

# Ciencia *y* Desarrollo

Marzo - Abril de 2003 • Volumen XXIX • Número 169 • ISSN 0185-0008 • México \$ 20.00



## BIOTECNOLOGÍA



¡Larga vida  
al vórtice!

Ciencia mexicana  
en Europa

MURCIÉLAGOS >

CONTAMINACIÓN >

ERA ATÓMICA >



7 509997 150345 00169

Director General  
Jaime Parada Avila

Director Adjunto de Ciencia  
Alfonso Serrano Pérez Grovas

Director Adjunto de Tecnología  
Guillermo Aguirre Esponda

Director Adjunto de Desarrollo  
Regional y Sectorial  
Manuel Méndez Notell

Director Adjunto de Coordinación de Grupos  
y Centros de Investigación  
Felipe Rubio Castillo

Director Adjunto de Planeación  
Gildardo Villalobos García

Directora Adjunta de Fomento del Posgrado  
Judith Zubiena García

Director Adjunto de Administración y Finanzas  
Rafael Ramos Palmerín

Director Adjunto de Servicios Jurídicos  
Alejandro Romero Gudiño

Coordinadora de Asesoría  
Martha Leal González

Director de Asuntos Internacionales  
Efrat Aceves Peña



CONACYT

Director editorial  
Miguel Ángel García García

Editora  
Laura Basans Castiella

Consejo editorial: René Drucker Colín, José Luis Fernández Zayas,  
Óscar González Cuevas, Pedro Hugo Hernández Tejeda, Alfonso  
Larquet Saavedra, Jaime Litvak King, Lorenzo Martínez Gómez,  
Humberto Muñoz García, Ricardo Pozas Horecasitas, Alberto  
Rubledo Nieto, Alfonso Serrano Pérez Grovas.

Asesores editoriales: Guadalupe Carrel Defosse, María García  
Hernández y Abel Muñoz Hénonin

Coordinadora editorial: Susana Alicia Rosas

Coordinadora de información: Margarita A. Guzmán Gómez

Redactora: Mónica Genis Chimal

Correctora: Lourdes Arenas Bantelón, Leta García Fejoo

Diseño gráfico: Versa Agencia Creativa

Ilustraciones: Víctor Avila Chombo

Fotografías: Dante Bucio y Miguel Ángel Valle Pérez

Producción: Jesús Rosas Espejel

Impresión e impresión:  
Talleres Gráficos de México  
Canal del Norte 80, 06280 México, D.F.

Distribución:  
Intercom, S.A. de C.V.  
Lucio Blanco 433,  
Col. San Juan Tlithuaca, 02400 México, D.F.

Suscripciones y ventas:  
Amuro Flores Sánchez  
Av. Constituyentes 1046, edificio anexo, 1er piso  
Col. Lomas Altas, C.F. 11050 México, D.F.  
5238 4534

Consulte la página Internet del Conacyt,  
en la siguiente dirección electrónica:

<http://www.conacyt.mx>

Ciencia y Desarrollo es una publicación bimestral del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) editada por la Dirección de Comunicación Social. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Se prohíbe la reproducción total o parcial sin la expresa autorización de la Dirección de Comunicación Social. Certificado de libertad de tirado de publicación: 299, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Bimestrales de la Secretaría de Gobernación, expediente 10362/19/1271, del 22 de agosto de 1979. Reserva al autor en Derechos de Autor núm. 04-1998-42020512600-102, del 29 de abril de 1998, expedido por la Secretaría de Educación Pública. Autorizada como correspondencia de segunda clase. Registro DGC núm. 0220460, caratenermexico229021122. Certificado de libertad de contenido núm. 112.

Producida por la Dirección de Comunicación Social, con dirección en avenida Constituyentes 1046, Col. Lomas Altas, Delegación Miguel Alemán, 11050 México, D.F., teléfono 5327 7400, ext. 7800 y 7801.

Registro postal P039-0009  
Autorizado por SEPROMEX

## EDITORIAL

Resulta poco usual comenzar con noticias tristes, sin embargo no podemos pasar por alto el reciente fallecimiento de Augusto Monterroso, quien fue Asesor de *Ciencia y Desarrollo* (1977 a 1980) y posteriormente Coordinador editorial (1980 a 1982). Expresamos nuestra admiración por su labor literaria y, desde luego, editorial. Nuestro compromiso es conservar el alto nivel que esta revista ha conseguido gracias a sus destacados colaboradores.

Cada día, en nuestro país y en el resto del mundo, se avanza en proyectos que son resultado de la aplicación de técnicas biotecnológicas. La biotecnología es un amplio campo con múltiples facetas; se ha comprobado que a partir de las investigaciones en esta materia es posible desarrollar mejores productos y procesos en las áreas de la salud, la alimentación, la agricultura y el medio ambiente, entre otras. En el presente número de *Ciencia y Desarrollo* especialistas en este polémico tema comparten con nosotros el fruto de sus investigaciones, así como su postura ante el impacto que supone un riesgo asumido con responsabilidad.

El espacio de innovación tecnológica del bimestre lo reservamos para un grupo de investigadores, del Instituto de Astronomía de la UNAM y el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDEI), que ganó la licitación internacional para fabricar la cámara de verificación del Gran Telescopio que el gobierno Español construye en la Isla de Palma, en las Canarias. Nos enorgullecemos de presentar *Ciencia mexicana en Europa*, aportación –con nivel de vanguardia internacional– a uno de los proyectos astronómicos más importantes del mundo.

Oscar Uriel Velasco nos envuelve en un remolino y nos lleva más allá de los límites de la ciencia en su artículo dedicado a los vórtices. Un fenómeno impactante que merece ser estudiado detenidamente ya que casi todas las preguntas al respecto aún están por resolverse.

Por otro lado presentamos una síntesis de los estudios realizados en los últimos diez años sobre las partículas suspendidas en el aire de la Ciudad de México; información que, como bien dicen sus autores, es necesaria para establecer estrategias de control respecto a las emisiones de partículas. Junto con estos artículos presentamos una investigación que descubre una actividad desconocida, realizada por los murciélagos en las zonas áridas de México y Estados Unidos.

Cerramos este número, como siempre, con nuestras secciones tradicionales. Esperamos que lo disfrute.

# Ciencia *y* Desarrollo

Marzo/Abril de 2003 • Volumen XXIX • Número 169

**Editorial** 1

**Murciélagos: arquitectos del desierto** 4

El silencioso trabajo en pro de la vegetación  
ALBERTO ENRIQUE ROJAS MARTÍNEZ

**Contaminación atmosférica** 10

por partículas suspendidas en la  
zona metropolitana

ELIZABETH REYES ZÁRATE, ELIZABETH VEGA RANGEL,  
GABRIELA SÁNCHEZ REYNA Y VIOLETA MÚGICA ÁLVAREZ

**Ciencia mexicana en Europa** 17

Tecnología y calidad para la  
instrumentación astronómica mundial

SUSANA ALICIA ROSAS



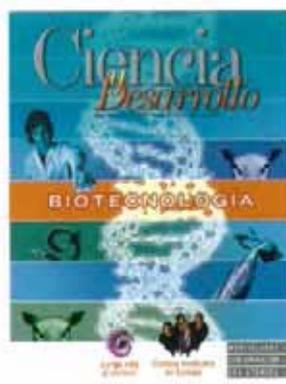
**¡Larga vida al vórtice!** 23

OSCAR URIEL VELASCO FUENTES



## La biotecnología Los retos del siglo XXI 30

JORGE MARTÍNEZ CONTRERAS  
ENRIQUE GALINDO FENTANES  
ADALBERTO NOYOLA  
ALFONSO LEÓN DEL RÍO  
VICENTE MADRID-MARINA  
CARLOS J. CONDE-GONZÁLEZ  
JUAN MANUEL ALCOCER-GONZÁLEZ  
HILDA RODRÍGUEZ  
MAYRA DE LA TORRE



Nuestra portada:  
*Biotecnología,  
Los retos del siglo XXI*

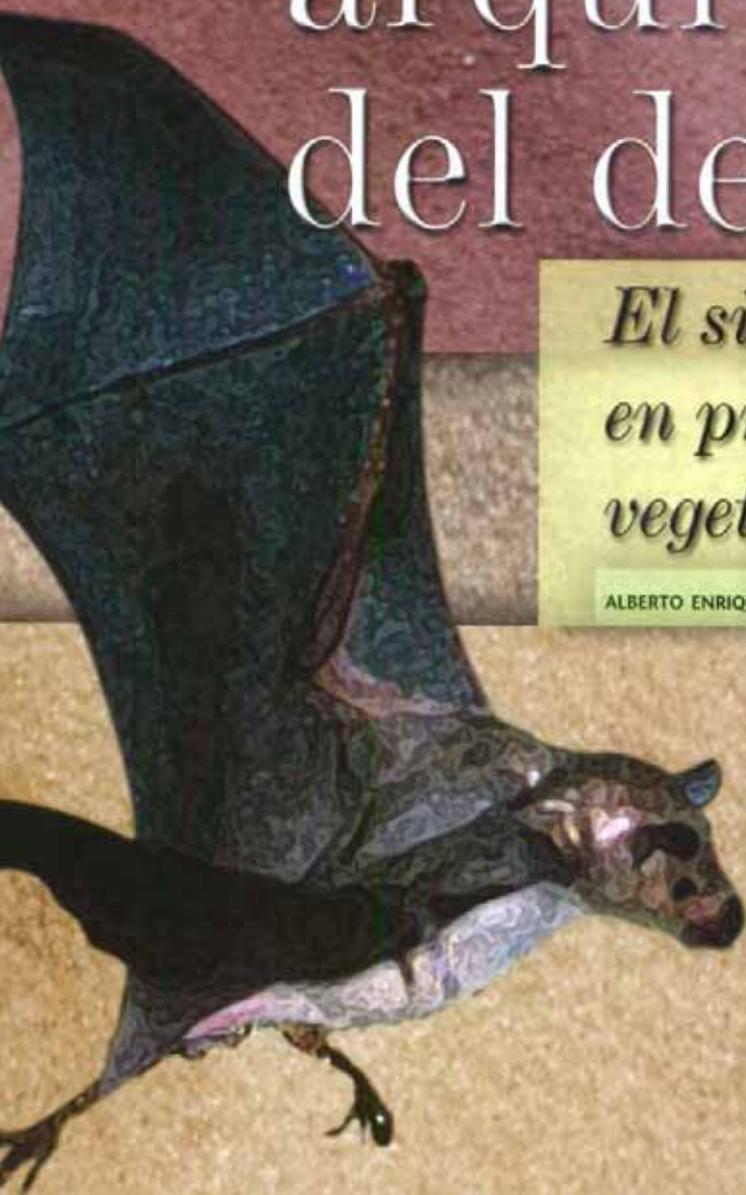
<b>La ciencia y sus rivales</b> El triste caso de Elisabeth Targ MARIO MÉNDEZ ACOSTA	42
<b>Descubriendo el universo</b> Hace 60 años comenzó en la tierra la era atómica JOSÉ DE LA HERRÁN	44
<b>Alaciencia de frioleras</b> Ciencia, prensa y vida cotidiana MIGUEL ÁNGEL CASTRO	46
<b>Deste lado del espejo</b> Creced y multiplicad los numerofílicos MARCELINO PERELLÓ	49
<b>Un paseo por los cielos de marzo y abril</b> JOSÉ DE LA HERRÁN	52
<b>Libros</b>	55
<b>Comunidad Conacyt</b>	57
<b>Nuestra ciencia</b>	59
<b>La ciencia en el mundo</b>	61

# Murciélagos: arquitectos del desierto

*El silencioso trabajo  
en pro de la  
vegetación*

ALBERTO ENRIQUE ROJAS MARTÍNEZ

Por ignorancia, históricamente los murciélagos han sido considerados dañinos; sin embargo, la gran mayoría de ellos desarrolla actividades que favorecen tanto a la naturaleza como al ser humano. El consumo de insectos plaga, la polinización de flores y la dispersión de semillas de plantas son algunas de las tareas tan favorables como desconocidas con que contribuyen al mantenimiento del ambiente.



