverme de un tema a otro con la ligereza que él lo hace. Además, necesitaría más espacio del que ya generosamente *Avance y Perspectiva* me concede.

Investigación y ciencia, según Cerejido

El distinguir entre investigación y ciencia es uno de los temas que a Cerejido obsesiona, y en el que insiste machaconamente quizá para convencernos de que en México no hay ni puede haber ciencia a menos que se renuncie a las creencias religiosas y mágicas que hacen imposible el pensamiento racional. Cerejido vuelve a la carga:

"...tenemos investigación pero no ciencia..."

¿Cómo que no tenemos ciencia? Al menos la tenemos en él, Cereijido, que se ajusta perfectamente a la descripción que él mismo hace de un científico. La modestia de Cereijido es evidente. Cereijido nos informa que un científico puede ser o no ser investigador, o ser un investigador chapucero: lo importante es no creer en lo sobrenatural. Démonos por enterados: Einstein, por ejemplo, que quería saber como había dispuesto Dios el espacio, “nomás” era investigador de los designios del Creador, igual que los paisanos de Cereijido, Houssay y Leloir, católicos hechos y derechos, el fisiólogo J. C. Eccles, el mismísimo Newton, cuyas inclinaciones teológicas compartió con Locke, o Miguel Servet, o... La lista de investigadores notables que no eran o son científicos es larga. Excepto él mismo, Cereijido no parece conocer en México ningún científico verdadero según su clasificación. Si hay alguno por ahí, que haga el favor de presentarse. Yo le informo a Cereijido que soy ateo y por lo tanto científico, según él, lo cual me pone muy contento.

Nuestro departamento según Cereijido

Cereijido opina sobre el estado actual de nuestro departamento. Coincido con algunas de sus opiniones y con otras no, pero poco tengo que decir al respecto en este artículo. Si ambos opinamos lo mismo pero sin fundamento sólido, la concordancia de dos opiniones no hace una verdad, y si opinamos de manera diferente no hay forma de establecer cual de las opiniones es la que vale. Lo poco que tengo que decir es en referencia a supuestas fallas pedagógicas que seguramente Cereijido podrá demostrar. No voy a sumarle a él ni a contradecirlo. Sólo le pido que sea más explícito. Cereijido hace una valiente denuncia académica:

“...algunos profesores no preparan sus clases con perspectiva histórica, profundidad, claridad, balance (sic), actualidad...”.

Cereijido se ha instituido como conciencia del nuestro departamento y dedo flamígero que señala deficiencias. Me siento a salvo. En los cursos que el departamento me encarga nunca le he visto, por lo que no puede constarle que los imparto sin perspectiva histórica, superficialmente y de manera oscura, desbalanceada y anacrónica, pero parece estar muy al tanto del proceder de otros profesores.

Algunas observaciones de Cereijido no están dedicadas exclusivamente a nuestro departamento, sino a todo el Cinvestav. Marcelino parece estar decepcionado y exasperado por la escasa o nula influencia que su pensamiento ha tenido en nuestra institución, y nos dice a todos con tono de reclamo:

“He expresado mi opinión de que tenemos investigación pero no ciencia en diversos libros, artículos, conferencias, audiciones televisivas y radiales... (sic, sic, sic, sic)... Mi punto de vista ha causado polémica fuera del Cinvestav, pero en nuestra institución a lo sumo hubo colegas molestos y quejosos porque yo no censuré mis opiniones pero la mayoría —que desgraciadamente incluye a nuestros estudiantes— no están (sic) capacitados para entender de qué se está hablando”.

Sin comentarios. Además, Cereijido también se refiere a que en el Cinvestav no se comentan sus libros de vulgarización de la ciencia. Parece sentirse muy sólo rodeado de personas que no les importa lo que él dice, y más aún sabiendo que en otras instituciones sí lo aprecian debidamente. Por mi parte he hecho un esfuerzo para capacitarme a fin de entender su discurso, aunque puede ser que no lo haya logrado. No debemos soliviantarnos sino a atender a sus razones y agradecerle que permanezca en una institución que tan poco caso le hace. Gracias, Marcelino.

Desarrollo histórico de la fisiología según Cereijido

Sobre su contribución al conocimiento de la historia, mucho es lo que hay que agradecerle a Cereijido, y sobre todo su brevedad. Gracias al encabezado *La Fisiología en la Grecia Clásica* nos enteramos de que en la antigua Grecia se cultivaba la fisiología, aunque después no se haga alusión a esta disciplina. Parece que el maestro Cereijido considera que con el encabezado es suficiente. Sin embargo, fisiología aparte, lo que se lee después es de lo más interesante:

“... los griegos interesados en entender qué es la realidad, empezaron a dividirse en (a) los que se preguntaban ¿de qué está hecha? y (b) y los que se preguntaban ¿por qué tiene esta forma? y que supusieron que toda forma lleva implícita la idea de función.”

Así, de un plumazo, con enorme capacidad de síntesis, Cereijido da cuenta de lo que parece haber sido uno de los grandes momentos de la epistemología. Dada su construcción gramatical, debemos entender que las preguntas acerca de la composición o la forma, y la suposición acerca de la idea de función se refieren a la realidad. Me pregunto si lo que Cereijido sugiere es que el objeto de estudio de la fisiología en la Grecia Clásica era la realidad. Si no es esto lo que sugiere, no entiendo que relación hay entre su discurso y el encabezado. Tampoco entiendo cómo fue que algunos griegos llegaron a suponer que la forma de la realidad lleva implícita la idea de función de la realidad. No obstante estoy interesado en el tema, y le pido a Cereijido que me dé las citas que avalen la mencionada separación. Continúa nuestro filósofo diciendo a continuación:

"Esta posición (la de preguntar ¿por qué tiene esta forma?) llegó a su máxima expresión con la Teleología de Aristóteles, que explica las cosas partiendo de la pregunta ¿para qué?. La ciencia moderna no acepta este tipo de pregunta, simplemente porque un efecto actual quedaría explicado por una causa futura que viaja en sentido contrario al tiempo".

¡Que interpretación tan original de la teleología! Los efectos preceden a las causas que viajan en sentido contrario al tiempo. La interpretación es de Cereijido, sin asomo de duda, porque Aristóteles nunca dijo eso, al menos que yo sepa. Ya encarrerado, Cereijido continúa:

"Con todo, las explicaciones teleológicas son difíciles de eludir. ¡Vaya uno a explicarle a un teleólogo que los ojos no están para ver, o que la bilis no se secreta para digerir los lípidos, o que los elefantes no tienen trompa para coger alimentos y llevárselos a la boca".

Como Cereijido debe tener toda la razón, no preguntaré para qué tiene trompa el elefante. En su escrito, Cereijido establece que preguntar ¿por qué? sí es válido, y por lo tanto adopta la posición que él dice que culminó con Aristóteles. Un rasgo prearistotélico de Cereijido. Siguiendo su enseñanza, y como el asunto de la trompa me resulta intrigante, haré la pregunta en la forma correcta. Por favor, Marcelino, ¿por qué tiene trompa el elefante? La extensa cultura de Cereijido y su agudo análisis le llevan a concluir que los griegos que se preguntaban sobre el por qué de la forma, llegaron a su máxima expresión con la Teleología de Aristóteles al explicar las cosas partiendo del ¿para qué? Al escribir Teleología con mayúscula inicial,



¿se refiere a un libro de Aristóteles titulado así? Confieso que no he podido encontrar tal libro, y además acepto mi incapacidad para entender cómo es que se dio entre los griegos la transición del ¿por qué? al ¿para qué?. Quizá mi incapacidad nace de haber leído cosas distintas sobre Aristóteles y su teleología. Por ejemplo, yo estaba convencido de que Aristóteles encontró en su última etapa una causa diferente a las que ya había enunciado: las causas formales, materiales, eficientes y finales. La novedad fue la causa teleológica, que tiene que ver con los fines o metas de la naturaleza, que no es una causa mecánica, y sólo entendiendo esa causa pueden explicarse, según Aristóteles, la estructura y el desarrollo de los organismos. Aristóteles tenía presente que los principios de causalidad son teóricos, y que la teoría está supeditada a la observación. Respecto al origen de las abejas, dice Aristóteles en su libro traducido como *On the Generation of Animals*:

"The facts have not yet been sufficiently established. If ever they are, then credit must be given to observation rather than to theories, and to theories only insofar as they are confirmed by the observed facts".

Este párrafo asombroso podría atribuirse al positivismo de los siglos XIX y XX. ¿Cómo hacer compatible que Aristóteles por un lado le concediese máxima importancia a la observación, y por otro lado, como le atribuye Cereijido, explicase un efecto actual por una causa futura que no se puede observar? En libro alguno de Aristóteles o sobre él he podido encontrar que el estagirita explicase "las cosas" preguntando ¿para qué? Quizá toda interpretación sobre Aristóteles antes-de-Cereijido ha estado equivocada. Por favor, maestro, danos las referencias pertinentes. Después del pasmo inicial que me causó tu escrito, estoy al borde de la confusión.

La teleología explícita de Cereijido

Siguiendo en el paseo que Cereijido nos da por la historia, nuestro culto colega nos informa que:

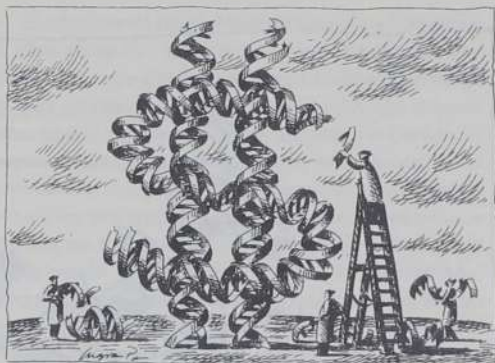
"Hacia la segunda mitad del Siglo XIX los biólogos empezaron a separarse en (1) los que estudian las causas últimas (evolucionistas) y (2) los que estudian las causas próximas (fisiólogos)."

¿Puede explicarme Cereijido con suficiente detalle en qué difieren las causas teleológicas aristotélicas de las causas últimas o evolutivas? Sigo recorriendo el texto de Cereijido y paso de la confusión a la sorpresa cuando leo las siguientes afirmaciones:

"...a lo largo de la evolución se fueron seleccionando virus de la rabia tan hábiles, que invaden el cerebro lo vuelven loco (sic), e impulsan al organismo a morder a otros (sic) para así propagarse..." (el énfasis es mío).

En el mismo tenor continúa nuestro filósofo evolucionista:

"Los carnívoros...tienen los ojos al frente para ubicar mejor (sic) a sus presas, medir su distancia...(sic)". Antes se refirió a los herbívoros "...que suelen tener los ojos a los costados (sic) de la cabeza que atisban así sectores más amplios de donde pueden aparecer los carnívoros..."



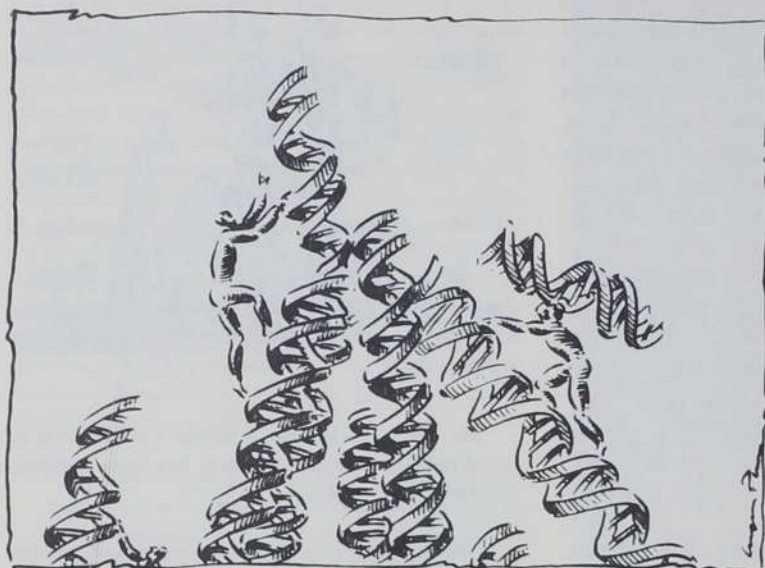
Me atrevo tímidamente a señalar que la cabeza no tiene costillas (costado, *costatum*, que tiene costillas). También dice Cereijido:

"Muchas bacterias y parásitos son particularmente sensibles a la falta de hierro...la anemia...es...el resultado de una inteligentísima estrategia del organismo *para* ponerlos en desventaja".