*Poca gente sabe que algunos murciélagos polinizan en la oscuridad millones de flores solo abiertas por la noche, y de esa forma, protegen el néctar y el polen que contienen.*

En las zonas secas, donde existen agaves y cactáceas columnares, los murciélagos son responsables de mantener la estructura de la vegetación polinizando durante la noche y llevando las semillas de estas plantas hasta lugares donde pueden germinar y establecerse en los desiertos, influyendo en el paisaje que conocemos.

Los murciélagos nectarívoros dependen en gran medida de los recursos florales y se ven obligados a moverse hacia regiones donde las floraciones nocturnas son abundantes. Al mismo tiempo, muchas plantas requieren de su ayuda para ser polinizadas. Estos sistemas mutualistas implican mantener en buenas condiciones la vegetación de bosques de cactáceas, selvas bajas caducifolias y ambientes favorables para los agaves, que produce recursos florales y frutales útiles para los murciélagos. Además, se debe cambiar el concepto equivocado que se tiene de estos animales y considerarlos verdaderos aliados del ser humano en los esfuerzos por conservar la naturaleza.

### Los murciélagos, aliados invisibles

Cada noche, millones de murciélagos surcan los cielos de nuestro país de manera casi invisible, debido a que en la oscuridad su pequeño tamaño y el color de su pelaje son poco perceptibles para el ojo humano. Estos animales desarrollan una monumental tarea a favor de la naturaleza al consumir toneladas de insectos, graves plagas para la agricultura. Además, aquellos que se alimentan de frutas dispersan las semillas de una infinidad de plantas, sembrándolas literalmente en los ambientes tropicales. Y aunque muy poca gente tiene conocimiento de ello, algunos polinizan en la oscuridad millones de flores solo abiertas por la noche, y de esa forma, protegen el néctar y el polen que contienen, ya que las insaciables abejas, colibríes y mariposas que durante el día las visitan no pueden polinizarlas.

En el continente americano existen 23 especies de murciélagos que se alimentan principalmente de néctar y polen (familia Phyllostomidae, subfamilia Glossophaginae) y que no existen en ninguna otra parte del mundo, de ellas, 12 habitan en México (*Anoura geoffroyi*, *Choeronycteris godmani*, *Choeronycteris mexicana*, *Glossophaga commissarisi*, *G. Leachii*, *G. Morenoi*, *G. Soricina*, *Hylonycteris underwoodi*, *Leptonycteris curasoae*, *L. Nivalis*, *Lichonycteris obscura* y *Mu-*



Foto: José Antonio Soriano Sánchez

*Murciélago de hocico largo (Leptonycteris curasoae) reposando bajo las ramas de un mezquite (Prosopis laevis), en el Valle de Tehuacán, Puebla.*

*sonycteris harrisoni*). En general, son murciélagos pequeños y su masa corporal puede variar de siete hasta 42 gramos según la especie.

Estos animales muestran una serie de adaptaciones morfológicas que les permiten alimentarse de los productos florales: tienen el hocico alargado y estrecho para insertarlo sin dificultad en la corola de las flores; y su lengua es larga y elástica (puede llegar a medir más del 60% de la longitud de su cuerpo), unos 5 cm en los murciélagos que miden 7cm de longitud total, y está dotada de papilas en forma de hilos (filiformes), que actúan como un isopo de algodón y aumentan la cantidad de néctar que pueden llevarse a la boca después de visitar una flor. Por su gran longitud y flexibilidad, también les permite acicalar su pelo, que queda espolvoreado con gran cantidad del polen producido por las flores de las que se alimentan. Además, estos animales tienen un olfato muy desarrollado, gracias al cual pueden identificar el aroma de las flores nocturnas y visitarlas. Al batir sus potentes alas pueden ingerir el néctar sin necesidad de posarse sobre las flores.<sup>1</sup>

Por su parte, las plantas que son polinizadas por murciélagos producen flores grandes y fuertes que están abier-

<sup>1</sup>Arna, H. y C. Martínez del Río. *Interacciones flor-murciélago: un ensayo zoológico*, Publicaciones Especiales num. 4, Instituto de Biología/UNAM, México, 1980.

*La polinización realizada por murciélagos es un fenómeno común en las selvas tropicales, y ahora se sabe que también a lo largo de los cientos de miles de kilómetros cuadrados que cubren las zonas áridas y semiáridas de México y el suroeste de Estados Unidos.*

tas por la noche y resultan un manjar al producir grandes cantidades de néctar y polen. Como resultado de sus actividades de alimentación estos animales transportan el polen caído sobre su pelo de unas flores a otras, favoreciendo con ello que las plantas aseguren su existencia. De colores blanquecinos o verdosos y productoras de un particular olor para atraer a los murciélagos, este tipo de flores nocturnas se ubican en la periferia de la planta, de manera que los murciélagos no encuentran obstáculo para visitarlas.<sup>1</sup>

### Diseñadores del paisaje

Aunque parezca extraño, la polinización realizada por murciélagos es un fenómeno común en las selvas tropicales, y ahora se sabe que también a lo largo de los cientos de miles de kilómetros cuadrados que cubren las zonas áridas y semiáridas de México y el suroeste de Estados Unidos. En esos ambientes, un número de plantas de varios cientos de especies son polinizadas por estos animales. Muchas de ellas son importantes para el buen funcionamiento de los ecosistemas secos, y otras lo son económicamente, como los magueyes, de los cuales se extraen importantes productos comerciales (algunas bebidas alcohólicas [tequila, mezcal y pulque] y fibras [henequén y yute]).

Otras, como las cactáceas columnares típicas de los desiertos americanos, producen fruta comestible (pitayas y xoconoxtles) y leña, mientras que algunos árboles tropicales (ceibas o pochotes) producen maderas preciosas. El impacto de los murciélagos es tan importante en la reproducción de estas plantas que definitivamente es posible afirmar que el comportamiento alimenticio de estos animales determina la existencia de muchos magueyes, cactus y árboles, modelando los paisajes que nos resultan tan familiares en el desierto sonorense y en el valle de Tehuacán, así como en las selvas bajas caducifolias de la costa del Pacífico mexicano y de la cuenca del río Balsas.<sup>2, 3</sup>

### Las flores nocturnas, un recurso estacional

Los murciélagos nectarívoros están altamente especializados en el consumo de néctar y polen, por ello se ven obligados a moverse de un lugar a otro buscando sitios donde exista una cantidad suficiente de las flores que requieren para vivir cada día. Se calcula que cada murciélago visita ¡más de 400 flores por noche!

Como la existencia de estos animales depende de la disponibilidad de néctar y polen, recursos estacionales y frecuentemente efímeros, toda su población se ve obligada a cambiar periódicamente de lugar de alimentación. Así, se ha observado que el murciélago de hocico largo (*Leptonycteris curasoae*), uno de los nectarívoros más grandes (27 g), migra cada año desde las regiones tropicales de México y Centroamérica hasta el suroeste de Estados Unidos, con la finalidad de obtener los recursos alimenticios requeridos para su sobrevivencia.<sup>4</sup> Lo anterior implica un desplazamiento espectacular de más de 4 000 km de distancia a lo largo de la costa del Pacífico de México. Se ha considerado como principal motivo de esto la necesidad de encontrar alimento para las crías, que nacen durante primavera y verano en las regiones del norte de nuestro continente. Según esta hipótesis los murciélagos regresan a México durante el otoño para pasar el invierno en las regiones tropicales, más cálidas, y criar por segunda ocasión, aunque se desconoce

1 Arta, H. y C. Martínez del Río. *Interacciones flor-murciélago: un enfoque zoológico*. Publicaciones Especiales núm. 4, Instituto de Biología UNAM, México, 1990.

4 Rojas-Martínez, A., A. Valiente-Banuet, Ma. del C. Arizmendi, A. Alcántara-Eguren y H. Arta. "Seasonal Distribution of the Long Nosed-Bat (*Leptonycteris curasoae*) in North America: Does a Generalized Migration Pattern Really Exist?". *Journal of Biogeography* 26: 1065-1077, 1999.

5 Valiente-Banuet, A., Ma. del C. Arizmendi, A. Rojas-Martínez and I. Domínguez-Cansaco. "Ecological Relationships Between Columnar Cacti and Nectar-Feeding Bats in Mexico". *Journal of Tropical Ecology* 12: 1-17, 1996.

2 Fleming, T. H., A. R. Nuñez, y S. L. Sternberg. "Seasonal Changes in the Diets of Migrant and non Migrant Nectarivorous Bats as Revealed by Carbon Stable Isotope Analysis". *Oecologia* 96: 72-75, 1993.



Murciélago nectarívoro visitando la flor de "viejo".

si las hembras son capaces de parir dos veces en el mismo año o si se trata de hembras diferentes.<sup>1</sup>

El proceso de migración descrito anteriormente fue considerado como absoluto por investigadores de Estados Unidos,<sup>2</sup> quienes pensaban que los murciélagos no podrían sobrevivir sin esta migración. Sin embargo, este planteamiento ignoraba la existencia de regiones geográficas con vegetación capaz de proporcionar recursos florales nocturnos todo el año.<sup>3</sup>

A partir de los estudios realizados en el centro de México por el laboratorio de Comunidades del Instituto de Ecología de la UNAM, dirigido por el Dr. Alfonso Valiente Banuet, se descubrió que las regiones tropicales secas son capaces de producir ininterrumpidamente<sup>4</sup> recursos florales quiropterófilos, es decir, flores nocturnas polinizadas por murciélagos. Sin embargo, esto contrasta con anteriores concepciones acerca de los patrones de floración estacional de la vegetación quiropterófila y proporciona una nueva visión de la ecología de estos animales.

La existencia constante de alimentos florales permite que los murciélagos permanezcan en las regiones tropicales

sin necesidad de viajar hacia el norte; sobreviven realizando movimientos temporales entre los bosques de cactáceas, que junto con los agaves producen floraciones importantes durante la primavera y el verano, y las selvas bajas caducifolias vecinas, donde un conjunto de cactáceas columnares, agaves y árboles producen floraciones abundantes durante el otoño y el invierno, como se ha comprobado en el valle de Tehuacán.<sup>5</sup> En esta región, además, se ha observado que las rutas de movimiento estacional dependen de la disponibilidad de recursos y que los murciélagos son capaces de cambiar las rutas en función de la abundancia regional de flores en el trópico.

## En el valle de Tehuacán

Singular es la relación mutualista establecida entre plantas y murciélagos en el valle de Tehuacán, Puebla, donde crecen varias especies de cactáceas columnares, gracias a cuya fruta, comestible para los murciélagos nectarívoros regionales, se han formado asociaciones de especies de cactáceas columnares. Entre las más destacadas se encuentran el cardón (*Pachycereus webery*), cactácea candelabriforme que puede producir hasta 842 kg de fruta por hectárea en temporadas de baja producción.

Otras cactáceas importantes son las *Neobuxbaumia tetetzo* y *N. mezcalaensis*, que pueden producir cerca de 500 kg de fruta por hectárea. En estas consideraciones también deben tomarse en cuenta al xoconoxtle (*Stenocereus stellatus*) y la pitaya (*S. pruinosus*), los cuales producen frutos consumidos por los murciélagos. Estas plantas pueden crecer en estado silvestre, pero cultivadas pueden producir más de 10 toneladas de fruta por hectárea.

## Referencias

Rojas-Martínez, Alberto E. "Determinación de los movimientos altitudinales estacionales de tres especies de murciélagos nectarívoros (Phyllostomidae: Glossophaginae) en el valle de Tehuacán y la cuenca del Balsas, México". Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 2001.

Sa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. UAM-Xochimilco. Aprovechamiento del Pitayo. Memorias del departamento de producción agrícola y animal de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud. UAM-Xochimilco, México, 1984.

1 Arta, H. y C. Martínez del Río. *Interacciones flor-murciélago: un enfoque zoológico*. Publicaciones Especiales núm. 4, Instituto de Biología/UNAM, México, 1990.

2 Fleming, T.H., A.R. Nuñez, y N.L. Sternberg. "Seasonal Changes in the Diets of Migrant and non Migrant Nectarivorous Bats as Revealed by Carbon Stable Isotope Analysis". *Oecologia* 96: 72-75, 1993.

4 Rojas-Martínez, A., A. Valiente-Banuet, Ma. del C. Arizmendi, A. Alcántara-Eguren y H. Arta. "Seasonal Distribution of the Long Nosed Bat (*Leptonycteris curasoae*) in North America: Does a Generalized Migration Pattern Really Exist?". *Journal of Biogeography* 26: 1065-1077, 1999.

5 Valiente-Banuet, A., Ma. del C. Arizmendi, A. Rojas-Martínez and L. Domínguez-Canseco. "Ecological Relationships Between Columnar Cacti and Nectar-Feeding Bats in Mexico". *Journal of Tropical Ecology* 12: 1-17, 1996.

*La intensidad con la que contribuyen al establecimiento y mantenimiento de las plantas permite afirmar que son los verdaderos diseñadores del paisaje en las regiones secas de México.*

### Fruta de cactáceas, alimento inesperado

En este panorama, debe considerarse también el descubrimiento de que los murciélagos nectarívoros pueden comer activamente la fruta de las cactáceas columnares, disponible en el centro de México cuando las flores son escasas. Así, los murciélagos nectarívoros adquieren importancia en los ecosistemas de las regiones tropicales secas de México no sólo porque polinizan, sino también porque son capaces de actuar como verdaderos dispersores de semillas.

Este fenómeno no se ha estudiado en las regiones desérticas debido a que se consideraba rara la existencia de fruta jugosa allí. Sin embargo, en el centro de México las cactáceas columnares pueden producir hasta una tonelada de fruta por hectárea.

### Sembrando en el desierto

Existe la idea de que la falta de agua y el alto grado de insolación son los factores que regulan de manera más importante el establecimiento de las plantas en los ambientes áridos. Por ejemplo, las espectaculares cactáceas columnares gigantes, que pueden llegar a medir más de 10m de altura, son incapaces de sobrevivir en sus primeras etapas de vida sin la ayuda y protección de la sombra de algunos matorrales del desierto. Éstos proyectan su sombra sobre el suelo, generando un microambiente favorable donde la insolación, la temperatura y la evaporación son menores y donde es posible la germinación de las semillas y el establecimiento de las plantulas de las cactáceas. Más tarde, cuando han alcanzado los 40cm de altura, las cac-

*El cardón (Neobuxbaumia mezcalaensis) es una cactácea no ramificada capaz de producir cientos de flores y frutos a lo largo de su tallo cada noche.*

Foto: José Antonio Soriano Sánchez



*Murciélago nectarívoro alimentándose de frutos de tetecho (Neobuxbaumia mezcalaensis) en el valle de Tehuacan.*

táceas son capaces de sobrevivir a las inclemencias del desierto sin la ayuda de la sombra protectora. La parte espectacular de este proceso está representada por los murciélagos, los cuales depositan las semillas a la sombra de los matorrales, defecándolas después de posarse bajo sus ramas. Lo anterior permite a los murciélagos descansar y vaciar el intestino antes de volver a alimentarse.<sup>3</sup>

No hay duda de que los murciélagos polinizadores son animales fundamentales para la conservación de la naturaleza. El papel que juegan en los ecosistemas semiáridos y áridos de México revela que sus actividades alimenticias favorecen intensamente a la comunidad vegetal, tal y como lo hacen otros murciélagos en las selvas tropicales húmedas. La intensidad con la que contribuyen al establecimiento y mantenimiento de las plantas permite afirmar que son los verdaderos diseñadores del paisaje en las regiones secas de México, dominado por cactáceas y magueyes. De ahí que su conservación implique igualmente mantener en buenas condiciones los tipos de vegetación que los alimenta durante todo el año: bosques de cactáceas, selvas bajas caducifolias y ambientes montañosos favorables para los magueyes.

### Un punto a resaltar

Es necesario que abandonemos la idea equivocada de que los murciélagos son alimañas nocturnas que se alimentan de sangre. Esta concepción delata la profunda ignorancia que tenemos acerca de ellos. Sólo se requiere de un poco de interés por conocerlos para descubrir que en México existen cerca de 140 especies, de las cuales sólo tres causan

<sup>3</sup> Godínez-Alvarez, H. y A. Valiente-Banuet. "Fruit-Feeding Behavior of the *Leptonycteris Curassae* and *Choronycteris Mexicana* in Flight Cage Experiments: Consequences for Dispersal of Columnar Cactus Seeds". *Biological Conservation* 32:552-556, 2000.

*La conservación de los murciélagos implica igualmente mantener en buenas condiciones los tipos de vegetación que los alimenta durante todo el año: bosques de cactáceas, selvas bajas caducifolias y ambientes montañosos favorables para los magueyes.*



Foto: José Antonio Soriano Sánchez

Bosque de cactáceas (*Neobuxbaumia tetetzo*) en Zapotitlán Salinas, Puebla.

problemas económicos al alimentarse de la sangre de los animales domésticos. El resto es realmente útil. Sin él, la estructura de la vegetación –tanto en los ambientes húmedos como secos– cambiaría y se empobrecería notablemente. Los murciélagos son, en realidad, poderosos aliados del ser humano en su esfuerzo por conservar la naturaleza. ●

### Agradecimientos

Agradezco los valiosos comentarios del doctor Héctor O. Godínez Álvarez que contribuyeron a mejorar la redacción de este trabajo. También al doctor Alfonso Valiente-Banuet, pionero en el estudio de las interacciones entre murciélagos y cactáceas columnares en México. Esta publicación es un resultado del programa de Apoyo a la Incorporación de Nuevos Profesores de Tiempo Completo del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP–UAEH).

### Bibliografía

Casas, A., A. Valiente-Banuet, J. L. Viveros, J. Caballero, L. Cortez, P. Dávila, R. Llira e I. Rodríguez. "Plant Resources of the Tehuacan-Cuicatlan Valley, Mexico", *Economic Botany* 55: 129-166, 2000.

*Los frutos de muchas cactáceas se abren espontáneamente por la noche para facilitar la alimentación de los murciélagos.*

Foto: José Antonio Soriano Sánchez

Alberto Enrique Rojas Martínez es doctor en Ciencias (Biología) de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Realizó sus investigaciones de Maestría y Doctorado en el Laboratorio de Ecología de Comunidades del Instituto de Ecología de la UNAM. Es catedrático del posgrado en Recursos Bióticos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Es autor de diferentes artículos nacionales e internacionales. Ha sido becario de Conacyt para estudios de doctorado y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel I, [aerojas@uah.edu.mx](mailto:aerojas@uah.edu.mx)





# Contaminación atmosférica

## por partículas suspendidas en la ZMCM

ELIZABETH REYES ZARATE  
ELIZABETH VEGA RANGEL  
GABRIELA SANCHEZ REYNA  
VIOLETA MÚGICA ALVAREZ

La contaminación del aire puede ser definida como cualquier condición atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones elevadas sobre su nivel ambiental normal como para producir un efecto nocivo en el hombre, los animales, la vegetación y los materiales. En la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), las partículas suspendidas representan un problema grave de contaminación atmosférica, cuyo origen puede deberse a procesos naturales (por ejemplo, la erosión del suelo) o antropogénicos (como las emisiones vehiculares).

Para poder establecer estrategias de control de emisiones de partículas, es necesario llevar a cabo estudios en los que se incluyan mediciones y aplicación de modelos matemáticos cuyos resultados ayuden a identificar el origen y distribución de las emisiones de partículas a la atmósfera. Uno de los niveles más graves de contaminación por partículas suspendidas se da en la ZMCM, por ello presentamos una revisión bibliográfica y una síntesis de los estudios que en la última década han realizado diversos grupos de investigación.



Identificación de fuentes que afectan al receptor

La contaminación ambiental por partículas se refiere a una mezcla suspendida en la atmósfera de corpúsculos sólidos y líquidos, cuyos componentes generalmente varían en tamaño, origen y composición. Si bien algunas de estas partículas han sido siempre parte natural de la atmósfera, su exceso ya no lo es. Éste es resultado de procesos tan variados como erosión del suelo (por el viento o la lluvia); incendios forestales; desprendimiento del polen de la vegetación y erupciones volcánicas, entre otros. Se le conoce con el nombre de *contaminación por partículas suspendidas*.

### Partículas contaminantes: tamaño, origen y composición

Las partículas son parte de un material disperso y miden entre 0.002 y 100 micrómetros. Varían de acuerdo a propiedades físicas y químicas. Dentro de las propiedades físicas, tenemos que las partículas *finas* (menores a 2.5 micrómetros, PM 2.5) se comportan como gas o vapor y están sujetas al movimiento browniano, fluyen aerodinámicamente y son capaces de coagularse y condensarse. Las más grandes (mayores a 10 micrómetros) están muy influenciadas por la gravedad y rara vez se aglomeran o condensan.

Por su tamaño, las partículas ultrafinas (diámetro menor a 0.1 micrómetros) se mantienen en suspensión por largos periodos, ya que la interacción de sus fuerzas moleculares las mantiene en constante movimiento y flotando en el aire. Las partículas con diámetro entre 0.1 y 20 micrómetros tienen una fuerza de sedimentación pequeña, comparada a la del viento, que las levanta y mantiene suspendidas. A ellas pertenecen las PM 2.5 y las menores a 10 micrómetros (PM 10). Finalmente, aquellas con un diámetro mayor a 20 micrómetros tienen velocidades de asentamiento significativas, por lo que se eliminan rápidamente por gravedad y otros procesos de inercia.