Entonces, digo yo respecto a este último párrafo, convendría promover la anemia en México.

Independientemente de las conclusiones que saca, Cereijido nos da tres muestras de un puro pensamiento teleológico ¡Vaya uno a convencer a Cereijido de que los virus de la rabia no invaden al cerebro y lo vuelven loco, e impulsan al organismo a morder *para* propagarse, que los carnívoros no tienen los ojos al frente *para* ubicar a sus presas, o que la anemia es el resultado de una inteligentísima estrategia *para* poner en desventaja a las bacterias y parásitos que son particularmente sensibles a la falta de hierro!

El lector sacará sus conclusiones. Yo, la verdad, ya me estoy haciendo un lío con las claras enseñanzas del profesor Cereijido. A pesar del lío que me hago, me arriesgo a decir que no creo que "...las explicaciones teleológicas son difíciles de eludir...". Por ejemplo, en lugar de decir "...para así propagarse..." puede decirse "...y así se propagan...". Escribimos como pensamos, y si lo hacemos en términos teleológicos es porque pensamos en esos términos y no porque haya una dificultad intrínseca para pensar de otra manera.



El recurso del antropocentrismo

En un pie de página Cereijido aclara:

"El *antropocentrismo* es un comodísimo recurso didáctico. Pero los parásitos no se manejan (sic) en términos de 'confianza' ni 'deciden' ni tienen 'estrategias'. Por eso hemos (sic) encomillado (sic) las expresiones anteriores, pero por simpleza, (sic) de ahora en adelante dejaremos (sic) de encomillar (sic)."

De todos los últimos "sic", cuyo motivo podrá descifrar el lector, sólo quiero destacar el motivo del antepenúltimo: ¿quiso decir Cereijido "por simplicidad" (o economía) en la escritura, o se refiere a su propia simpleza?

De lo dicho en el pie de página, me doy por enterado: Cereijido nos está dando una clase y para que entendamos usa un comodísimo recurso didáctico. Podría habérselo ahorado y decir, por ejemplo: "los carnívoros, que tienen los ojos a los lados de la cabeza, ubican mejor a sus presas".

El binomio Mayr-Cereijido: Del épor qué? y el épara qué? Cereijido no está sólo en la necesidad de preguntar épor qué? Ernst Mayr, reputado biólogo y filósofo, a quien Cereijido califica como gran evolucionista, escribió *The*

Multiple Meaning of Teleological, un ensayo contenido en su libro *Towards a New Philosophy of Biology*, y dice en dicho ensayo: *Questions which began with "What?" and "How?" are sufficient for explanation in the physical sciences. In the biological sciences no explanation is complete until a third kind of question has been asked: "Why?"*

Además, Mayr y Cereijido coinciden en que hay causas "próximas" —por ejemplo las que estudian los fisiólogos— y causas evolutivas. Por si fuera poca coincidencia, Cereijido y Mayr hacen la misma cita de Dobzhansky: "En biología nada tiene sentido, salvo en el contexto de la evolución" ("*nothing in biology makes sense except in the light of evolution*"); la traducción al castellano es de Cereijido, quien prefirió escribir "...salvo en el contexto ..." en lugar de "...excepto a la luz ...").

No creo que Cereijido se haya apropiado de las ideas de Mayr, a quien cita respecto a otras cuestiones. Seguramente se trata de una feliz coincidencia extemporánea. Que Mayr preceda a Cereijido no le quita mérito a la originalidad de este último, como tampoco le quitó mérito al patriarca de los Buendía el que solemnemente le anunciase a su familia que la tierra era redonda algunos años después de que los griegos lo supieran, o de que

Colón se topase con nuestro continente gracias a la redondez terráquea (léase *Cien años de soledad*, de Gabriel García Márquez).

La separación de Cereijido con Mayr

Mayr aclara en *Cause and Effect in Biology* (otro ensayo contenido en el libro ya citado):

His basic question (se refiere al biólogo evolucionista) is "Why?" When he says "why" we must always be aware of the ambiguity of this term. It may mean "How come?" but it may also mean the finalistic "What for?"

¿Que opina Cereijido de esto? El primer significado del *épor qué?* les interesa a los que estudian las causas próximas. El biólogo evolucionista, según Mayr, al preguntar *épor qué?* quiere decir *épara qué?*, pregunta que, según Cereijido, refleja una posición aristotélica que no es aceptada por la ciencia actual. En esto, Mayr y Cereijido se divorcian. Algunos evolucionistas son los que hacen esa clase de preguntas. Pero mi lío se aprieta. ¿Es o no es Cereijido un evolucionista? ¿O será acaso un neoevolucionista que se aparta de todos los anteriores, incluso de Darwin, y que nos está dando a conocer su propia doctrina? Dadas las dotes de Cereijido, no me extrañaría.

Mayr, por su parte, expone su posición con toda claridad en *The Multiple Meanings of Teleology*; Mayr dice que si el término teleología significa algo, el significado es: dirigido hacia una meta o fin (*goal-directed*). Más aún, Mayr introdujo un nuevo término para referirse a los procesos teleológicos en los seres vivos: los procesos teleonómicos, término que después fue utilizado por otros autores, Monod por ejemplo (*El azar y la necesidad*). Según Mayr, un proceso es teleonómico si está gobernado por un "programa", y reconoce que la idea de "programa" la toma prestada de la jerga que se usa en el área de la computación. Extiendo ahora una pregunta que ya hice: ¿que diferencias hay entre las causas evolutivas tal como las concibe Cereijido sin dar más explicación, la teleología de Aristóteles y la idea de "programa" de Mayr? ¿Las causas evolutivas no producen sus efectos ulteriores siguiendo un "programa", esto es, un conjunto de instrucciones en serie que conducen a un fin?

Curándose en salud, Mayr declara que al presentar la idea clave de "programa", sería estulto hacerse preguntas acerca de él. Sin embargo, aceptando el riesgo de caer en estulticia, yo pregunto: ¿cómo, qué o quién estructuró el programa? Si nos atenemos a Darwin, la respuesta tendría que ser: el "programa" se estructuró al azar. Simplemente, los programas que se ejecutan en la actualidad han tenido buen éxito (hasta ahora) aunque la meta no fue prevista. Si el programa hubiese sido estructurado para alcanzar una meta determinada, entonces la meta fue prevista y la estructuración se hizo con el propósito de alcanzarla. Y aquí es donde la puerca torció el rabo, como dice mi compadre de Conguripo. Meta o fin no quieren decir "propósito" pero necesariamente lo implican, igual que las "causas evolutivas". El propósito sólo puede ser atribuido a un ser racional, ya sea el Creador o una Naturaleza que piensa y dispone, lo que viene a ser lo mismo. El pensamiento teleológico es admitido plenamente por Mayr y le concede un gran valor eurístico. Cereijido lo comparte aunque diga que la ciencia moderna lo rechaza.

Quizá Mayr, Cereijido o ambos tienen razón, y si es así, pues muy bien, pero hay a quien no le cuesta ningún trabajo ni le preocupa el pensar que la única meta segura de los seres vivos es su total desaparición. Entre tanto, el sentido de la evolución está determinado —según Darwin— por dos factores. Por un lado está la aparición de nuevas especies a partir de la variación dentro de una misma especie, variación que resulta de las mutaciones —los "pequeños cambios insensibles" en el lenguaje de Darwin— las cuales se heredan y ocurren al azar. Las mutaciones no son causas evolutivas ni llevan impreso destino alguno, y la suerte de toda nueva especie depende de que se adapte o no a su ambiente (selección natural), o que sobreviva a una catástrofe; esto último no fue considerado por Darwin en *El origen de las especies*. Ahora sabemos que son más las especies que han desaparecido que las que existen en la actualidad. El proceso evolutivo transcurre acompañado de extinciones, que a veces son masivas, catastróficas. Las especies actuales son las que por azar han permanecido. El sentido de la evolución es azaroso. No hay causas evolutivas.

Azar y causalidad

La pregunta *épor qué?* es sobre la causa de un efecto sobre el cual nos preguntamos. Según aclara Mayr, el

HEMEROTECA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL

I. P. N.

significado de ¿por qué? es ¿para qué? si la pregunta se relaciona con la evolución (véase arriba). Aunque la causalidad y la categoría kantiana causa-efecto han perdido vigencia en la ciencia, particularmente en la física, admitamos por el momento que en los procesos evolutivos las causas existen y anteceden a los efectos, pero también se podría preguntar, por ejemplo, “¿para que le sirve a este organismo esta estructura?” Y la respuesta sería “para tal o cual cosa”. Para muestra basta un botón: “Los carnívoros... tienen los ojos al frente para ubicar mejor a sus presas...”, botón que, como vimos, es de la camisa de Cereijido, quien parece haber respondido a la pregunta “¿para qué tienen los ojos al frente los carnívoros?”, aunque pudo haber preguntado “¿por qué tienen los ojos al frente?” y responder “porque así ubican mejor a sus presas”. No encuentro que ¿por qué? y ¿para qué? apunten en sentidos diferentes. Ninguno de estos modos de preguntar tiene sentido. Se puede preguntar ¿por qué? y responder “para esto”, como ocurre en el cuento de Caperucita: “Abuelita, *por qué* tienes la boca tan grande?”, “¡Para comerte mejor!”.

Independientemente del modo de preguntar, la pregunta de Cereijido se refiere a una relación evidentemente inseparable entre estructura y función, y no a una relación entre causa y efecto. A propósito ¿de dónde sacó Cereijido que los colegas de nuestro departamento, al menos algunos, estudian “funciones puras” sin poner atención en la estructura asociada a la función? Señáleme Cereijido a uno solo de estos “fisiólogos puros” y me sumaré a su Tribunal de la Santa Causa Académica. Cereijido sugiere que la estructura es causa y la función efecto; se tiene la una para lo otro. No hay tal cosa. Tener los ojos al frente y ubicar mejor a la presa son una y la misma cosa. Estructura y función son inseparables. Una mejor pregunta podría ser “¿por qué al tener los ojos al frente ubican mejor a su presa?”, y la respuesta sería “porque tienen visión estereoscópica”. Pero, claro, esta sería una causa “próxima”, que no es la clase de causas que le interesan al evolucionista Cereijido, y que sólo les interesa a los fisiólogos que, según él, estamos en proceso de extinción.

Por otra parte, el hecho de que los carnívoros tengan los ojos al frente no es la causa de que ubiquen mejor a sus presas. Como le oí decir al maestro Rosenbluth “...no vemos con los ojos, sino con el cerebro...”. Los ojos sirven para formar y codificar imágenes, y transmitir el código al cerebro, pero la visión estereoscópica es posible

gracias a las conexiones cerebrales que reciben, distribuyen e integran el código. Cereijido sin duda sabe que el cerebro puede ver aunque los ojos no le transmitan imagen alguna. Este es el caso de pacientes esquizofrénicos con alucinaciones visuales, en los cuales se pone en actividad el sistema nervioso visual cuando tienen la alucinación, aunque no haya imagen externa que codificar. Insisto: no tiene sentido preguntar ¿por qué? o ¿para qué? cuando se trata de características de los seres vivos, a menos que se indague sobre causas “próximas” sucesivas. La categoría kantiana relación causa-efecto también ha perdido vigencia en biología, y sobre todo en lo relacionado con la evolución. Que Cereijido y el mismo Mayr la defiendan, es otra cosa.

Un esbozo de finalismo perfeccionista

Hay quien ve en la evolución de las especies una mejoría progresiva hacia la perfección (parafraseando un verso de Nicolás Guillén se me ocurre decir: “...no sé si la perfección existe, o si sabe bien...”). El fin último de las causas evolutivas (o teleonómicas), la meta final, es la perfección. A mí me sorprendió mucho que Jan Piaget expusiese esa convicción en *Biología y Conocimiento*, y que se apoyase citando a Konrad Lorenz. Con esta visión, el ser humano representa la posibilidad de la perfección evolutiva.

En este punto lanzo una hipótesis: la aceptación de lo teleológico (o teleonómico), de la cual Cereijido es evidentemente partícipe aunque declare lo contrario, obedece a una necesidad intelectual de encontrarle un sentido, ya sea a la existencia natural o a la personal, o bien a la realidad o al destino del mundo, lo que tiene el tufo de finalismo perfeccionista que expiden algunos científicos. Percibo un tufillo similar en la siguiente frase de Cereijido:

“Si el toser fuera intrínsecamente dañino, esos genes se hubieran eliminado.”

Para empezar, “esos” genes no pueden ser otros que los de la tos, así que hay genes de la tos que seguramente se descubrirán muy pronto (además de ser lo que son, a “los genes” se les presenta a veces como dioscecillos que pueden ser buenos o malos pero que todo lo determinan).

Lo importante en la frase de Cerejido es "...esos genes se hubieran eliminado...". Precioso ejemplo de la selección evolutiva según Cerejido. Vale la pena examinarlo. Si aparece una función, esto es resultado de la aparición o expresión de uno o más genes; si la función resulta ser dañina, entonces el gene o genes implicados se eliminan, pero si la función es benéfica, se conservan, como en el caso de los genes de la tos. En resumen: la evolución transcurre eliminando a los genes dañinos y conservando los genes benéficos. Así vamos derechos hacia la perfección génica y funcional. Cerejido debería publicar eso en una revista "de impacto" científico. Sin embargo me pregunto ¿porqué no se han eliminado los genes de la leucemia, la diabetes juvenil, etc? El maestro Cerejido, tiene la palabra, seguramente irrefutable, y quizá le dé un giro a la cuestión general de las enfermedades basado en la biología molecular, de la cual también parece ser un experto. En realidad ya dio tal giro en su documento...

Dice rotundo Cerejido:

"En suma, es evidente (¡evidentísimo!, digo yo!) que la Evolución generó un buen paludismo, una excelente rabia, un admirable cólera".

Ahora los médicos podrán cambiar malas noticias en buenas, y decirle a un paciente, por ejemplo: "Mi amigo, le traigo magníficas noticias: tiene usted una excelente rabia y morirá en un par de días". Aparte de lo chusco que resulta Cerejido, y ser chusco le encanta y nos encanta a todos, quizá nuestro simpático colega quiso referirse a esa jerigonza de las habilidades y estrategias de los microorganismos. Pero si en eso resbala, en esto va rumbo al suelo, pues ya no se refiere al buen plasmodio, al excelente virus rábico o al admirable vibrión cólico. Cerejido se refiere a la interacción entre éstos y su hospedero humano, de manera que ya no son los microorganismos sino la enfermedad, resultado de la interacción, la que le merecen los adjetivos calificativos de calidad.

El CICATA, fuente de inspiración para Cerejido

Bajo el encabezado *Pistas y fuentes de inspiración* Cerejido nos dice cuáles son éstas. En primer lugar se refiere a una institución alemana. Informa Cerejido que:

"Fui invitado varias veces a participar en unos simposia de la Deutsche Forschung Gemeinschaft (DFG) de Alemania (una

suerte de CONACyT) que creo conviene describir en blanco (sic). Se trataba de la rendición de cuentas de unos programas que resultaban ser una suerte de 'instituto virtual'... Para participar... (el investigador) planteaba sus necesidades... un nuevo microscopio, una posición para un adjunto, dos technicians (sic), cierta suma de dinero, etc... Los simposia en que (sic) participé habían durado cinco años cada uno (sic)... habían invitado a unos 5-10 (sic) especialistas... (por eso estaba yo ahí) y a todos nos dieron 30 minutos para pasar y presentar nuestros datos."

Hago un solo comentario intermedio: me parece injusto que en un simposio con cinco años de duración, sólo les dieran 30 minutos a todos los especialistas, entre los cuales se encontraba Cerejido. A propósito ¿lo invitaban como biólogo evolucionista o "nomás" como fisiólogo?

Continúa Cerejido estableciendo un paralelismo entre la DGF y el CICATA:

"Me pareció una alternativa genial (los programas de la DGF) a tantos institutos que he visto crear y morir de inanición... Años más tarde, para facilitar la conexión entre universidad y empresa, el Dr. Feliciano Sánchez Sinencio le dio al Centro de Investigación Científica Aplicada y Técnica (sic) una organización parecida... CICATA puede ensamblar un equipo *ad hoc* en el que cada especialista interesado en participar no necesita abandonar su lugar de trabajo pues basta con que pacte las condiciones de aparatos, consumo personal e institucionales para contratar y emprender el estudio encargado" (ya me aburrí de tanto sic).

Hago los siguientes comentarios:

(1) Está muy bien eso de los "institutos virtuales", y lo digo sinceramente, pero esos institutos existen porque antes existen las instituciones reales.

(2) No estaría tan bien que un "instituto virtual" — por ejemplo el CICATA — graduase alumnos que han hecho su trabajo experimental en un instituto real — por ejemplo el Cinvestav — bajo la guía de investigadores de tiempo exclusivo en el instituto real. Si fuese así, el "instituto virtual" no apoyaría al real sino que lo usaría tramposamente. Reza el dicho: "hacer caravanas con sombrero ajeno".

(3) Para comparar a este "instituto virtual" a la mexicana con los DFG de Alemania, el CICATA debió proporcionar a "sus" investigadores ayudas semejantes a las que proporcionaba o proporciona el instituto alemán. Cerejido estuvo adscrito al CICATA. ¿Podría decirnos Cerejido cuantos instrumentos, material de consumo y puestos para adjuntos y "technicians" recibió además de algún dinero?

(4) Como aclara Cerejido, el CICATA se creó "...para facilitar la conexión entre universidad y empresa...". Debemos reconocer que el CICATA se adelantó a la actual política del gobierno, y en particular a la nueva Ley Orgánica del Conacyt y a la de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica: poner al servicio de las empresas a las instituciones paraestatales dedicadas a la investigación. Ya veremos qué resultado trae esta medida. Cerejido tiene todo el derecho de aplaudir y promover esa política que es hija de una ideología empresarial a la mexicana.

Sigo leyendo el documento de Cerejido, vuelvo hacia atrás y confirmo lo que advertí al principio: no puedo comentarlo todo en un solo artículo. Ni siquiera he expuesto en detalle las ideas que tiene nuestro colega sobre la evolución de las especies. He dejado en el teclado ideas interesantísimas de Cerejido. Si los lectores no manifiestan haberse aburrido con mis comentarios, y si *Avance y Perspectiva* lo encuentra pertinente, podría continuarlos en otro número de nuestra revista. También

podría satisfacer a Cerejido y al lector con un análisis de los libros del maestro, que por cierto sí he leído. De su obra, lo que más me ha gustado es un título: *Ciencia sin seso, locura doble*².



Notas

1. Véase *Avance y Perspectiva* **11**, 322 (1992); **12**, 249, 307, 374 (1993).

2. M. Cerejido, *Ciencia sin seso, locura doble* (Siglo XXI, 1994).



El dilema de los organismos transgénicos

Carlos Chimal

Diversidad de intereses

La incompreensión pública de la ciencia tocó fondo en México, una vez más, el 27 de diciembre de 2001: la Cámara de Senadores ratificó las enmiendas aprobadas por la Cámara de Diputados al artículo 420 del Código Penal de la Federación, según las cuales la investigación y el desarrollo de organismos genéticamente modificados podrían ser considerados una actividad criminal. En todo el mundo se reconoce la importancia de los avances en las biotecnologías, incluso la urgencia de su aplicación, considerando la frágil estabilidad de la relación entre la oferta y la demanda de alimentos. Y, sin embargo, siguen ganando los iconos en contra de la ciencia y la tecnología: la figura de Prometeo, quien roba el fuego a los dioses y lo da a los humanos, por lo cual es castigado; el Golem, una masa informe de barro que toma forma al conjuro de una antigua cábala judía y que, en lugar de servir fielmente a su dueño para decir sólo la verdad y nada más que la verdad, un día se rebela y no habla más que de la muerte; el doctor Frankenstein y su engendro; Ciro Peraloca, el aprendiz de brujo, y el *freak* al "estilo" Stephen Hawking, todos estos son estereotipos alentados por la carencia de una cultura científica elemental.

Las biotecnologías tocan fibras sensibles de la sociedad porque llevan en su naturaleza una diversidad de intereses que, a veces, no alcanzan una mezcla feliz. Investigación y desarrollo, necesidades prácticas, originalidad tecnológica, dinero, poder, fama, son características comunes en estas disciplinas que conforman una de las hiperciencias

Carlos Chimal, novelista y ensayista científico, es colaborador de *Avance y Perspectiva*.

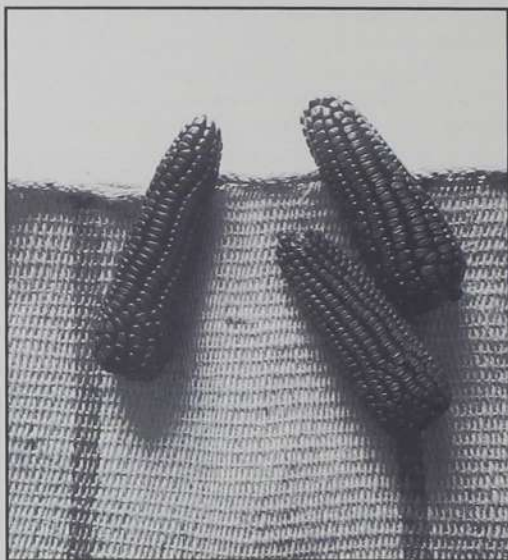
de nuestros días. La fusión de la biología celular y la molecular con las técnicas de ingeniería genética ha creado una expectativa tan fuerte y trascendental como la revolución copernicana y la teoría de la evolución de Charles Darwin. Algo similar a las biotecnologías le ha sucedido a la cibemética, hiperciencia igualmente audaz y contradictoria.

Pocos meses después de la aprobación de dichas enmiendas al Código Penal, los periódicos de nuestro país dieron la noticia de que un par de investigadores de la Universidad de Berkeley, Ignacio Chapela y David Quist, habían publicado un artículo en *Nature*, en el que denunciaban la presencia de maíz transgénico en maíz criollo cultivado en Oaxaca. Como sucede con frecuencia, en un principio el escándalo, la confusión y el temor predominaron sobre los argumentos. Los editores de *Nature* se arrepintieron de haber publicado el artículo, lo cual creó mayor confusión. Finalmente, un grupo de científicos distinguidos, entre ellos Francisco Bolívar Zapata, Exequiel Ezcurra y Luis Herrera Estrella, hablaron con comisiones de diputados y senadores, se pronunciaron en los medios y llevaron el asunto adonde debe ventilarse, en el laboratorio. ¿Qué actitud asumieron las Cámaras legislativas? ¿Es una buena investigación la de Chapela y Quist? ¿Es nocivo consumir alimentos transgénicos? ¿E investigar sobre ellos, es un crimen? Sobre esto platicamos con el doctor Luis Herrera Estrella, director de la Unidad Irapuato del Cinvestav y una de las autoridades reconocidas en este campo.

Maíz transgénico

Carlos Chimal (CC): ¿Hay o no contaminación del maíz criollo? Incluso, ¿puede hablarse siquiera de una "contaminación"? ¿Qué es una planta transgénica?

Luis Herrera Estrella (LHE): El asunto de la supuesta contaminación de las variedades criollas del maíz con genes provenientes de variedades transgénicas es un problema complejo que hay que analizar con bastante detenimiento y profundidad para poder establecer las posibles repercusiones que podría tener. Para empezar, quisiera decir que una planta transgénica es un vegetal al cual se le ha introducido un gen mediante técnicas de biología molecular en el laboratorio. A estas plantas se les ha llamado genéticamente modificadas, pero es



esencial saber que los seres humanos hemos venido modificando genéticamente las plantas desde hace unos 10 mil años, cuando se empezó a desarrollar la agricultura. Desde entonces se han dado modificaciones genéticas muy importantes, como la obtención del sorgo y el trigo, que es una cruce entre tres diferentes especies que no existían en la naturaleza y fue creada por el ser humano. La misma producción del maíz a partir de parientes silvestres, cuyas características de producción de semilla eran radicalmente distintas a las que hoy conocemos como maíz comercial, también es un proceso de modificación genética. Desde luego, las plantas transgénicas tienen algunas modificaciones. Pero sólo por el hecho de que involucran técnicas de biología molecular, y se hacen en el laboratorio, han creado una fuerte controversia sobre si hacen daño a la salud o si pueden causar perturbaciones en la biodiversidad una vez que estos genes se escapan.