Las partículas con diámetro mayor o igual a 2.5 micrómetros, y menores a 10, son conocidas como *fracción gruesa*. Las menores a 2.5 micrómetros, como *fracción fina*. Las primeras se generan principalmente por procesos mecánicos que producen polvos (prácticas agrícolas, tráfico vehicular, etc.) y se suspenden gracias a la acción del viento. Son removidas eficientemente con procesos de sedimentación y tienen promedios de vida que varían de minutos a horas. Las partículas de la fracción fina provienen ge-

neralmente de la quema de combustibles fósiles en calentadores industriales, automóviles y sistemas de calefacción residencial. Una fracción importante es producida en la atmósfera a través de la conversión química de emisiones naturales y antropogénicas (SO<sub>2</sub>, compuestos orgánicos reactivos, amoníaco, etc.). La formación de partículas finas ocurre principalmente por condensación de vapores a alta temperatura durante la combustión, y generalmente están integradas por las cenizas del combustible.

Químicamente, el comportamiento de las partículas se determina por la composición individual de cada una o por el tipo de gases que pueden absorber sobre su superficie. En algunos casos, la combinación partículas-gases absorbidos produce un efecto sinérgico (es decir, efectos que se suman y, por lo tanto, producen un efecto más potente).

Las partículas de interés para la evaluación de la calidad del aire son aquellas que se mantienen suspendidas en la atmósfera, y el tiempo que duran en ella depende principalmente de su tamaño, aunque también su origen y composición son factores importantes para diferenciarlas.

La composición de las partículas suele ser muy variada, ya que contienen todo tipo de compuestos orgánicos e inorgánicos. Entre los primeros, algunos de los más comunes son fenoles, ácidos orgánicos y alcoholes. En cuanto los segundos, incluyen nitratos, sulfatos y metales, como plomo, hierro, manganeso, zinc y vanadio.

Los principales componentes de las partículas de fracción gruesa son silicio, aluminio, magnesio, ceniza, material biológico (polen, esporas) y sal marina. En la superficie de las partículas de fracción fina principalmente se pueden encontrar absorbidos metales pesados (plomo, cadmio, etc.) e hidrocarburos aromáticos policíclicos.

### Efectos en la salud

Los resultados de los primeros estudios acerca de contaminación atmosférica en el mundo mostraron evidencias irrefutables de que las partículas en suspensión son las fuentes principales de alteraciones en la salud humana, debido precisamente a su asociación con metales pesados, hidrocarburos tóxicos y patógenos fecales. La exposición a ellas puede causar deterioro en las funciones pulmonares, aumentando la frecuencia de las enfermedades respiratorias. En concentraciones muy elevadas, ciertas partículas

*Recientemente los estudios han demostrado que las partículas de fracción fina tienen importantes implicaciones en la salud: debido a su tamaño pueden llegar a lo más profundo del sistema respiratorio y causar asma y enfisema pulmonar, en casos graves, además de otras enfermedades.*

como el asbesto pueden provocar cáncer de pulmón y muerte prematura. Específicamente, pueden tener los siguientes efectos: consecuencias tóxicas por sus inherentes características físicas, químicas o ambas; interferencia con uno o más mecanismos del aparato respiratorio, y actuar como vehículo de una sustancia tóxica absorbida o adherida a su superficie.

El depósito de las partículas en el organismo depende en gran medida de las características de las mismas (tamaño, densidad y solubilidad) y de cómo ingresan al aparato respiratorio, por la boca o la nariz. Una vez depositadas, pueden causar daños fisiológicos considerables ya que sus componentes son potencialmente tóxicos e inician enfermedades o agravan síntomas anteriores.

La exposición a las PM10 ha generado en los últimos años una creciente preocupación, ya que se ha demostrado una alianza significativa entre su concentración ambiental y la mortalidad y morbilidad de las poblaciones. Se ha encontrado un incremento de 3% en el índice diario de mortandad por cada aumento de 10 micrómetros por metro cúbico, a partir de la norma oficial (150 micrómetros por metro cúbico en un promedio de 24 horas), que se relaciona con cánceres cardiopulmonares o de pulmón.

Recientemente los estudios han demostrado que las partículas de fracción fina tienen importantes implicaciones en la salud: debido a su tamaño pueden llegar a lo más profundo del sistema respiratorio y causar asma y enfisema pulmonar, en casos graves, además de otras enfermedades.

### **Partículas y salud<sup>1</sup>**

Los efectos de las partículas en la salud dependen también de sus principales componentes. Los metales tienen propiedades citotóxicas e inflamatorias, particularmente los de transición reactiva (vanadio, cobre, hierro, platino, etc.). Los efectos se asocian principalmente a la fracción metálica soluble y pueden estar relacionados con la capacidad de estos metales de producir radicales libres en los tejidos. En laboratorio se han llevado a cabo ensayos con animales que inhalan altas dosis de ceniza residual de petróleo y se ha observado que sus células y pulmones se envenenan hasta

llegar a adquirir verdaderas anomalías fisiológicas y la muerte. Diversos estudios realizados en el valle de Utah, Estados Unidos, con partículas provenientes de fundidoras de hierro, apoyan estas observaciones.

Las partículas ácidas tienen efectos nocivos por su concentración de ion hidrógeno, liberado en las superficies de los diversos órganos del aparato respiratorio. Sin embargo, existen pocas evidencias de su papel en el deterioro de la salud y de sus efectos.

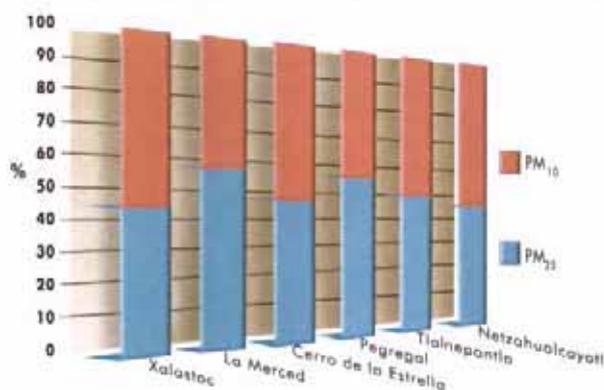
Por otro lado, las partículas presentes en la atmósfera tienen numerosos compuestos orgánicos, los cuales se forman a partir de vapores orgánicos volátiles y semivolátiles, que se condensan en la atmósfera, y por la adsorción de vapores en una partícula preexistente. Se especula que los constituyentes orgánicos pueden actuar como irritantes o alergénicos, solos o en combinación con otros constituyentes. En las investigaciones en laboratorio, donde se ha expuesto a animales a altas dosis de partículas con este tipo de compuestos, se ha encontrado que hay especies mutagénicas productoras de cáncer. En la ZMCM, las partículas PM 2.5 contienen en promedio 32% de carbono orgánico, principalmente emitido por procesos de combustión vehicular.

Se sabe que los nitratos y sulfatos pueden ser tóxicos. El azufre orgánico e inorgánico y los compuestos de nitrógeno, importantes constituyentes de las partículas, tienen propiedades irritantes, citotóxicas y mutagénicas. En la ZMCM, las PM 2.5 contienen un promedio de 10% de nitratos y 19% de sulfatos. La zona del Pedregal, al sur de la Ciudad de México, es la que presenta estos compuestos con mayor abundancia (16 y 25%, respectivamente), tal vez por su alta afluencia de vehículos ligeros.

Otro componente a considerar es el carbón elemental u hollín; causa irritación en los tejidos, aunque su principal efecto nocivo en la salud consiste en la formación de una matriz con compuestos orgánicos e inorgánicos absorbidos. A corto plazo, tiene propiedades irritantes, y a largo, mutagénicas y carcinogénicas, dependiendo de la dosis a la que las personas se hayan expuesto. En la ZMCM, las PM 2.5 contienen un promedio de 15% de hollín. En Xalostoc, Iztapalapa, es donde se ha registrado un porcentaje mayor (20%), probablemente porque es zona industrial con avenidas intensamente transitadas por trailers, camiones de carga y transporte suburbano, vehículos que utilizan diesel como combustible.

<sup>1</sup> EPA, Environmental Protection Agency. Atmospheric Observations: Helping Build the Scientific Basis for Decisions Related to Airborne Particulate Matter. Report of the PM Measurements Research Workshop, North Carolina, 1998.

## Porcentaje de registros de partículas suspendidas totales en la ZMCM



### Partículas y visibilidad

Las partículas también muestran efectos sobre la visibilidad, reduciéndola al intervenir con la luz, especialmente las menores a 2.5 micrómetros. Esto se conoce como disminución de la visibilidad y se refiere a la reducción de la distancia máxima a la cual puede ser identificado a simple vista un objeto durante el día. Se debe a la absorción y dispersión de la luz por las partículas, según el tipo y tamaño de éstas. Las más finas son responsables de una mayor absorción. Además, la presencia de humedad junto a aquellas constituidas por nitratos y sulfatos incrementa el efecto de dispersión de la luz. Así, la reducción de la visibilidad es mayor cuando existe en la atmósfera una humedad relativa considerable.

### Calidad del aire y partículas

Para conocer el estado de la calidad del aire con respecto a las partículas suspendidas totales (PST, menores o iguales a 30 micrómetros) en la ZMCM, se utiliza la información de un sistema manual de monitoreo instalado en cinco estaciones de medición del Gobierno del Distrito Federal (GDF): Xalostoc, La Merced, Tlalnepanitla, Pegregal y Cerro de la Estrella. Los reportes publicados por la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación (DGPC) del GDF, mencionan que en términos generales 27% de los registros rebasaron en 1999 la norma aritmética anual. En julio de 2000, 14% de los registros de PST estuvieron por encima del valor normativo (260 micrómetros por metro cuadrado en 24 horas) y Xalostoc presentó los valores más altos.

Para evaluar la calidad del aire con respecto a las PM 10, la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) del GDF instaló desde 1995 medidores continuos de PM 10 en diez estaciones: Xalostoc, Netzahualcōyotl, Tlalnepanitla, La Merced, Cerro de la Estrella, Pegregal, Villa de las Flores, Tultitlán, La Villa y Tláhuac. Los resultados se publicaron en el Informe Anual de la Calidad del Aire en el Valle de México de 1999 y mostraron 10% del total sobre la norma (150 micrómetros por metro cúbico en promedio por cada 24 horas). Nuevamente fue Xalostoc la estación que registró mayor nivel de PM 10.

Desde septiembre de 2000, la RAMA instaló en dos sitios medidores continuos de PM 2.5, en Santa Úrsula y Azcapotzalco. Este es un primer paso para conocer el comportamiento de estas partículas, y que no hay datos o referencias con respecto a ello en la ZMCM o en otra ciudad del país. Apenas el Comité de Normas terminó la elaboración de una específica para ellas, que actualmente está en espera de ser publicada. En Estados Unidos ya hay una propuesta: 65 micrómetros sobre metro cúbico en promedio, por cada 24 horas.

Otro indicador de la calidad del aire es el Inventario de Emisiones (IE), herramienta útil que permite conocer el aporte de contaminantes a la atmósfera debido a las diferentes actividades que se llevan a cabo en sitios específicos. El IE de 1996 incluyó por primera vez las emisiones PM 10. Los factores de emisión empleados se obtuvieron del documento *Compilation of Air Pollutant Emission Factor* o AP-42 de la EPA. Según esto, la principal fuente de emisión de PM 10 es natural: la erosión de suelos (más de 53%). Le siguen el transporte (28%) y la industria (17%).

El IE de 1998 fue publicado en el Informe Anual de la Calidad del Aire en el Valle de México de 1999 y en él se reportan por primera vez las emisiones PM 2.5 en la ZMCM, atribuidas únicamente a las actividades de combustión en el sector servicio (54 toneladas al año). Sin embargo, la información es preliminar.

### ZMCM: medición de partículas

Existen diversos grupos de investigación interesados en conocer el problema de la contaminación atmosférica por partículas en la ZMCM. En el Cuadro 1 se muestran los equipos de trabajo y las instituciones responsables de algunas publicaciones relativas realizadas durante desde 1990. La mayoría de estas investigaciones están enfocadas al análisis gravimétrico de muestras de PST, aunque últimamente se han realizado estudios del aire con la fracción gruesa y con la fina. Desgraciadamente, a pesar del esfuerzo realizado por autoridades y equipos de investigación, los resultados no han sido aún suficientes para establecer el origen de las partículas y son muy pocos los que reportan la composición química de las muestras.

**Cuadro 1. Estudios publicados sobre partículas durante los últimos 12 años en la ZMCM**

Grupo de trabajo	Tamaño partícula/medición/sitios
Francisca Aldape y col. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colección de partículas TSP desde 1988, y fracción fina y gruesa a partir de 1993.</li> <li>• Análisis elemental mediante la técnica de emisión de rayos X por la inducción de protones (PIXE, por sus siglas en inglés).</li> <li>• Medición de partículas en diferentes sitios: Parque de Chapultepec, Museo de la Ciudad de México, Plateros, Xalostoc.</li> </ul>
Javier Miranda y col. Universidad Nacional Autónoma de México.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colección de partículas finas y gruesas desde 1990.</li> <li>• Análisis elemental mediante la técnica de PIXE.</li> <li>• Medición de partículas en diferentes sitios: Museo Tecnológico de Chapultepec e Instituto Mexicano del Petróleo.</li> </ul>
Flores J. y col. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colección de partículas finas y gruesas en el verano/96 e invierno/97.</li> <li>• Análisis elemental mediante la técnica de PIXE.</li> <li>• Medición de partículas en el área de Xalostoc.</li> </ul>
Pablo Cicero Fernández y col. School of Public Health, University of California.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colección de partículas PM10 y PST en marzo /88 a marzo/89</li> <li>• Análisis gravimétrico.</li> <li>• Mediciones en diferentes sitios.</li> <li>• Campañas de muestreo.</li> </ul>
Carlos Santos Burgon y col. Escuela de Salud Pública de México, Instituto de Salud Pública.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de PM10 en extra e intramuros, y monitoreo personal.</li> <li>• Análisis gravimétrico</li> <li>• La zona de estudio fue en un diámetro de 3Km de la estación La Merced.</li> <li>• Estudio realizado de 1990 a 1993.</li> <li>• Elaboración de encuestas de vivienda, síntomas respiratorios y un diario de tiempo-actividad.</li> </ul>
Uribe Hernández R. y col. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, INI.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se determinó la influencia del plomo en la atmósfera en una población de niños en la ZMCM.</li> <li>• Determinación de plomo en sangre.</li> <li>• Medición de TSP.</li> <li>• Análisis elemental mediante la técnica de PIXE.</li> <li>• Campaña de muestreo de septiembre/92 a junio/93.</li> </ul>
Victor Borja Aburto y col. Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados, INI.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de la relación partículas-mortalidad.</li> <li>• Medición de PM10 y PM2.5.</li> <li>• Análisis gravimétrico</li> <li>• Campaña de muestreo de enero/93 a julio/95.</li> <li>• Se obtuvieron los registros de muerte en 6 delegaciones del DF</li> <li>• Muestreo en 6 delegaciones de la Ciudad de México (Alvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan).</li> </ul>
Margarita Castillejos y Armando Retama. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de PM10, PM10-PM2.5 y PM2.5</li> <li>• Los muestreos fueron en Netzahualcoyotl, Tlalnepanitla, La Villa, Azcapotzalco y Cerro de la Estrella.</li> <li>• Evaluación del posible impacto de diversas fuentes a través del comportamiento de vientos en las regiones de estudio. Utilización del modelo ISCST3.</li> <li>• La campaña fue de septiembre/98 a marzo/99.</li> </ul>
Eltzabeth Vega Rangel y col. Instituto Mexicano del Petróleo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de PM10 en 31 sitios y de PM2.5 en 6 sitios de la ZMCM (La Merced, Xalostoc, Cerro de la Estrella, Pedregal, Tlalnepanitla y Netzahualcoyotl) en febrero-marzo/97.</li> <li>• Análisis gravimétrico</li> <li>• Determinación de la composición química (iones, elementos, carbono orgánico e inorgánico por diversas técnicas analíticas).</li> <li>• Caracterización de diversas fuentes de emisión de PM2.5 y PM10 de septiembre/97 a marzo/98.</li> <li>• Determinación de la contribución de PM2.5 al aire mediante el modelo de balance de masa de especies químicas.</li> </ul>

## Control y acción

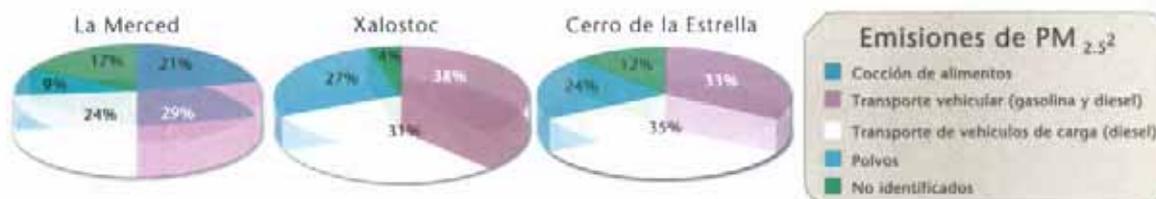
Como consecuencia de la agudización del problema de la contaminación del aire en la ZMCM, el gobierno ha establecido una serie de medidas cuyo resultado es necesario evaluar. Representó el primer esfuerzo destinado a detener el deterioro de la calidad del aire en la zona metropolitana del DF el programa conocido como Las 21 medidas y las 10 acciones, establecido durante el sexenio 1982-1988.

En octubre de 1990, se incrementó el Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), con base en cinco estrategias: 1) investigación local y ambiental; 2) mejora de la calidad de los combustibles; 3) mejora del

transporte colectivo y limpieza del mismo; 4) modernización de la industria y control de emisiones; y 5) restauración ambiental del valle de México.

Pero la complejidad del problema contaminante requirió de algo más que la aplicación de medidas. Por ello, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y el Laboratorio Nacional de Los Álamos (LNLA), Estados Unidos, crearon el Estudio Global de la Calidad del Aire (AGCA) con la participación de instituciones públicas y privadas. El AGCA representó un importante herramienta de apoyo para evaluar el efecto de las estrategias de control y auxiliar para quienes deciden y diseñan las políticas adecuadas.

## Resultados del modelo receptor de Balance de Masas de Especies Químicas, ZMCM 1989-1990.



Posteriormente, el programa para mejorar la calidad del aire en el valle de México 1995-2000<sup>2</sup> completó las acciones del PICCA e inició otras, en las cuales se incluye a todos los sectores sociales.

### Alternativas de control

Las concentraciones de las partículas en la atmósfera se deben a factores como emisiones del transporte, procesos industriales, efecto eólico, transformación química y acumulación. Sin embargo, el conocimiento detallado de la contribución de partículas a la atmósfera por cada fuente no es claro, por lo que el estudio de la contaminación atmosférica se vuelve una actividad importante y compleja a la vez, al demandar una instrumentación y aplicación de métodos bien definidos, simplificadas con el uso de modelos matemáticos.

Una de las herramientas útiles para conocer el origen y la distribución de las partículas en la atmósfera es el Modelo Receptor de Balance de Masas de Especies Químicas (CMB, por sus siglas en inglés). Su fundamento es el hecho de que la concentración total de una especie química encontrada en un sitio receptor es la combinación de la contribución individual de diferentes fuentes. Para utilizarlo se requiere la caracterización química de las partículas en sitios receptores y de los perfiles de emisión, provenientes de cada fuente.

El CMB ha sido ampliamente usado para conocer la contribución de partículas de fracción gruesa y fina en el seguimiento de las estrategias de control en Estados Unidos y sus resultados han permitido validar los inventarios de emisiones locales en ese país. En México, el IMP ha realizado estudios con bases de datos de partículas suspendidas. Cabe mencionar que en estos trabajos se utilizaron perfiles de emisión determinados en la ZMCM y los reportados en la biblioteca de la EPA, específicamente en la del Sistema de Datos de Especiación (SPECIATE), la cual contiene la composición química de las emisiones de los procesos que se llevan a cabo en Estados Unidos.

En un estudio realizado por Vega y col.<sup>3</sup> se aplicó el modelo CMB a 33 muestras obtenidas entre diciembre de

1989 y febrero de 1990 y se utilizaron los perfiles de emisión del SPECIATE y un perfil local de suelo de la ZMCM. Los resultados mostraron que las fuentes con mayor aportación de PM<sub>2.5</sub> a la atmósfera eran los vehículos con convertidor catalítico, seguido de los aerosoles secundarios (nitratos y sulfatos) y del polvo suspendido. La masa calculada por el modelo fue muy similar a la medida en el sitio receptor, a 5 km del centro de la Ciudad de México.

En un estudio más reciente sobre origen y distribución de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en la ZMCM, el IMP y el Desert Research Institute de Reno, Nevada, establecieron un proyecto denominado Investigación sobre Materia Particulada y Deterioro Atmosférico (IMADA). Dentro de sus objetivos estaba determinar la contribución de cada fuente de partículas a la atmósfera mediante la aplicación del CMB, con perfiles de emisión para la ZMCM. Como primera etapa se llevó a cabo una campaña intensiva de monitoreo atmosférico de partículas en diferentes sitios durante 28 días (del 23 de febrero al 22 de marzo de 1997).<sup>4</sup> De septiembre de 1997 a marzo de 1998 se desarrolló la segunda etapa, que consistió en determinar el perfil de emisión de diversas fuentes, como vehículos que usen gasolina y diesel, efectos de la cocción de alimentos y suspensión de polvos.<sup>5</sup>

Actualmente se cuenta con 36 perfiles de emisión para ambos tamaños de partículas, determinados para la ZMCM. Al aplicar el CMB, los resultados mostraron en general que más de 50% de las emisiones vehiculares fueron las principales fuentes de emisión PM<sub>2.5</sub>. Determinado al aplicar el modelo, el porcentaje de contribución de PM<sub>2.5</sub> por diversas fuentes mostró diferencias en cada lugar. En Pedregal, la contribución de partículas PM<sub>2.5</sub> por mezcla de emisiones de vehículos con gasolina y diesel era de 70%. En La Merced se encontró que la emisión de partículas finas por la cocción de alimentos era de alrededor de 30%. En Tlalnepanitla y Netzahualcóyotl se descubrió que alrededor de 40% de PM<sub>2.5</sub> provenía de polvos.<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Edgerton, S. y col. "Particulate Air Pollution in Mexico City: A Collaborative Research Project", Journal of Air & Waste Management Association, Pittsburgh, P.A., USA, 1999, 49:1221-1229.