CC: ¿Qué ventajas inmediatas tiene una planta transgénica?

LHE: Las plantas transgénicas han demostrado un enorme potencial para cuidar el medio ambiente, pues se han obtenido variedades resistentes a insectos y a herbicidas, lo cual permite una reducción muy significativa de los usos de productos agroquímicos. Se están generando plantas transgénicas que requieren menos



fertilizantes y son menos riesgosas para la salud. Su bondad en cuanto a la preservación del medio ambiente y las ventajas para la salud están ampliamente documentadas. Sin embargo, la gente habla de los riesgos que puede tener esta tecnología novedosa. Y no es extraño que el público sienta algo de temor sobre una tecnología que no conoce, sobre todo cuando hay grupos interesados en atemorizar a la gente e inquietarla sobre sus posibles impactos.

En general, el público no entiende la tecnología. Nadie sabe cómo funciona un teléfono celular, un fax, la

computadora y el *discman*, y hay poco interés en saber si su uso involucra un riesgo de producir cáncer o una alteración de otro tipo. Uno de los riesgos es que estos genes de las plantas transgénicas que fueron introducidos en el laboratorio se escapen a especies silvestres y a variedades criollas, como llaman a las variedades de maíz o de frijol que utilizan los agricultores pequeños o los indígenas.

CC: ¿Cuándo comenzó a comercializarse maíz transgénico?

LHE: Hace alrededor de unos siete años se empezó a comercializar maíz transgénico en los Estados Unidos y tuvo un enorme éxito. Más del 70% del maíz en ese país es transgénico porque tiene unas enormes ventajas para el agricultor, ya que reduce en forma muy significativa los costos de producción y aumenta la calidad del grano. En México se creó un comité de bioseguridad y se empezó a analizar la posibilidad de hacer experimentos de campo. Luego empezaron a otorgar permisos para hacer pruebas de campo experimentales, inclusive se autorizó la venta comercial de algunos productos, como tomate transgénico, pero el maíz siempre se mantuvo en un estatus muy especial por el significado cultural, social y económico que tiene para nuestro país. Hubo un largo debate, de años, sobre si se permitía o no la introducción del maíz transgénico comercial a México. Y a final de cuentas, después de cinco o seis años de discusión, se tomó la decisión, no oficial por cierto, de declarar una moratoria para cualquier tipo de experimento de comercialización de maíz transgénico en el país.

CC: ¿Por qué se produjo la supuesta contaminación?

LHE: Los Estados Unidos tomaron la política de no separar el maíz transgénico del no transgénico y, fundamentalmente, lo hicieron por dos razones. Primera, porque incrementa muchísimo el costo, es decir, tener que mandar separado el no transgénico del transgénico desde la misma localidad por trenes distintos y después por barcos distintos sale mucho más caro que mezclarlo todo y hacer un solo envío. Y la segunda es, yo creo, porque los Estados Unidos quisieron imponer su decisión de aceptar la tecnología al resto del mundo. Entonces dijeron "bueno, pues quien me quiera comprar maíz o soya (que son dos artículos agrícolas muy importantes a nivel mundial) me lo compra mezclado. Y si no, que no

me compre". Entonces México, que importa varios millones de toneladas al año de maíz, se ve afectado por esta política. Y dado que se trata de nuestro principal proveedor, pues no había de otra más que permitir la entrada de maíz transgénico, para lo cual no había una reglamentación. Hasta donde yo entiendo, no se había reglamentado la entrada de los productos transgénicos para consumo; estaban muy reglamentados para su siembra pero no para su consumo. Y puesto que el maíz tiene de por sí una gran capacidad de polinización cruzada, es decir, una planta poliniza a la otra, al permitirse la entrada del maíz transgénico para consumo era muy probable que algunas personas lo sembraran. Y una vez sembrado, era inevitable también que genes del maíz transgénico pasaran a las variedades criollas. Así, dado que estaba permitida la entrada para consumo y prohibida su siembra, hubo sin duda un poco de descoordinación entre las autoridades gubernamentales, pues tomaron decisiones ambiguas y peligrosas, ya que era obvio que, al introducirlo para comercialización y consumo, alguien podría sembrarlo sin avisar a las autoridades de agricultura.

CC: ¿Y con respecto al escándalo que suscitó el artículo de David Quist e Ignacio Chapela? Según entiendo, ellos trabajan en Berkeley en otro campo, aunque su genuino y respetable interés por la ecología y el medio ambiente los hizo estudiar el supuesto acto orquestado de contaminación del maíz criollo de Oaxaca por parte de transnacionales desalmadas y sus científicos, pagados para actuar como peneiristas. ¿Es así?

LHE: Utilizando técnicas de PCR, ellos encontraron que los genes de plantas transgénicas habían pasado a maíz criollo. El nivel técnico de este artículo es bastante cuestionable. Las técnicas de PCR no son conclusivas. Hicieron experimentos absolutamente burdos, pues en lugar de escoger semilla por semilla y ver cuántas de ellas contenían genes "extraños", tomaron la mazorca entera, la molieron y trataron de analizarla. De esta manera es imposible saber si tal contaminación implicaba a un grano de los trescientos o cuatrocientos que suele tener una mazorca de maíz. ¿Eran cien granos los afectados o los cuatrocientos? No sabían. Pero, en fin, hay otra clase de interrogantes desde el inicio. Yo me pregunto: ¿por qué se le ocurrió a un ecologista de hongos probar si había transgenes en plantas de maíz? Además, como dije, técnicamente el artículo es muy malo, y se le ha criticado mucho no sólo por eso, sino porque además aseveran



que esta contaminación con genes de transgénicos dentro de las variedades criollas pone en peligro la biodiversidad del país. Creo que estas aseveraciones son totalmente infundadas. Se están llevando a cabo algunos trabajos en México, buena parte por el Cinvestav y otra por la UNAM, para tratar de verificar si es cierto o no. Hasta ahora no tenemos datos conclusivos pero es muy probable que sí se haya producido esta transferencia de genes, porque no podemos llamarla contaminación sino más bien transferencia de genes.

CC: ¿Cuánto tiempo llevará terminar estos estudios?

LHE: Con todos los datos conclusivos, en unos tres o cuatros meses más. Ahora mismo no puedo decir si se comprobó o se refutó la aseveración de Chapela y Quist. Lo que sí puedo decir es que si ocurrió, no debería haber ninguna razón para alarmarse.

CC: ¿Por qué?

LHE: La creencia popular considera a las variedades criollas como plantas que se mantienen genéticamente estáticas durante cientos y miles de años. La gente dice: "no, es que estas variedades las han mantenido los indígenas y es nuestro patrimonio de tres mil años de antigüedad". Pero lo que no sabe esta gente es que los agricultores pequeños experimentan todo el tiempo y, de hecho, esa intensa experimentación que ellos hacen es la

razón por la cual existe tal diversidad de maíz. Ellos van juntando semillas, ven que el vecino tiene algo interesante y lo mezclan con su semilla. Ocurre la polinización. Ellos van seleccionando activamente el tipo de maíz que quieren según su color, tamaño, forma, procesamiento. Pero al mismo tiempo tratan de incorporar elementos que ayuden a su maíz a resistir las enfermedades, para que tenga más granos, etcétera. Ellos han experimentado desde hace mucho tiempo y, por supuesto, ha ocurrido la transferencia de genes de híbridos comerciales a las variedades criollas porque ellos experimentan, van y ven por ahí que alguien tiene un maíz muy bonito, agarran un poquito y lo mezclan. Tienen un programa de selección tal vez no diseñado experimentalmente pero aun así saben seleccionar y van incorporando cosas útiles y benéficas.

Por ello es imposible afirmar que esas variedades son genéticamente estáticas. En realidad son muy dinámicas y, sin duda, no son las mismas ni siquiera que hace treinta años, ya no digamos hace trescientos o tres mil años. Si se cruzaron con variedades transgénicas va a ser exactamente lo mismo, salvo que tal vez haya entrado un gen más, un gen nuevo, un gen de una bacteria, por ejemplo, que conceda resistencia a insectos. Ese gen no va a destruir la biodiversidad, es probable que la enriquezca porque estamos introduciendo nuevos elementos genéticos. La evolución de las especies está basada en generar diversidad para que, bajo ciertas condiciones selectivas del medio, surjan nuevos individuos. En todo caso, lo que se está haciendo aquí es contribuir a que la evolución ocurra con mayor rapidez.

CC: Hay quienes dicen que el problema radica en que se trata de genes "ajenos", de origen bacteriano, y que estamos rompiendo con las leyes de la naturaleza. ¿Es cierto, son ajenos? ¿Estamos jugando a ser dioses?

LHE: Me permitiría recordarles a esas personas que el origen mismo de las plantas se debe a la transferencia masiva de genes de una bacteria a una célula tipo animal. Una bacteria fotosintética que se fusiona con una célula tipo animal dio lugar a los organismos fotosintéticos superiores, y no fue la transferencia de un solo gen de una bacteria a una célula eucariótica, a una célula animal; fue la transferencia de miles de genes. Alrededor del 35% de los genes de las plantas tiene su origen en bacterias, y eso se ha demostrado recientemente con la secuenciación de los genomas del arroz y *Arabidopsis*.

Prueba la teoría de que, en efecto, hubo una simbiosis de una bacteria con una célula animal y que muchos de los genes se parecen más a los de las bacterias que a los de los animales. De hecho, hay en las plantas dos versiones de un mismo gen, uno que parece animal y otro que parece bacteriano. Entonces, ¿por qué alarmarse por el ingreso de otro gen más proveniente de una bacteria? Si han de mantenerse o no en las poblaciones criollas dependerá de si al campesino y a la planta le concede una ventaja selectiva. Si la resistencia de insectos no le sirve al campesino ni a la planta, este gen se va a perder como cualquier otra característica de la misma planta. Así que yo no creo que haya motivos para alarmarse. Eso sí, debemos tener precaución. Hay que monitorear qué está pasando. Pero tampoco hay que escandalizarse *a priori* y llegar a prohibir una tecnología que promete mejorar mucho la agricultura e impactar de manera favorable el medio ambiente. No sólo eso, incluso colabora con la preservación de la biodiversidad, porque ésta se va a convertir en la fuente más importante de genes para la ingeniería genética. Sería absurdo que los ingenieros genéticos trataran de desaparecer su gallina de huevos de oro, que es precisamente la biodiversidad. Creo que se ha hecho un escándalo muy grande sobre este incidente. Hay que verlo con calma, con profundidad y determinar si, efectivamente, puede traer un efecto negativo o no. Quizás resulte que todos los efectos son benéficos.

Surrealismo legislativo

CC: Otro asunto crucial para el desarrollo de las biotecnologías son las enmiendas al Código Penal Federal. ¿En qué ha parado este malentendido entre lo que los legisladores creían que eran estas disciplinas y lo que real y sensatamente significan?

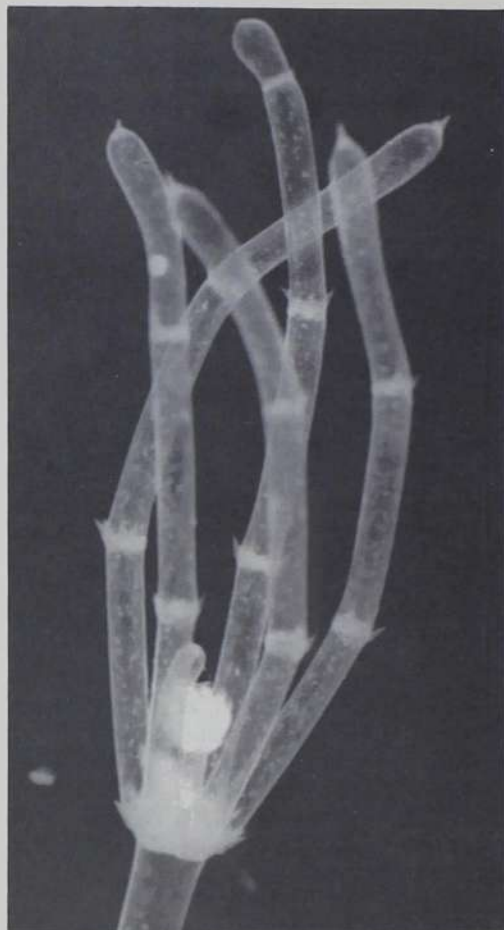
LHE: Efectivamente, hubo una modificación reciente al Código Penal donde el manejo de los organismos transgénicos ahora se tipifica como un crimen. Esta modificación causó una enorme sorpresa en la comunidad científica en general, y en particular en la comunidad biotecnológica del país. Primero, porque no fue consultada con nadie. Estuvimos preguntando en todas las instituciones en México y no se le consultó a nadie. Preguntamos en la Secretaría de Agricultura, y tampoco. No sabemos quién tomó la decisión de incluir en la iniciativa el nuevo artículo 420 del código penal. Y, por otra parte, contiene errores muy graves de redacción.