<sup>5</sup> Vega, F., V. Mugica, E. Reyes, G. Sánchez, J.C. Chow, y J.G. Watson "Chemical Composition of Fugitive Dust Emitters in Mexico City", Atmospheric Environment, Norwich, UK, 2001, 35:4033-4039.

<sup>6</sup> Reyes Zarate, S. Elizabeth. Determinación de los perfiles de emisión del material particulado en la ZMCM e identificación de fuentes emisoras mediante un Modelo de Balance de Masa de Especies Químicas. Tesis de maestría. 1566-195. México, 2001.

<sup>2</sup> PROAIR "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000", Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México y Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del DF, México, 1997.

<sup>3</sup> Vega, F., I. García, D. Apam, M. Ruiz y M. Barbaux. "Application of a Chemical Mass Balance Receptor Model to Respirable Particulate Matter in Mexico City", Journal of the Air & Waste Management Association, Pittsburgh, P.A., USA, 1997, 47:524-529.

*Es necesario estudiar los mecanismos de la dinámica atmosférica para controlar y prevenir el deterioro de la calidad del aire en la Ciudad de México, en constante e ilimitado crecimiento.*

## Conclusiones

Los problemas derivados de la contaminación ambiental dependen en gran medida de los patrones de comportamiento de la sociedad, mismos que han provocado una creciente lista de efectos en la calidad del aire. Resulta imposible ignorar la importancia del desarrollo tecnológico en la vida productiva del ser humano, pero es imprescindible reconocer sus resultados graves. Hoy es necesario estudiar los mecanismos de la dinámica atmosférica para controlar y prevenir el deterioro de la calidad del aire de la Ciudad de México, en constante e ilimitado crecimiento.

El modelo CMB ha mostrado ser una herramienta útil para determinar con mayor certidumbre el aporte de las partículas a la atmósfera. Sin embargo, es necesario dar seguimiento a las campañas ambientales también. De ser posible, el muestreo debe ser rutinario, así como la caracterización química. Sólo con ello se puede verdaderamente aplicar el modelo y conocer el impacto de las partículas en cada lugar. Por otra parte, también es necesario evaluar los procesos industriales, ya que la emisión de las partículas de este sector y sus componentes químicos son poco conocidos. ●

## Bibliografía

- Wark, Kenneth y Warner, Cecil E. *Contaminación del aire. Origen y control*, Limusa, México, 1996.
- Paevy, Howard; Rowe Donald y Tchobanoglous. *Environmental Engineering*, McGraw-Hill International, Civil Engineering Series, New York, USA, 1985.
- Colin, Baird. *Environmental Chemistry*, W.H. Freeman & Co., New York, USA, 1995.
- Finlayson-Pitts, B. y J. Pitts. *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1986.

**Elizabeth Reyes Zárate** es maestra en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental del Instituto Politécnico Nacional. En 1999 se incorporó al Programa de Investigación de Medio Ambiente y Seguridad del Instituto

Mexicano del Petróleo. Ha colaborado en diferentes proyectos de investigación sobre calidad del aire enfocados principalmente al problema de contaminación atmosférica por hidrocarburos y partículas. Actualmente participa en proyectos de investigación encaminados a determinar el origen y distribución de las partículas en el aire con la aplicación del modelo de balance de masa de especies químicas (CMB).

**Elizabeth Vega Rangel** es maestra en Ciencias en Protección Radiológica y Ambiental de la Universidad de Surrey. Actualmente participa en el Programa de Investigación de Medio Ambiente y Seguridad donde desarrolla actividades de investigación en el área de modelos de receptor, así como en la determinación de perfiles de emisión de partículas e hidrocarburos. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel 1 y participa como asesor científico en el Comité de Normas para Ozono (NOM-020-SSA1-1993) y Partículas (NOM-025-SSA1-1993).

**Gabriela Sánchez Reyna** es bióloga egresada de la UNAM con estudios de posgrado en el IPN en el área de ingeniería ambiental. Su trabajo se ha centrado en la investigación de la contaminación atmosférica por compuestos orgánicos volátiles y partículas en la Ciudad de México mediante el uso de modelos de receptor. Ha participado en congresos nacionales e internacionales y publicado varios artículos en revistas de prestigio.

**Violeta Múgica Álvarez** es maestra en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha coordinado diversos cursos especiales con la industria y sectores de gobierno relacionados con la contaminación y el control ambiental. En 1997 participó en el diseño del posgrado en Ciencias e Ingeniería Ambientales en la UAM-Azcapotzalco del cual es profesora investigadora (desde 1981) y miembro del comité de estudios. Actualmente dirige varios proyectos relacionados con las Ciencias Ambientales. Es autora del libro *Contaminación atmosférica*, Ed. UAM-Azcapotzalco.

# Ciencia mexicana en Europa

## *Tecnología y calidad para la instrumentación astronómica mundial*

La cuenta regresiva ha comenzado. Los árbitros técnicos internacionales que califican los procesos de fabricación del Gran Telescopio de Canarias (Grantecan), España, estarán en la ciudad de Querétaro durante los primeros días de marzo para llevar a cabo la etapa de aceptación en fábrica, la cual consiste en revisar el funcionamiento adecuado de la Cámara de Verificación, el instrumento tecnológico que será la aportación de científicos mexicanos al Grantecan.

El equipo que creó la Cámara de Verificación para el Gran Telescopio de Canarias está encabezado por la maestra Beatriz Sánchez y Sánchez, directora general del proyecto; el ingeniero Vicente Bringas Rico, líder del proyecto por el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), en la parte de mecánica; y el doctor Salvador Cuevas Cardona, líder a su vez por parte del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), en el área de técnica-óptica. Junto con el ingeniero Ángel Ramírez Vázquez, director general de CIDESI, ellos comparten con los lectores de *Ciencia y Desarrollo* su entusiasmo por ver concretado un proyecto madurado con el tiempo. Aunque no definen una fecha exacta en su realización, sostienen que es el resultado de años de trabajo, primero de manera desarticulada, pero estructurado hasta su forma actual gracias a la colaboración, confianza y experiencia de un equipo de trabajo comprometido no sólo con sus instituciones de origen, sino también con la ciencia del país.

Fotos: Dante Bucio



Cuando los científicos del IA-UNAM y los técnicos del CIDESI integren todo el sistema, la Cámara será sometida a pruebas exhaustivas, en las que se debe demostrar que funciona con precisión. Posteriormente, la Cámara de Verificación será desarmada y enviada a Canarias, junto con la documentación y la información necesaria acerca de su mantenimiento. Finalmente, la prueba de fuego será probar la Cámara de Verificación ya instalada en el Gran Telescopio de Canarias.

Cómo investigadores mexicanos se involucraron en este gran proyecto y cómo dos instituciones de alto nivel se reunieron para hacer esta propuesta, son las preguntas que los líderes de construcción de dicha Cámara responden a continuación.

### Alta tecnología mexicana

Un instrumento astronómico es único, tiene una serie de requerimientos muy particulares, que dependen de las investigaciones que los astrónomos quieren hacer. Cuando alguien comienza a trabajar encuentra que los instrumentos existentes han sido desarrollados para otros telescopios, y no pueden ser fácilmente adaptados a los nuevos. Esta situación llevó al IA-UNAM a integrar grupos astronómicos para formar cuadros técnicos que permitieran este desarrollo instrumental en México.

Por su parte, el doctor Cuevas Cardona conoció y mantuvo contacto con los desarrolladores del Grantecan, interesados en tener en ese telescopio —el más grande del mundo en su tipo cuando entre en operación— un instrumento para óptica adaptativa con la finalidad de mejorar la calidad de la imagen y, por ende, del telescopio.

En el proceso de desarrollo del Grantecan, el doctor Cuevas hizo propuestas específicas para mejorar la Cámara de Commissioning. Planteaba que en lugar de tener un solo método de calibración tuviese uno que él había estado desarrollando. Luego de comprobar la pertinencia de dicha propuesta, la



De izquierda a derecha: Dr. Salvador Cuevas Cardona, Dra. Beatriz Sánchez y Sánchez, Ing. Ángel Ramírez Vázquez e Ing. Vicente Bringas Rico.

gente de Grantecan aceptó y procedió a realizar la licitación internacional en la que participaron IAUNAM-CIDESI. Así comenzó una historia de colaboración que vincula de manera efectiva los conocimientos de la ciencia y la aplicación de la técnica en un resultado tecnológico de alta calidad.

Pero ¿qué es la Cámara de Verificación que nos ocupa? Lo explica el doctor Salvador Cuevas. "Para fabricar o construir con calidad se requiere de una metodología, y ésta a su vez, de una verificación. Particularmente, en el telescopio de Canarias todos los procesos de la instrumentación tienen que ser verificados para, al final, revisar la calidad de imagen del telescopio y su comportamiento. En sí, su función es la de calificar la calidad del telescopio en la etapa final, después de haber comprobado todas y cada una de sus partes.

"Esta Cámara tiene la función de verificar que el telescopio pueda apuntarse hacia una estrella con la precisión que requieren los astrónomos; también tiene que demostrar que la superficie formada por todos los segmentos del espejo primario se comporten como si fuera una sola superficie lisa con determinadas especificaciones y permite explorar que no haya luz rebotada en el interior del telescopio y, con ello, forme imágenes parásitas o fantasmas", aclara el doctor Cuevas.

Cabe señalar que estas tareas se harán durante la etapa de integración y prueba del telescopio completo, antes de que los instrumentos científicos entren en operación. Posteriormente, la Cámara de Verificación se utilizará durante las temporadas de mantenimiento del telescopio.

"Un asunto que me llena de satisfacción es que esta Cámara de Verificación tiene un descubrimiento científico





obtenido en nuestro laboratorio de la UNAM, se trata del método que usaremos para verificar que la superficie compuesta por varios segmentos se comporte como si fuera solo una y lisa, ya puesta en el telescopio”, prosigue el Dr. Cuevas.

El Grantecan es un telescopio de espejo primario segmentado de 10.4 metros de diámetro y está compuesto por 36 segmentos hexagonales de 1.80 metros cada uno (de esquina a esquina del hexágono). Alinear los segmentos es necesario porque la dimensión más grande que se puede construir en el espejo de un telescopio debe ser igual a lo que se puede transportar y manipular en un ancho de 8 metros. Al planear hacer telescopios más grandes no se puede sobrepasar dicha dimensión.

“Al principio, al equipo de Grantecan le pareció demasiado avanzado el proyecto como para poder incluir un nuevo método de verificación, pero los convencimos de que casi por el mismo valor –en esfuerzo, dinero y componentes– podría añadirse el instrumento propuesto, de manera que incluyeran los dos métodos. Para evaluarlo nos pidieron el estudio, lo hicimos, lo calificaron y aprobaron. Nosotros pensamos que por el hecho de haber propuesto el método, nos iban a dejar hacer la Cámara de Verificación, pero no.