CC: ¿Por ejemplo?

LHE: La ley dice que se dará una pena de uno a nueve años de cárcel, y hasta una multa de 300 a 3000 días de salario mínimo a quien importe, exporte, produzca o libere algún organismo genéticamente modificado que dañe o pueda dañar a todos los componentes de los sistemas ecológicos. Además, dice que organismos genéticamente modificados son todos aquellos que no existen como tales en la naturaleza y que pueden ser productos inclusive de la biotecnología. Parece ser una ley dirigida en principio hacia las plantas transgénicas, aunque alguien con una mente "brillante" se le ocurrió abrirla a todos los organismos. Y no sólo a las plantas transgénicas, sino a cualquier gen o modificación genética. Esto tiene implicaciones muy graves, pues se extiende a bacterias, hongos, virus, plantas y animales, con lo cual la producción de insulina, de interferón, la hormona del crecimiento, la vacuna de hepatitis, entra en riesgo de ser un delito. Además, quienes elaboraron la enmienda al Código Penal cometieron el error, según lo expertos, de escribir "que daña el medio ambiente o pueda dañarlo". Eso quiere decir que se te puede acusar con base en una sospecha, lo cual es legalmente incorrecto, porque el Código Penal no puede estar basado en presunciones. Tiene que haber pruebas contundentes que demuestren que una persona es culpable.

CC: Eso conduce a absurdos, de orden surrealista.

LHE: Así es. Entonces los productores de yoghurt, de cerveza, quienes fabrican vinos, quienes se dedican al honorable oficio de comercializar plantas ornamentales, incluso los campesinos que, sabiéndolo o no, siembran transgénicos, todos son unos delincuentes, ya que, según la ley, ¡pueden dañar al medio ambiente! La Ley no especifica si sembraste a propósito o no, pueden acusarte simplemente si almacenas granos. Este es un problema muy importante, ya que a los centros de investigación no solamente nos obligaría a detener nuestras investigaciones, sino que nos estaría obligando a quemar todos los materiales que hemos generado en los últimos veinte años, ya que, como dije, incluso almacenar los productos es un delito. Aunque los tengas en una caja fuerte a prueba de fuego y de ladrones, puede convertirse en un delito. Además, parece que hay una incorrección más, pues dice que penalizará a quien almacene, importe, exporte, produzca, etcétera, en contravención de la "normatividad



existente". Según me dicen los abogados, el Código Penal no puede estar normado porque simplemente tipifica los delitos y las penas. Es un juez quien decide si alguien es o no culpable; no se trata de que haya una normatividad que diga: "sí, mataste a alguien, pero como dicha norma afirma que si lo mataste en ciertas condiciones, pues no vas a la cárcel...". Yo creo que legalmente la enmienda está mal escrita, tiene errores bastante graves y, por desgracia, se votó por unanimidad, lo cual es muy extraño. Se aprobó por 438 votos a favor y dos abstenciones. No hubo una sola persona, ni de la Cámara de Diputados ni de la Cámara de Senadores, que haya votado en contra.

CC: Eso habla de la incomprensión pública de la ciencia y la tecnología.

LHE: Habla de la ignorancia y del descuido con el cual se están manejando algunas leyes del país. Tal vez los legisladores estaban más concentrados en resolver los artículos del Código Penal que versan sobre secuestros, tráfico de drogas y malversación de fondos, y ver en qué problema meten a Fox, y se olvidaron de reflexionar sobre todos los demás artículos que tienen impacto en la sociedad pero que, para ellos, políticamente no son muy importantes. Yo creo que más bien ese fue el problema. Ya hablamos con los diputados y lamentan que haya pasado. Dicen: "¿Cómo es posible que no nos hayamos dado cuenta?, porque la modificación pasó por la Comisión de Ciencia y Tecnología, por la Comisión de Medio Ambiente, por la de Salud".

Si la Comisión de Salud no se dio cuenta que iba a afectar la producción de vacunas y de medicinas que ya usamos desde hace mucho tiempo, y que son productos de organismos transgénicos, pues es una vergüenza. Así que están trabajando en eso y sobre una ley de bioseguridad, que también nos causa muchos temores porque puede ser muy restrictiva para la investigación y para la comercialización de la tecnología. Yo creo que una ley de bioseguridad debería mantenerse como un marco muy general, que indique dónde van a estar las regulaciones de los diferentes sectores de agricultura, salud y medio ambiente. Una propuesta era crear un Instituto de Bioseguridad que vigilara todo el conjunto. Eso es imposible. No puede aplicarse la misma regla, por ejemplo, para los transgénicos de agricultura que para los transgénicos de medicina.

CC: Por cierto, nadie ha objetado los transgénicos de medicina, a pesar de que en principio tienen los mismos riesgos de que afecten el medio ambiente y la biodiversidad.

LHE: No lo hacen porque el beneficio para la salud es claro. Ni siquiera los activistas más radicales como *GreenPeace* y Los Amigos de la Tierra. Ninguno ha objetado los transgénicos en medicina. Si se elabora una ley de bioseguridad general nada más para plantas es un error, porque ellas no lo son todo. Y si se hace muy general, de manera que aplique también a la producción de fármacos y de medicinas, pues sería un error doblemente grave.

CC: ¿Cuál es la solución?

LHE: Estamos trabajando con los legisladores y examinando con ellos la mejor forma de establecer una reglamentación que permita vigilar de manera adecuada todos estos aspectos de medio ambiente y biodiversidad. Nos hemos preguntado qué tan adecuado es utilizar en México tal o cual tecnología. A lo mejor no todo es bueno. Lo importante es que México pueda tomar la decisión, por razones sociales o económicas, de decir: "yo no produzco transgénicos en aguacate", por ejemplo, "porque exporto aguacate a todo el mundo. Por lo tanto, si los japoneses y los europeos no quieren transgénicos, me voy a meter en un lío si trato de venderles aguacates transgénicos. ¿Qué hago? Cierro el aguacate a transgénicos". Ahora bien, si México no exporta papa a ningún lado y se demuestra que el transgénico no hace daño a la biodiversidad, habría que analizar seriamente si es conveniente utilizar o no esta tecnología.

Buscamos convencer a los diputados para que deroguen o modifiquen la enmienda. De cualquier manera, no creemos que se vaya a aplicar en este momento la ley a ningún instituto de investigación ni a ninguna empresa, primero, porque no creo que se pueda aplicar de manera retroactiva. Así que todas las actividades actuales las tienen que respetar porque se hacían antes de que apareciera la modificación a la ley en el *Diario Oficial*. Además, puesto que apela a la norma, y como no hay norma al respecto, pues tampoco pueden aplicarla. Es absurdo. Como quiera que sea, no creo que en este momento lo apliquen y es muy probable que en la presente legislatura el artículo sea nuevamente modificado o derogado.

Programa nacional de desarrollo

CC: ¿Cuál es tu opinión sobre el Plan Nacional de Desarrollo y Cultura Ambiental, considerando la nueva Ley Orgánica del CONACYT y la nueva Ley de Ciencia y Tecnología. ¿Tendrá aspectos positivos o también habrá que modificar el Programa Nacional de Biotecnología?

LHE: La idea es tener un programa que permita optimizar el uso de los recursos económicos y la infraestructura física y humana del país, de manera que

la biotecnología impacte verdaderamente a la sociedad, es decir, que pueda ser transferida a la industria, que ayude a los campesinos y que tenga un efecto en el sector salud. Y el primer paso es este documento que se publicó bajo el nombre de Programa Nacional de Biotecnología. En él se han tratado de identificar áreas donde la biotecnología podría tener un impacto más importante a corto, mediano y largo plazos en el país y en sus diferentes sectores económicos, esto es, el sector agrícola, el ganadero y el de la salud, en el sector industrial y en el de la producción de alimentos.

La idea sería ahora identificar aquellas áreas tomando en cuenta nuestra enorme biodiversidad. Regresamos aquí a la importancia de la biodiversidad para las áreas donde el potencial de oportunidades es alto. Por ejemplo, en el área agrícola uno puede identificar los cultivos importantes del país, como son maíz, frijol, tomate y chile; algunos frutales, como mango y limón; y algunos otros cultivos de uso industrial, por ejemplo, el agave. Este último se presenta como un ejemplo muy claro, pues México es el único país que puede producir tequila a partir de esta planta. Los beneficios debido a la gran popularidad del tequila podrían extenderse al mezcal. Incluso el agave mismo, y el henequén para la producción de fibras naturales. Tendríamos nosotros que desarrollar toda esa tecnología. No creo que haya empresas interesadas en trabajar mucho sobre el agave, dado que sólo se utiliza en México. Y sería una vergüenza tener que contratar empresas extranjeras para que nos resolvieran los problemas de esta planta. Eso es lo que pretende este Programa Nacional de Biotecnología: identificar esas áreas de oportunidad, identificar esas áreas de prioridad y tratar de instrumentar programas para poner en marcha proyectos multidisciplinarios. Que involucren desde la ciencia básica hasta los procesos tecnológicos que nos permitan realmente impactar y plasmar el potencial de la biotecnología en el desarrollo del país.

Ahora bien, con respecto a la manera como se combinan este Programa Nacional de Biotecnología y los cambios que ha habido en el CONACyT, el Programa Especial de Ciencia y Tecnología, y la nueva Ley de Ciencia y Tecnología, no sabemos todavía cómo van a encajar en realidad. En principio pensamos que debían embonar muy bien, dado que el CONACyT contempla ahora programas sectoriales de agricultura, de salud, de medio

ambiente y de energía. Precisamente cada una de estas áreas tiene su rubro de biotecnología. Y entonces deberían cruzarse, y donde dijera "agricultura", pues un biotecnólogo diría: "que ataquen el maíz, frijol y el agave", por ejemplo, porque esas son las prioridades, dos alimentos de consumo básico y el producto industrial más importante.

Si ellos ponen fondos, deberían de ser recursos nuevos. Esperamos que la investigación básica que se esté haciendo sea financiada por el Programa Sectorial de Educación, y la investigación aplicada sea apoyada en el programa sectorial específico en el que puede incidir. Hay gente que hace biotecnología para el sector petrolero y energético; también existe un programa con Pemex. Así que, en principio, parecería que se nos abren más puertas de financiamiento. El problema al que nos enfrentamos ahora es que no sabemos cómo lo vayan a instrumentar; si, en efecto, van a abrir esos fondos sectoriales a una sana competencia, donde el mejor postor en función de su calidad académica tenga acceso a esos recursos, o bien los etiqueten sólo para satisfacer la necesidades de recursos de las secretarías de Agricultura y de Salud, y de Pemex, ya que cada una de estas dependencias tienen sus propios centros de investigación. Ahí es donde tenemos una gran duda.

Puede representar una enorme oportunidad para abrir nuevas puertas o una forma de cerrarlas. En ese caso, sólo nos quedaría como opción continuar con la investigación básica. En el peor de los casos, podría suceder que hagamos proyectos de investigación básica, por ejemplo, en frijol, y que en el sectorial de investigación básica nos digan: "No es aquí. Eso tiene que ir al sectorial de agricultura, porque es investigación aplicada". Y cuando lleguemos a agricultura nos dirán: "¿sabes qué? sí, esto es un estudio sobre el frijol pero se trata de una investigación muy básica, así que mejor vete a Educación". ¿Qué pasaría? Nos estarían mandando de un lado a otro y nunca cuajarían nuestras propuestas, en ninguno de los sectoriales. Esas son las preocupaciones que tenemos ahora, sin contar cómo se van a portar los pares, cómo van a comportarse nuestros compañeros científicos en la calificación de los proyectos.

CC: En tu opinión, ¿hay algún síntoma alarmante?

LHE: Ha empezado a surgir una cierta tendencia a "torpedear" los proyectos. Sin embargo, confío y espero



que nuestra comunidad científica haya alcanzado la madurez suficiente como para hacer un análisis estrictamente científico y académico de las propuestas, en la cual no intervengan otros factores para descalificar proyectos.

Dueños de la tecnología

CC: Que la neurona prevalezca sobre la hormona. Regresemos al asunto de los transgénicos. Muchas de las quejas están encaminadas al comportamiento arrogante de empresas como Monsanto. ¿Qué opinas al respecto?

LHE: Una de las componentes importantes de la controversia de los transgénicos en plantas es el hecho de que algunas empresas multinacionales se convirtieron en los dueños de la mayor parte de la tecnología. La tecnología se generó en instituciones públicas, en universidades europeas y norteamericanas, y después algunas empresas como Monsanto y Dupont entraron a hacer

investigación. Realizaron inversiones muy importantes, adquirieron patentes de las universidades y se adueñaron de la tecnología, sobre todo Monsanto. Esta empresa ideó un programa mucho antes que todas las demás. En realidad, apostaron a esta tecnología desde finales de la década de 1970, es decir, yo creo que cerca de diez años antes que todos. Y como resultado de esa planificación, de esa visión e inversión, ellos controlaron todos los productos transgénicos que se empezaron a comercializar en el mundo, lo cual generó cierta desconfianza en el público. Generó también cierto recelo de las empresas europeas, que se estaban quedando atrás.

CC: Pero la controversia es compleja.

LHE: En efecto, porque hay intereses económicos. Y hay desconfianza porque son multinacionales. También hay problemas de credibilidad debido a la arrogancia de Monsanto al convertirse en la dueña de la tecnología.

CC: Su éxito ha sido enorme.

LHE: Tuvieron un éxito sin precedente en la historia de la tecnología en los Estados Unidos. Ningún producto agrícola se había adaptado con tal velocidad en toda la historia de la agricultura de ese país. Se volvieron muy poderosos y aplicaron políticas tajantes, como dijimos antes: "si no me quieres comprar mezclado el transgénico con el 'normal', pues no te vendo". Existen argumentos económicos por los cuales esa política es justificable, pero creo que debieron haber sacrificado ese costo y permitir una mayor aceptación. Otro error que tuvieron fue pensar que todas las sociedades son como la norteamericana. Los estadounidenses son muy pragmáticos. Para ellos cualquier cosa que ayude a la economía del país es buena, y la aceptan. En Europa no es así. Allá son más quisquillosos, ellos quieren saber qué se está haciendo. Tienen un alto sentido del individuo y, como personas, quieren tomar decisiones e influir. Monsanto ha sufrido económicamente mucho por la controversia. De hecho, estuvo a punto de quebrar. Pero no todo el problema son las empresas; los activistas también tienen sus errores...

CC: Y ganancias.

LHE: Sí. *GreenPeace* ahora vive de los transgénicos. Ya no les importan mucho las ballenas ni los lobos en extinción. Ahora les interesan los transgénicos aunque,



en realidad, no han arreglado ni el medio ambiente ni han hecho nada. Pero sin duda les deja mucho dinero la campaña contra los alimentos transgénicos. Es la campaña publicitaria que más dinero les ha dejado en toda su historia.

CC: Una de las críticas es que el agricultor no puede utilizar ese maíz, pues no produce semilla. ¿Qué tan válida es?

LHE: Monsanto generó una tecnología para evitar que se pudiera reutilizar la semilla pero este concepto no es nuevo. Los híbridos funcionan con esa base. Si cruzas dos padres muy distintos, los hijos tienen una alta productividad. Pero los nietos ya no. De esa manera, las compañías se han garantizado desde hace unos cuarenta años que los campesinos tengan que volver a comprarles semilla cada año, porque, como dije, los nietos de los híbridos ya no sirven. Monsanto no tenía la tecnología de los híbridos y entonces la inventaron, aunque, por cierto, no fue Monsanto sino el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos el que estableció una técnica para que funcionara como los híbridos. "Me compras, siembras y tienes tu producto pero los nietos ya no germinan". Esto no es nuevo. Y *GreenPeace* dice: "pobres pequeños agricultores, ya no van a poder reproducir su semilla". Yo le preguntaría a estos activistas, ¿han venido ellos a las sierras de Oaxaca, de Guanajuato y de Puebla a ver si los campesinos le compran la semilla a Monsanto? Jamás le han comprado la semilla a esa empresa. Entonces, ¿cómo se van a ver afectados los pequeños agricultores, si no le compran la semilla a Monsanto?

CC: Otros critican estas técnicas, como la llamada *terminator*, con claras referencias apocalípticas, y el peligro de que se escapen genes. ¿Qué tan realista es esto y qué tan peligroso puede ser?

LHE: De hecho, esta tecnología que llaman el *terminator* es la solución perfecta para el escape de genes, ya que las plantas que tomen los genes de las plantas transgénicas no se pueden reproducir. Empezaron a atacar al *terminator* no porque impidiera la reutilización de la semilla, sino porque era la solución a su principal crítica, que es el escape de los genes. Ahora bien, yo no creo que esto tenga un efecto espectacular, salvo casos particulares sobre los que podría especularse. Y esta tecnología resuelve el problema. Así que ellos garantizan su mercado y, además, le garantizan a la sociedad que no se escapen los genes.

CC: ¿Podríamos especular sobre esos casos peligrosos?

LHE: Mira, hay casos riesgosos desde el punto de vista agronómico. Por ejemplo, la resistencia a herbicidas. ¿Qué hace el agricultor? Echa herbicidas para matar la malezas y tiene que esperar para sembrar su semilla, una vez que el herbicida ha desaparecido. Hay ocasiones en la que tiene que echar un montón de herbicidas para matar todo lo que pueda enfermar su cultivo. Cuando tienes una planta resistente a herbicidas, el agricultor la siembra, deja que germine y entonces echa un poquito de herbicida que mata las malezas. Después de que la planta crece un poquito más, y en el caso de que vuelvan

al salir malezas rocía otro poquito. De esa manera gasta menos dinero y dosifica la aplicación de herbicida. El problema es que si la resistencia de herbicidas pasa a una maleza, ésta tampoco se va a morir. Y entonces va a causar un gran problema agronómico porque el herbicida queda fuera del juego. La principal dañada será la empresa que fabrica el herbicida, y son ellos, los fabricantes de estas sustancias, quienes más preocupados están de que esto no suceda. Ellos no quieren que se ocasione un problema porque serían los principales afectados. Son este tipo de peligros de índole agronómica a los que nos enfrentamos. Así que, como dije, el que se transfiera a plantas silvestres un gen de insectos con resistencia a herbicidas, si no le es útil a la planta no va a tener ningún efecto. Por eso yo no veo mayor problema.

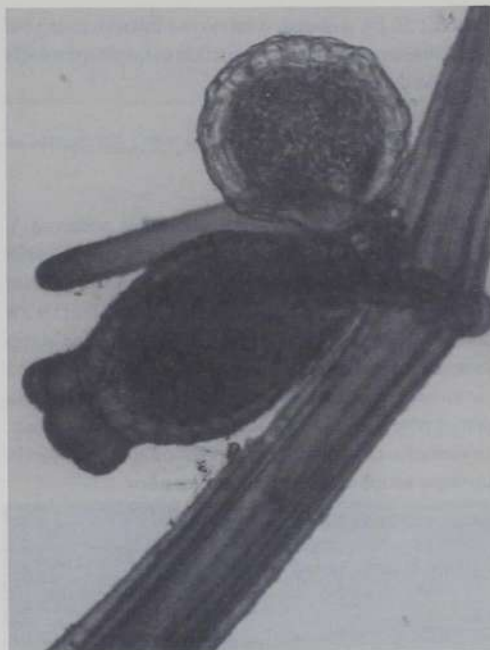
Patentes y regalías

CC: Con respecto a tu trabajo, ¿podrías hacernos un breve resumen? Sabemos que obtuviste una medalla de oro. ¿Qué importancia tiene? ¿Qué experiencia has tenido con la patente asociada a dicho premio?, ¿se ha comercializado, ha tenido algún efecto en México?

LHE: La patente por la cual me dieron la medalla de oro de la OMPP (Organización Mundial de la Protección a la Propiedad Intelectual) describe el desarrollo de tecnología para producir transgénicos. Fundamentalmente fueron dos grupos los que creamos la tecnología. El grupo donde yo trabajé durante mi doctorado, que está en la Universidad de Gante, en Bélgica, y el grupo de Monsanto. Esa patente ampara los métodos para producir plantas transgénicas y cómo introducir genes a células vegetales que, de hecho, fue el tema de mi tesis doctoral. Después patentamos varios procesos más que aún están en uso. Sin embargo, la patente de que hablamos es de importancia fundamental porque cualquier planta transgénica tiene que pagar regalías sobre ella, esté o no en uso. Por supuesto que está en uso, porque muchos países siembran plantas transgénicas. Pero el monto de las regalías que se han recibido es muy pequeño por el conflicto con Monsanto.

CC: ¿Cada quien tiene su patente?

LHE: Ellos solicitaron su patente un día antes que nosotros en Estados Unidos, y nosotros sometimos nuestra



patente tres días antes que ellos en Europa. Se han gastado alrededor de cinco millones de dólares para evitar que se otorgue la patente. Porque saben que si nos la dan a nosotros, tendrían que pagar muchísimo dinero después de todo lo que han comercializado. Así que, de buena voluntad, la mayoría de las empresas pagan unas regalías simbólicas, alrededor de 10 mil dólares anuales, más un porcentaje de ventas.

CC: ¿Qué pasará cuando se resuelva el caso?

LHE: Antes, déjame decirte que, en realidad, el monto de lo que se ha generado en regalías es relativamente poco, debe de andar por ahí de un millón, un millón y medio de dólares. Ahora, si se destraba en algún momento, pues estaríamos hablando de decenas o cientos de millones de dólares. Pero no sabemos si se va a destrabar. Las patentes tienen una vida máxima de veinte años y ya vamos en el año quince. Nosotros estamos apostando a que se destrabe.

CC: Y ellos a que no.

LHE: Sí. En realidad, a mí no me interesa mucho si se destraba o no. Lo que me preocupa es que la tecnología vaya a perderse.

CC: Y en cuanto tal, ¿cómo la ves?, ¿es fuerte, es una tecnología versátil, actual?

LHE: La tecnología es extremadamente poderosa. Y se va a refinar aún más, sobre todo ahora que se están conociendo los genomas de plantas. Esto va a cambiar la manera como se producen plantas y la calidad de los alimentos. Por ejemplo, se van a utilizar plantas como biorreactores para producir compuestos de interés médico y de interés industrial, químicos finos, en fin, que todavía tiene un potencial enorme. Todavía no hemos visto nada. Los ejemplos que ya son comerciales no son nada con lo que viene en los próximos cinco, diez años.

Lo natural y lo artificial

CC: ¿Qué tanta química hay en esta nueva ingeniería genética?

LHE: Hay una componente química muy importante, ya que las plantas tienen metabolismos extremadamente versátiles, y ahora es posible manipular sus rutas metabólicas. Creo que las plantas y los hongos son los organismos que tienen el metabolismo más versátil. Producen cientos de miles de compuestos distintos que tienen un gran potencial para los humanos. Eso explica la enorme diversidad de plantas que hay y la insólita diversidad de productos que genera cada planta. Por otra parte, sí, estoy de acuerdo, hay que vigilar, hay que ser cautos. Se trata de una tecnología nueva. Pero se le ha satanizado sin razón. Primero decían que era inherentemente nociva a la salud. El biotecnólogo replicaba. Entonces se le contestaba: "porque metiste un gen con una proteína más". Pero resulta que, cuando se trata de una cruce vía un mejoramiento convencional, pasan cientos o miles de genes de variedades silvestres que jamás hemos comido. ¿Por qué esas no nos preocupan? Las plantas son venenosas. Muchos de los venenos más potentes de mundo son de origen vegetal. Y tan son tóxicas que la mayoría de ellas las tenemos que cocinar para no enfermarnos, tenemos que hervirlas un buen rato para que no nos hagan daño.

CC: Esto muestra la falsa dicotomía entre lo que se considera natural y lo que se supone es artificial.