“Cualquier instrumento que se haga en este telescopio tiene que pasar por concursos internacionales, porque así es la metodología de asignación para la fabricación de proyectos. Entonces, buscamos a nuestros colegas de CIDESI –con quienes ya habíamos trabajado en otros proyectos– para forma una compañía y hacer la propuesta conjunta (JAUNAM-

CIDESI) con la que logramos ganar la licitación compitiendo con otras compañías europeas, que son bastante prestigiosas. En Grantecan tienen un conjunto de árbitros externos, quienes evalúan los proyectos con una metodología rigurosa.

El doctor Salvador Cuevas comentó que “hicimos la propuesta más completa, al especificar en ella desde cómo se desarrollaría el proyecto, hasta cómo se probarían cada uno de los componentes y verificarían los procedimientos de su fabricación –gracias a lo que se puede hacer en CIDESI–, cómo se comprobaría el funcionamiento de cada parte; y qué pruebas se realizarían al instrumento una vez que estuviera completo. También se ganó en la cotización. En toda licitación primero se analiza y califica la parte técnica, cuando ya se tienen las mejores opciones se abren los sobres que contienen las propuestas económicas y es cuando se deciden por el proyecto, y México ganó en la parte técnica y, económica.”

#### Sistemas de calidad para la ciencia

Para preparar una propuesta sólida que incluyera logística, costos y métodos de documentación, Beatriz Sánchez y Sánchez y Salvador Cuevas se acercaron al CIDESI que se encuentra en la ciudad de Querétaro, por su experiencia en la construcción equipo de ensamble y maquinaria para la industria automotriz además de que este Centro es reconocido por cumplir con los requerimientos establecidos en la industria. Incluso, cuenta con un banco de proveedores, con quienes han negociado compras o hecho integraciones de ciertos componentes y diseño de otros. Al respecto, el ingeniero Vicente Bringas comenta: “Nosotros tenemos la capacidad mecánica y electrónica y ellos la capacidad científica y electrónica, y juntos nos involucramos en la aventura de la optomecánica y es precisamente aquí donde las barreras entre ciencia y técnica se rompen”.

A decir de los entrevistados, científicos y tecnólogos iniciaron y profundizaron una amistosa relación de enseñanza y aprendizaje mutuo, de forma tal que a la fecha se siguen fusionando inte-



resantes trabajos de optomecánica. Este equipo de trabajo sabe que en un proyecto de esta magnitud es tan importante hacer una buena propuesta de solución científica como prever todos y cada uno de los costos y los problemas técnicos que se podrían tener, como logística de compras, ajustes a los maquinados, determinación de las tolerancias, vigilancia de la óptica, detección de las posibles desviaciones y estimación de las horas de trabajo.

El proyecto se ha realizado bajo la confianza y ayuda mutua, cualquier duda se ha resuelto en conjunto, y los conocimientos se han compartido y complementado de manera que las barreras técnicas puedan ser superadas, desde el punto de vista científico y técnico. Cada decisión y cambio, así como cada metodología desarrollada, se han documentado en sus distintas etapas, siendo ahora una fuente de información muy importante que ha permitido al CITESI y al IA-UNAM desarrollar otro tipo de proyectos conjuntos.

A esto el ingeniero Ángel Ramírez Vázquez agrega que el proyecto ha tenido exigencias de calidad más allá de las que a veces tienen con base en la certificación ISO 9000, lo cual obliga a mantener un buen nivel. Por ello, y como aclara la directora general del proyecto, éste ha sido constantemente evaluado. "El Grantecan, dice, tiene

un grupo internacional de árbitros que se encargan de revisar cada una de las etapas: diseño preliminar, diseño detallado,

fabricación y pruebas. Y en cada una de ellas hay que entregar la documentación, la cual evalúan científicos y técnicos que trabajan en otros telescopios para calificarlas. Por ejemplo, cuando llegamos a la parte de diseño detallado, en la revisión crítica se dieron cuenta de que si bien estábamos cumpliendo con las especificaciones de las partes, no habíamos detectado

una flexión de unas cuantas micras en el diseño de la estructura mecánica, por lo cual ésta no sería resistente debido a una flexión de



unas cuantas micras. De regreso a nuestro laboratorio este problema fue estudiado y resuelto por los estudiantes de postgrado, tanto del CITESI como de la UNAM. La solución fue la adecuada y aprobaron la fabricación del instrumento. Fue un proceso de mucha tensión porque para llegar a una solución satisfactoria, primero se usó mayor cantidad de acero en el instrumento con la intención de fortalecerlo, pero nos dijeron que la estructura no podía pesar más de ciertos kilos. Finalmente, un equipo de seis ingenieros especialistas en estructuras lograron corregir el diseño, incluso de manera tal que resultó una estructura estéticamente agradable".

La calidad ha sido el elemento fundamental en este proyecto; al respecto, el ingeniero Bringas comenta: "Un sistema de calidad, por ejemplo los sistemas ISO, es una metodología a seguir para ordenar administrativamente los procesos de aplicación, incluso técnicamente. Para la Cámara, tanto los europeos nos exigieron implementar una metodología, como esta propuesta contempla una metodología para hacer revisiones y liberaciones de cada una de las etapas e instrumentos".

Ante la pregunta de si en México existe o no una cultura de calidad, el Ing. Bringas responde que, contrario a lo





que mucha gente piensa, "en nuestro país si existe la cultura de la calidad. Por ejemplo, para hacer las artesanías cumplimos con las normas, el problema es que las aplicamos directo de los manuales sin darnos cuenta de que a veces hacemos modificaciones en algunos procesos de toda esa cadena de normas, pues nuestra finalidad es la de orientar un producto a mantener o mejorar su calidad. En astronomía por ejemplo, tenemos una arraigada tradición en lo concerniente a la ciencia y a la técnica, pero documentamos los casos de manera aislada y dispersada. Sin duda, nos ha faltado hacer eco de los desarrollos exitosos y de buena calidad que hacemos en el país".

Sobre el monto del proyecto para la construcción de la Cámara de Verificación —un proyecto de largo plazo—, el ingeniero Ramírez Vázquez menciona que será de 543 mil euros, y la maestra Sánchez añade que en el contrato se estableció que el pago sería diferido en las distintas etapas en las que se planteó fuera construida la Cámara de Verificación. Cada etapa debía ser aprobada por la revisión técnica de los especialistas internacionales para recibir la cantidad acordada y una vez aprobada la etapa de aceptación en fábrica se pagará la mayor parte del proyecto. Aclaran que, entrar a un concurso como éste no permite obtener

mayores ganancias económicas, más allá de recuperar el monto del financiamiento para la compra de equipos e infraestructura necesaria para el desarrollo del proyecto otorgado por la UNAM y el CIBESI.

Y añaden que la ganancia real obtenida es el reconocimiento internacional, pues los árbitros que han calificado el desarrollo provienen de diferentes partes del mundo. De hecho, ya se está hablando del avance técnico de la instrumentación astronómica mexicana. Actualmente hay una competencia de grandes telescopios en todo el mundo y esta capacidad de desarrollo de instrumentación se está dando en muy pocos lugares. México se cuenta entre éstos.

"Lo que este proyecto demuestra es la posibilidad de apoyar la tecnología sin dejar de atender la ciencia. Con el desarrollo de la Cámara de Verificación, ambas instituciones ganamos en conocimientos y experiencia, cumplimos un reto con la consecuente oportunidad de mejora para nuevos proyectos. En este sentido, no sólo se demostró la aplicabilidad de un desarrollo científico, también se obtuvo la participación de la gran industria en la fabricación de un desarrollo tecnológico", sostiene el ingeniero Ángel Ramírez Vázquez.

"Es bueno que existan instituciones que hacen desarrollo y que otros nos podamos apoyar en ellas para hacer instrumentación científica", afirma el doctor Cuevas, quien comparte su optimismo al señalar que sin la participación de los ingenieros de instituciones como el CIBESI no les hubiera sido posible hacer mucho de lo que han necesitado para la fabricación de este instrumento, todo lo cual tiene que ver con estándares de investigación pero, sobre todo, con las líneas de producción. ●



## El Gran Telescopio Canarias y la Cámara de Verificación

Actualmente se construye el Gran Telescopio Canarias (GTC), que tendrá un espejo primario segmentado de 10.4 metros de diámetro, constituido por 36 elementos hexagonales. Estará ubicado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la Isla de la Palma, Canarias, España, y se espera que inicie sus operaciones en el año 2004.

En los telescopios astronómicos es el tamaño del espejo primario el que determina el área colectora. Todos los telescopios de nueva tecnología tienen su espejo primario soportado por una suspensión activa, es decir, basada en actuadores, cuya función es darle a la superficie reflectora la forma precisa que requiere, compensando las deformaciones provocadas principalmente por su propio peso.

Los segmentos que conforman un espejo primario segmentado tienen soportes que se desplazan individualmente (suspensión activa), y tienen que ser alineados perfectamente uno con respecto a los demás, para que en conjunto se comporten como una sola superficie, prácticamente sin imperfecciones, para que la calidad de las imágenes no se vea afectada. El proceso de alineación implica que los soportes y actuadores, que mantienen en su posición cada segmento, sean controlados electrónicamente con gran precisión. Este proceso de alineación debe comprobarse óptimamente con una alta resolución de imagen, ya que una desalineación afectaría seriamente los resultados de las investigaciones astronómicas.

Al ser segmentado, el GTC requiere de un instrumento que le permita realizar la alineación de los segmentos del espejo primario y diagnostique la calidad de imagen para que, junto con otros subsistemas, se logre que el telescopio alcance una gran resolución espacial. Existen varios métodos por los cuales se puede realizar esta tarea. Uno de ellos es el método de Shack-Hartmann y otro es el llamado método de Curvatura. Ambos métodos se implementaron en la Cámara de Verificación. El método de curvatura ha sido ampliamente estudiado y novedosamente aplicado por el grupo de óptica del IA-UNAM para medir y corregir el cofaseo, es decir, poner en fase la luz recolectada por todos los segmentos activos.