LHE: Exactamente. Es muy curioso que consideren a las plantas transgénicas artificiales y que muchas otras cosas, algunas de ellas extravagantes, pasen de lo más natural. Hace poco estuve en una reunión de la FAO, en París, y venía leyendo el *Times* en el avión. Venía, debo confesarlo, un tanto decepcionado, pues mucha gente sigue creyendo que, precisamente, todo lo que hacemos no es natural. Y cuando abro la revista veo un reportaje sobre las damas que se están inyectando toxinas del botulismo para eliminar las arrugas. Le advierte el reportero a una señora que esto se ha estado utilizando ilegalmente como por diez años, y que la Agencia Federal de Drogas de los Estados Unidos (FDA) apenas aprobó su uso. Y la señora responde: "mire usted, ¿cree que nos importa si la FDA autoriza o no el uso de la toxina? A mí lo que me interesa es quitarme las arrugas". Vamos, inyectarse una toxina puede causar cáncer, no lo sabemos. Quizás pueda matar a la señora dentro de diez años. No les importa. Pero el que una planta transgénica, sobre la que ya existen análisis para medir sus efectos en la salud humana y animal, así como en el medio ambiente, se piense que no es natural, que es abominable, indica una concepción de la vida que, a mí en lo personal, me parece bastante distorsionada.

Perspectivas

CC: Para terminar, ¿cómo ves las perspectivas de la biotecnología en México, tanto en la parte de investigación como en lo que respecta al importantísimo rubro de la comercialización?

LHE: Estoy convencido de que la investigación en México tiene buen potencial. Hay grupos bastante fuertes pero de ninguna manera estamos en el nivel óptimo. Creo que será necesario crear muchos grupos nuevos. Me parece absurdo que cuestionen la urgencia de abrir más centros de investigación en plantas transgénicas. La Unidad Irapuato del Cinvestav no es suficiente; si uno va a los Estados Unidos, cada estado de esa nación tiene diez o quince universidades y compañías privadas trabajando en esto. En realidad necesitamos crear muchos más centros y fortalecer un programa de desarrollo de la biotecnología. Tenemos grandes ventajas al contar con semejante

biodiversidad, lo cual nos va a convertir en un país muy competitivo. Es muy importante protegerla físicamente y en materia de propiedad intelectual. Debemos capitalizar ese enorme valor y no seguir dejándolo para que sean otros quienes lo aprovechen.

Con respecto a los aspectos legales y de opinión pública, creo que esto es muy transitorio porque, en realidad, a la mayoría de la gente no le importa mucho esto de los transgénicos. Es muy transitorio, se trata de un círculo muy pequeño que ha hecho eco por intereses particulares, como *GreenPeace*. Sobre todo se manifiesta en los ambientes intelectuales. Estas personas desconocen la tecnología, sus beneficios y sus posibles riesgos. Han tomado partido *a priori*, incluyendo gran parte de la prensa escrita y los medios electrónicos de comunicación. Además, dados los compromisos de comercio y desarrollo económico que tenemos con la comunidad internacional, se va a tener que aceptar. Lo que debemos hacer ahora en México, repito, es encontrar la manera óptima de reglamentarla para que podamos decidir cabalmente qué tecnología utilizar y cuál no.



Indice del volumen 21

Indice de materias

Biología celular		Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación	313
<i>División celular</i>	41	J. Yáñez Fernández et al.	
M. A. Pérez Angón			
Biomedicina		Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales	321
Ciencias interdependientes: física y medicina	123	P. Genina Soto	
M. S. Witherell			
Biotechnología y bioingeniería		Biofiltración: tratamiento biológico de aire contaminado	325
El dilema de los organismos transgénicos	389	F. Thalasso et al.	
C. Chimal			
Tres décadas de investigación y posgrado	259	Actividad microbiana en suelos	328
F. Thalasso		M.L.Luna Gualdo et al.	
Impacto de la biotecnología agrícola en cultivos: el caso de las micorrizas	263	Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo	333
B. Xoconostle Cázares et al.		D. Alvarez Bernal et al.	
Proteínas con afinidad a celulosa: una herramienta en biotecnología	267	Modelado de procesos biológicos mediante técnicas de inteligencia artificial	341
T. Mejía Castillo et al.		J. Barrera Cortés	
Celulasas y xilanasas en la industria	273	Ciencias marinas	
T. Ponce Noyola et al.		El agua subterránea en el desarrollo regional de Yucatán	67
Enzimas con aplicación industrial	279	E. Batllori Sanpedro et al.	
Ma. del C. Montes Horcasitas, et al.		Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán	195
Comunicación intercelular a larga distancia vía el floema en plantas	283	L. Capurro et al.	
R. Ruiz Medrano		Clenciometría	
Guerra entre insectos y microorganismos: una estrategia natural para el control de plagas	291	Los números también cuentan	181
A. Asaff Torres et al.		D. Adam	
Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación	297	Participación del Cinvestav en disciplinas de gran ciencia: física de partículas elementales	361
J. Pérez Vargas et al.		E. Collazo Reyes	
Biotechnología microalgal	301	Desarrollo institucional	
R.O. Cañizares Villanueva		La ciencia mexicana: planes que se convierten e hechos	97
Plantas como biorreactores para la producción de biomoléculas y remoción de xenobióticos	307	A. Herrera Estrella	
G. Calva-Calva et al.		Los números también cuentan	181
		D. Adam	

Redefinir a la institución A. Martínez Palomo	213	Observación experimental de la condensación de Bose-Einstein P. González Mozuelos	33
Vocación por el conocimiento y la investigación R. Tamez Guerra	216	La física en tiempos de estrés C. Chimal	113
Diálogos		Ciencias interdependientes: física y medicina M.S. Witherell	123
Postgenómica en el Pasteur	51	Equilibrios de fase y procesos de cristalización V.A. Mishournyi et al.	285
La física en tiempos de estrés	113	La física experimental en España C. Chimal	241
Panorama de las neurociencias	167	Participación del Cinvestav en disciplinas de gran ciencia: física de partículas elementales F. Collazo Reyes	361
La física experimental en España	241	Fisiología	
El dilema de los organismos transgénicos C. Chimal	389	Modernos caballos de Troya D.B. Martínez et al.	15
Distinciones académicas		División celular M. A. Pérez Angón	41
G. Herrera Corral, Premio de Inv. 2001 AMC	45	Canales iónicos y su papel funcional en el espermatozoide A. Vega Hernández et al.	89
J. González Hernández, Premio L. Elizondo 2001	46	La fisiología y la evolución según Cereijido J. Muñoz	379
Premios A. Rosenblueth 2000	48	Genética	
O. Hernández Lerma, Premio Nacional de Ciencias y Artes 2001	109	Postgenómica en el Pasteur C. Chimal	51
J.E. Ayón Beato, Premio Weizmann 2001	111	Tres consecuencias del Proyecto Genoma A. R. Navarro y J. Estrella	101
Premios Nobel en ciencias 2001	33	Ingeniería eléctrica	
Documentos		Automatización y flexibilidad de la industria A. Sánchez Carmona	163
Informe de labores 2001 A. Martínez Palomo	219	Libros y revistas	
Ecología		La piel del cielo de E. Poniatowska	61
El agua subterránea en el desarrollo regional de Yucatán E. Batllori Sanpedro et al.	67	Recordar hacia el mañana de S. Quintanilla M.A. Pérez Angón	255
Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán L. Capurro et al.	195		
Educación			
Educación para México en el Siglo XXI J. Suárez Díaz	375		
Física			
SNO y los sabores del neutrino O.G. Miranda Romagnoli	3		
Tecnologías epitaxiales de crecimiento de cristales semiconductores V.A. Mishournyi et al.	21		

Lo mismo y no lo mismo de R. Hoffmann 177
M.J. Rosales Hoz

Una mente prodigiosa de S. Nasar 179
L. Moreno Estrella

Matemáticas

El pensamiento natural y las limitantes formales 355
G. Morales Luna

Materiales

Tecnologías epitaxiales de crecimiento de 21
 cristales semiconductores
V.A. Misehounyi et al.

Materiales alternativos al cemento Portland 79
J.I. Escalante García

Equilibrios de fase y procesos de cristalización 205
V.A. Mishounyi et al.

Nuevos materiales superduros 347
F.J. Espinosa Beltrán et al.

Matrices

Comunidad del "Siemprestar" 131
M. Martínez García

La fibronectina, la cenicienta y una pregunta 139
 inocente
E. Vigueras

¿No se enojarán los dioses por robarle la luz 143
 al sol?
J.A. Urbano Castelán

A paso de arriero 149
J.C. Raya Pérez

Av. Ticomán esquina IPN 153
L. Bárcenas Uribe

Neurociencias

Panorama de las neurociencias 167
C. Chimal

La fisiología y la evolución según Cerejido 379
J. Muñoz

Nombramientos 47
 L. Herrera Estrella, director U. Irapuato
 D. Martínez Fong, jefe del Departamento
 de Fisiología 110
 A. Flores Nava, director U. Mérida 111

Política científica

La ciencia mexicana: planes que se 97
 convierten en hechos
A. Herrera Estrella

Redefinir a la institución 213
A. Martínez Palomo

Vocación por el conocimiento y la 216
 investigación
R. Tamez Guerra

La fisiología y la evolución según Cerejido 379
J. Muñoz

Química

Catálisis y quiralidad: izquierda o derecha 37
A. Flores Parra

Índice de Autores

Adam, D.
 Los números también cuentan 181
Alvarez Bernal, D.
 Sistema de tratamiento de aguas residuales
 por aplicación al suelo 333
Asaff Torres, A.
 Guerra entre insectos y microorganismos 291

Bárcenas Uribe, L.
 Avenida Ticomán esquina IPN 153
Barrera Cortés, J.
 Modelado de procesos biológicos mediante
 técnicas de inteligencia artificial 341
Batlloiri Sanpedro, E.
 El agua subterránea en el desarrollo
 regional de Yucatán 67

Calva-Calva, G.
 Plantas como biorreactores para la
 producción de biomoléculas y remoción de
 xenobióticos 307
Cañizares Villanueva, R.O.
 Biotecnología microalgal 301

Capurro, L. Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán	195	García Esquivel, G. Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación	297
Chaires Martínez, L. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación	313	Genina Soto, P. Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales	321
Chimal, C. Postgenómica en el Pasteur	51	González Bernal, U. Modernos caballos de Troya	15
La física en los tiempos de estío	113	González Hernández, J. Nuevos materiales superduros	347
Panorama de las neurociencias	167	González Mozuelos, P. Observación experimental de la condensación de Bose-Einstein	33
La física experimental en España	241	González Robles, A. Proteínas con afinidad a celulosa	267
El dilema de los organismos transgénicos	389	Gorbachov, A. Yu. Tecnologías epitaxiales de crecimiento de cristales semiconductores	22
Collazo Reyes, F. Participación del Cinvestav en disciplinas de gran ciencia	361	Equilibrios de fase y procesos de cristalización	205
Contreras Ramos, S.M. Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo	333	Hernández del Castillo, I.C. Tecnologías epitaxiales de crecimiento de cristales semiconductores	21
Dendooven, L. Actividad microbiana en suelos	328	Equilibrios de fase y procesos de cristalización	205
De la Torre, M. Guerra entre insectos y microorganismos	291	Herrera, J. Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán	195
Escalante García, J.I. Materiales alternativos al cemento Portland	79	Herrera Estrella, A. La ciencia mexicana: planes que se conviertan en hechos	97
Esparza García, F. Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación	297	Jiménez Hernández, J. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación	313
Plantas como biorreactores para la producción de biomoléculas y remoción de xenobióticos	307	Lastras, A. Tecnologías epitaxiales de crecimiento de cristales semiconductores	21
Espinoza Beltrán, F.J. Nuevos materiales superduros	347	López y López, V.E. Guerra entre insectos y microorganismos	291
Estrella, J. Tres consecuencias del Proyecto Genoma	101	López Sánchez, C. Plantas como biorreactores para la producción de biomoléculas y remoción de xenobióticos	307
Euán, J. Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán	195	Luna Guido, M.I. Actividad microbiana en suelos	328
Febles Patrón, J.L. El agua subterránea en el desarrollo regional de Yucatán	67	Magaña Plaza, I. Enzimas con aplicación industrial	279
Félix, R. Canales iónicos y su papel funcional en el espermatozoide	89	Márquez Robles, M. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación	313
Flores Parra, A. Catálisis y quiralidad: izquierda o derecha	37		
Franco Hernández, M.O. Actividad microbiana en suelos	328		

Martínez Argüelles, D.B.			
Modernos caballos de Troya	15		
Martínez Fong, D.			
Modernos caballos de Troya	15		
Martínez García, M.			
Comunidad del "Siemprestar"	131		
Martínez Juárez, V.M.			
Plantas como biorreactores para la producción de biomoléculas Y remoción de xenobióticos	307		
Martínez Palomo, A.			
Redefinir a la institución	213		
Informe de Labores 2001	219		
Mejía Castillo, T.			
Proteínas con afinidad a celulosa	267		
Miranda Romagnoli, O.G.			
SNO y los sabores del neutrino	3		
Mishournyi, V.A.			
Tecnología epitaxiales de crecimiento de cristales semiconductores	21		
Equilibrios de fase y procesos de cristalización	205		
Montes Horcasitas, M.C.			
Enzimas con aplicación industrial	279		
Morales Luna, G.			
El pensamiento natural y las limitantes formales	355		
Moreno Armella, L.			
Una mente prodigiosa de S. Nasar	179		
Mújica Lengua, F.			
Proteínas con afinidad a celulosa	267		
Muñoz, J.			
La fisiología y la evolución según Cerejido	379		
Navarro, A.R.			
Tres consecuencias del Proyecto Genoma	101		
Ortega López, J.			
Proteínas con afinidad a celulosa	267		
Pérez Angón, M.A.			
División celular	41		
La piel del cielo de E. Poniatowska	61		
Recordar hacia el mañana de S. Quintanilla	255		
Pérez Avalos, O.			
Celulasas y xilanasas en la industria	273		
Pérez Vargas, J.			
Papel ecológico de la flora rozosférica en fitorremediación	297		
Plantas como biorreactores para la producción de biomoléculas y remoción de xenobióticos	307		
Pineda Olmedo, R.			
Biofiltración: tratamiento biológico de aire contaminado	325		
Poggi Valardo, H.M.			
Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo	333		
Ponce Noyola, T.			
Celulasas y xilanasas en la industria	273		
Ramírez Fuentes, E.			
Actividad microbiana en suelos	328		
Ramos Ramírez, E.G.			
Aplicaciones biotecnológicas de las microencapsulación	313		
Raya Pérez, J.C.			
A paso de arriero	149		
Reyes Vidal, Y.			
Guerra entre insectos y microorganismos	291		
Rosales Hoz, M. J.			
Los mismo y no lo mismo de R. Hoffmann	177		
Rulz Medrano, R.			
Impacto de la biotecnología agrícola en cultivos	263		
Comunicación intercelular a larga distancia vía el floema en plantas	283		
Salazar Montoya, J.A.			
Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación	313		
Sánchez Carmona, A.			
Automatización y flexibilidad de la industria	163		
Silva Cervantes, S.			
Plantas como biorreactores para la producción de biomoléculas y remoción de xenobióticos	307		
Suárez Díaz, J.			
Educación para México en el siglo XXI	375		
Tamez Guerra, R.			
Vocación para el conocimiento y la investigación	216		
Thalasso, F.			
Tres décadas de investigación y posgrado	259		
Biofiltración: tratamiento biológico de aire contaminado	325		
Treviño, C.L.			
Canales iónicos y su papel funcional en el espermatozoide	89		
Trujillo Tapia, N.			
Actividad microbiana en suelos	328		
Urbano Castelán, J.A.			
¿No se enojarán los dioses por robarle la luz al sol?	143		

Vázquez Murrieta, S.	
Actividad microbiana en suelos	328
Vega Hernández, A.	
Canales iónicos y su papel funcional en el espermatozoide	89
Vega Jarquín, C.	
Actividad microbiana en suelos	328
Vigueras, E.	
La fibronectina, la cenicienta y una pregunta inocente	139
Witherell, M.S.	
Ciencias interdependientes: física y medicina	123
Xoconostle Cázares, B.	
Impacto de la biotecnología agrícola en cultivos	263
Yáñez Fernández, J.	
Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación	313

Índice onomástico

Aceves Ruiz, J.	
Comisión de ética	49
Premio Nacional de Ciencias	109
Adem, J.	
Premio Nacional de Ciencias	109
Arauz Lara, J.L.	
Premio Weizmann	112
Aréchiga, H.	
Premio Nacional de Ciencias	109
Ayón Beato, J.E.	
Premio A. Rosenblueth 2000	48
Premio Weizmann 2001	111
Casas Campillo, C.	
Premio Nacional de Ciencias	109
Carrillo Pedroza, F.R.	
Premio A. Rosenblueth 2000	49
Cerbón, J.	
Premio Nacional de Ciencias	109
Cerellido, M.	
Premio Nacional de Ciencias	109
Contreras, R.	
Premio AMC	45
Comisión de ética	49
Cortez Apresa, N.	
Premio A. Rosenblueth 2000	49
Dorantes, J.G.	
Premio AMC	45

Flores Nava, A.	
Director U. Mérida	111
García, A.	
Comisión de ética	49
García Compeán, H.H.	
Premio Weizmann	112
García Díaz, A.	
Premio A. Rosenblueth 2000	48
Gitler, S.	
Premio Nacional de Ciencias	109
González Hernández, J.	
Premio L. Elizondo 2001	46
Herman Muñoz, J.	
Premio Weizmann	112
Hernández Lerma, O.	
Premio Nacional de Ciencias	109
Helman, J.S.	
Premio AMC	45
Herrera Corral, G.	
Premio AMC 2001	45
Herrera Estrella, I.	
Director U. Irapuato	47
Imaz, C.	
Comisión de ética	49
Joseph Nathan, P.	
Premio AMC	45
Premio Nacional de Ciencias	109
Juaristi, E.	
Premio AMC	45
Premio Nacional de Ciencias	109
López Castro, G.	
Premio AMC	45
Lucio, J.L.	
Premio AMC	45
Magaña Plaza, I.	
Enzimas con aplicación industrial	259
Martínez, R.	
Premio Weizmann	112
Martínez Fong, D.	
Jefe del Departamento de Fisiología	110
Martínez Palomo, A.	
Premio Nacional de Ciencias	109
Massieu, G.	
Premio Nacional de Ciencias	109
Medina Noyola, M.	
Premio AMC	45

Méndez, C. Fallecimiento	112	Segovia Vila, J.V. Premio A. Rosenblueth 2000	49
Mendoza, J.G. Premio AMC	45	Sotelo Morales, J.E. Premio Nacional de Ciencias	109
Morales Ríos, M.S. Premio A. Rosenblueth 2000	48	Suárez Castillo, O.R. Premio A. Rosenblueth 2000	48
Morán López, J.L. Premio AMC	45	Torres del Castillo, G. Premio AMC	45
Mustre de León, J. Premio AMC	45	Torres Vega, G. Premio Weizmann	112
Nava Alonso, F.C. Premio A. Rosenblueth 2000	49	Uribe Salas, A. Premio A. Rosenblueth 2000	49
Paredes López, O. Editor de la revista PFHN Vicepresidente AMC	49 112	Vizcarra, A. Premio Weizmann	112
Parra, V. Fundación von Humboldt	112	Zepeda, A. Premio SMF 2001	49
Pasantes, H. Premio Nacional de Ciencias	109		
Remolina López, J. Fallecimiento	112		
Rojdkin, M. Premio Nacional de Ciencias	109		
Rosenblueth, A. Premio Nacional de Ciencias	109		
Rudomín, P. Comisión de ética	49		
Ruiz Herrera, J. Comisión de ética	49		
Ruiz Herrera, J. Premio Nacional de Ciencias	109		





2nd

Latin American School of High Energy Physics

San Miguel Regla, Mexico

June 1-14, 2003



Scientific Programme

Standard Model and Field Theory, Ronald KLEISS, Nijmegen U.
QCD, Benjamin GRINSTEIN, U. California San Diego
Beyond the Standard Model, Chris QUIGG, Fermilab
Heavy Ions at the LHC, Jurgen SCHUKRAFT, CERN
Neutrinos, Pilar HERNÁNDEZ, U. C. Madrid
Flavour Physics, Belén GAVELA, U. A. Madrid
Astrophysics, Carlos FRENK, U. Durham
Instrumentation, Jurgen ENGELFRIED, U. A. San Luis Potosí
Trigger/DAQ, Nick ELLIS, CERN
Heavy Ions Physics, Ulrich HEINZ, Ohio S. U.
The Auger Project, Gustavo MEDINA TANCO, U. Sao Paulo

Discussion Leaders

Gabriel López, Cinvestav
Alejandro Ayala, UNAM
Helio Nogima, Unicamp
Diego Harari, U. Buenos Aires
Marta Losada, U. A. Nariño
Ramon Méndez-Galain, U. R. Montevideo

Local Organizing Committee

Alberto Sánchez-Hernández, Cinvestav, Chair
Guillermo Contreras, Cinvestav-Mérida Co-chair
Heriberto Castilla, Cinvestav
Arturo Fernández, BUAP
Arturo Menchaca, UNAM
Myriam Mondragón, UNAM
Luis M. Montaña, Cinvestav
Lukas Nellen, UNAM
Miguel A. Pérez, Cinvestav
Julián Félix, IFUG
Luis M. Villaseñor, UMSNH

International Scientific Committee

Alvaro de Rújula, CERN
John Ellis, CERN
Nick Ellis, CERN
Carlos García Canal, U. Nal. La Plata
Marcelo Guzzo, Unicamp
Egil Lillestøl, CERN & U. Bergen, Schools Director
John March-Russell, CERN
Luis Masperi, CLAF
Alberto Sánchez-Hernández, Cinvestav
Arnulfo Zepeda, Cinvestav

Enquiries and correspondence

Danielle Metral
Organizing Secretary
Schools of Physics
CERN
CH-1211 GENEVA 23
Switzerland

E-mail: Danielle.Metral@cern.ch

Organized jointly by CERN, CLAF, CONACyT and DPF-MPS

<http://PhysicSchool.web.cern.ch/PhysicSchool/LatAmSchool/2003/>

Deadline for applications: December 15, 2002

Departamento



de Física

Cinvestav

Materia condensada

Gravitación

Partículas y campos

Fisicomatemática

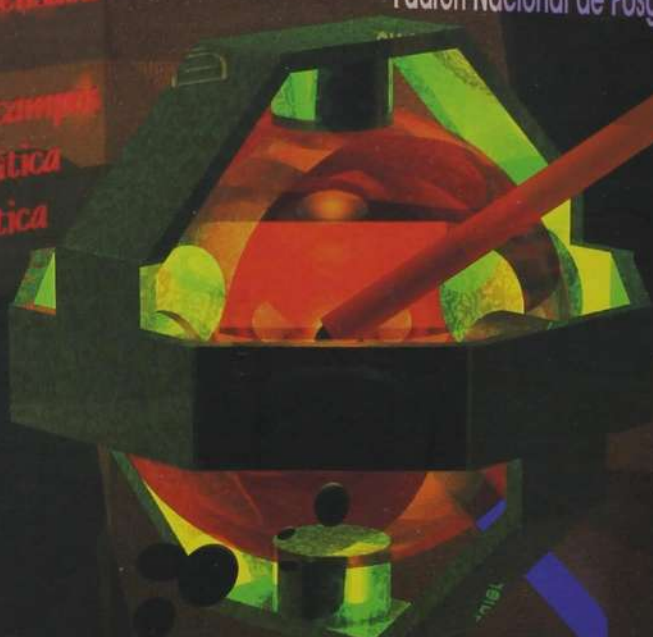
Física estadística

Astrofísica

Biofísica

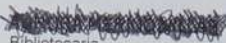
Programas de Maestría y Doctorado en Física

Los programas de maestría y doctorado en física del Cinvestav fueron calificados por el CONACyT como de nivel internacional en su evaluación 2001-2002 del Padrón Nacional de Posgrado.



Examen de nivel e inicio de cursos propé-
déticos para maestría y doctorado direc-
to en febrero y mayo de 2003.
Inscripciones al doctorado en cualquier
época del año.
Becas de Conacyt.

Coordinación de admisión
Departamento de Física, Cinvestav
Apdo. Postal 14-740
07000 México, D.F.
Tel/FAX (52) 5747 3838
admission@fis.cinvestav.mx
<http://www.fis.cinvestav.mx>


Bibliotecaria
Depto. Ingeniería Eléctrica