**EL INSTITUTO DE FOMENTO E  
INVESTIGACION EDUCATIVA A.C.**

**INVITA AL PREMIO IFIE 2003:**

**“Educación Básica y Tecnologías de Información”**



**\$ 100,000 pesos al Primer lugar**  
**\$ 50,000 pesos al Segundo lugar**  
**\$ 25,000 pesos al Tercer lugar**

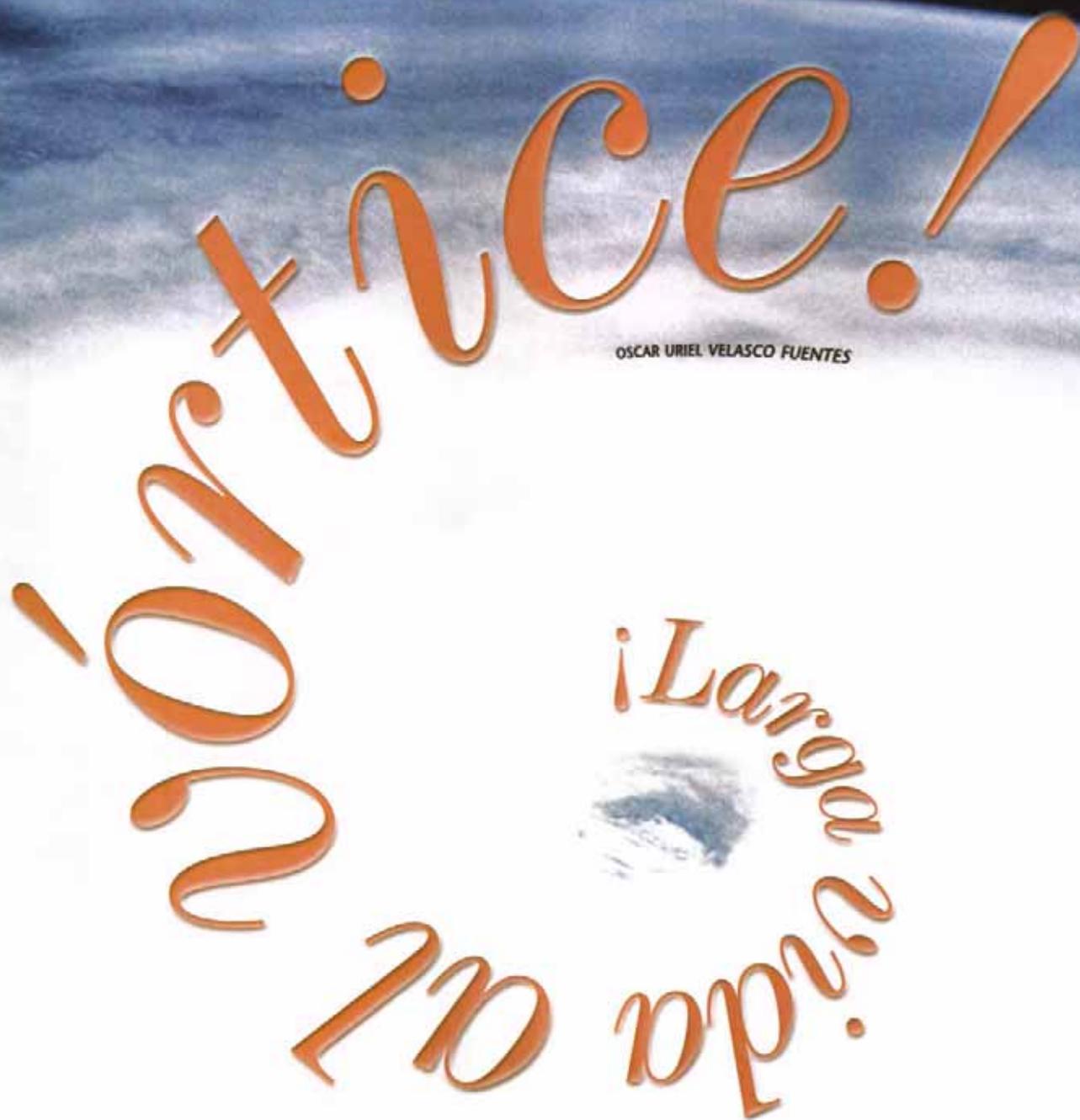
Para mayores informes consultar la página web  
[www.ifie.edu.mx](http://www.ifie.edu.mx)

O bien comunicarse a los teléfonos  
01 (55) 55 50 64 31 y 55 50 96 19

Correo electrónico  
[ifiemex@yahoo.com.mx](mailto:ifiemex@yahoo.com.mx)

# ¡Vórtice!

OSCAR URIEL VELASCO FUENTES



*The vortex is the point of maximum energy*  
(El vórtice es el punto de máxima energía)

Ezra Pound

En 1914, la revista inglesa *BLAST* presentó el curioso título *Long live the vortex!* El primer número contenía dos textos titulados "Vortex". En realidad la revista fue uno de los medios de expresión de un movimiento artístico de principios del siglo XX conocido como vorticism,<sup>3</sup> cuyo editor fue el pintor Wyndham Lewis y participaron, entre otros, el poeta estadounidense Ezra Pound y el escultor Henri Gaudier-Brzeska. Paradójicamente, contrario al deseo de Lewis el vorticismismo tuvo una vida corta.

<sup>3</sup> Lewis, W. (editor) *BLAST: Review of the great English vortex*. Londres, núm. 1, 1914.

*Los vórtices marinos atrapan, transportan y dispersan sustancias químicas disueltas. Por lo tanto, tienen influencia significativa en la química y la biología del mar.*

Quise iniciar este texto con una referencia al vorticismo para ilustrar la fascinación ejercida por los vórtices más allá de los límites de la ciencia. Esto no es sorprendente, pues algunas de las formas en que se manifiestan son extraordinariamente poderosas, como los tornados o las trombas y, al mismo tiempo, poseen una gran belleza (si uno está a salvo de las posibles consecuencias del fenómeno). La variedad de situaciones en que los vórtices ocurren es enorme, y los rangos de las escalas de longitud y tiempo asociadas a ellos son formidables: existen remolinos pequeños y de corta vida —como los que se generan en las aspas de una hélice—, con diámetros de milímetros o centímetros y duraciones de unos minutos. Pero también hay remolinos colosales y longevos, como los de la atmósfera de Júpiter, que tienen diámetros de miles de kilómetros y pueden existir por siglos. ¡Los últimos son cien millones de veces más grandes y diez millones de veces más longevos que los primeros! Consecuentemente no es posible hablar de todos ellos, ni siquiera de manera superficial, en este breve espacio. Aquí concentraré mi atención en los vórtices de "gran escala y larga vida", como los que ocurren en los océanos y las atmósferas planetarias.

Muchas personas estamos familiarizadas con los vórtices atmosféricos (como los tornados y los huracanes) y conocemos algunos de los efectos que pueden tener en nuestras sociedades. En cambio, apenas en fecha reciente hemos descubierto que los vórtices marinos son igualmente importantes. Estos atrapan, transportan y dispersan sustancias químicas disueltas, partículas sólidas, nutrientes, organismos pequeños, calor, momento (es decir, la masa del fluido multiplicada por su velocidad). Por lo tanto, tienen influencia significativa en la química y la biología del mar. Si son suficientemente intensos pueden llegar a formar fronteras bien definidas para variables biológicas e, incluso, sustentar ecosistemas completamente distintos a los de sus alrededores.<sup>1</sup> Debido a su relevancia en el océano y la atmósfera, en décadas recientes los vórtices han sido objeto de estudios sistemáticos, por ello me propongo compartir con el lector algunos de los fascinantes hallazgos que al respecto se han hecho: razón de su longevidad, causa de su desplazamiento, forma de interacción con otros vórtices y principio que los convierte en transportadores y agitadores de masas de agua o aire.

<sup>1</sup> Robinson, A.R. (editor) *Eddies in Marine Science*, Ed. Springer, Alemania, 1983, p. 609.

### Una existencia superficial

El movimiento del agua en el océano y del aire en la atmósfera tiene la siguiente peculiaridad: las masas de agua o aire situadas en una misma línea vertical se mueven esencialmente al unísono, como si fueran columnas. A este tipo de movimiento le llamamos *bidimensional*, pues lo que ocurre a una altura está ocurriendo en todas las demás. En primera instancia, esta característica puede sorprendernos, pues como muchos "hechos de la naturaleza" no es evidente en nuestra experiencia cotidiana, es difícil imaginarla al observar el rompimiento de las olas en la playa o el movimiento caprichoso de una hoja arrastrada por el viento. Para constatar la bidimensionalidad es necesario observar grandes escalas: corrientes y vientos que se extienden horizontalmente por cientos o miles de kilómetros y que evolucionan lentamente en periodos de semanas o meses.

Los fluidos bidimensionales poseen una serie de características particulares que van en contra de la intuición. La más notable es la llamada "cascada inversa de energía". Estamos acostumbrados a ver fluidos que se mueven libremente en tres dimensiones (tridimensionales), en los que la evolución natural produce estructuras cada vez más pequeñas. Por ejemplo, dejemos caer una gota de leche en un vaso de agua desde una altura pequeña. Si lo hacemos con cuidado observaremos la formación de un vórtice en forma de dona o anillo que, sin embargo, pierde pronto su forma regular, se estira y deforma hasta que la leche se mezcla completamente con el agua. Esta es la cascada de energía: se inicia con un remolino de un tamaño y éste se estira y deforma hasta disiparse en escalas pequeñas. En un fluido bidimensional ocurre justamente lo contrario: la energía es transferida de las escalas pequeñas a las grandes y los vórtices más pequeños se fusionan para formar otros cada vez más grandes.

La bidimensionalidad de las corrientes y vientos es una consecuencia de tres factores principales. En primer lugar está la *geometría del espacio* donde se mueven el agua o el aire, pues el océano y la atmósfera son capas delgadas que tienen una profundidad de unos cuantos kilómetros y se extienden horizontalmente hasta por miles de kilómetros. Para apreciar las escalas imaginemos que el Golfo de México tuviera la extensión de una hoja tamaño carta, de manera que su profundidad media sería de un milímetro y, por tanto, los movimientos más importantes ocurren obli-

*Una masa de fluido que gira en el mismo sentido que la Tierra tiene vorticidad ciclónica, y si gira en el sentido contrario, su vorticidad es anticiclónica.*

gadamente en dirección horizontal. En segundo lugar está la *rotación terrestre*, que fuerza a todas las partículas del fluido ubicadas en una misma línea vertical a moverse sincronizadamente, aunque esto sólo es válido cuando el movimiento del fluido es suficientemente lento en relación con la rotación de la Tierra. Finalmente, el tercer efecto que contribuye a la bidimensionalidad de los fluidos geofísicos es la *estratificación por densidad*: el océano y la atmósfera son, en promedio, fluidos en los que la densidad aumenta con la profundidad. Esto significa que cuesta trabajo mover una masa de fluido hacia abajo, porque tiende a flotar, o hacia arriba, porque tiende a caer; en cambio, es sencillo desplazar las masas horizontalmente en su altura "natural". Consecuentemente, los movimientos horizontales son favorecidos en tanto que los verticales son inhibidos.

### Un espacio heterogéneo

Los océanos y la atmósfera son aproximadamente bidimensionales y se encuentran en un sistema en rotación, pero además el conjunto tiene una forma esférica. Esto acarrea consecuencias importantes: en los polos el movimiento de agua y aire ocurre en una superficie perpendicular al eje de rotación terrestre, mientras que en el ecuador la superficie es paralela a éste. En general, el eje de rotación y la superficie terrestre forman un ángulo igual a la latitud geográfica y el fluido experimenta una rotación efectiva que varía con la latitud (figura 1). Esta variación se conoce como *efecto  $\beta$* .

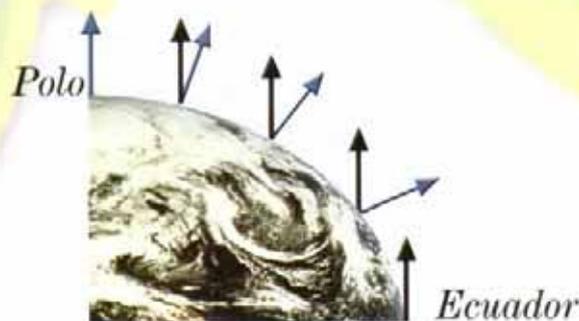


Figura 1: Representación esquemática del efecto beta. La velocidad angular de la Tierra es la misma a cualquier latitud (vectores negros), pero su componente en la dirección vertical local varía con la latitud (vectores azules).

2 Ripa, F. *La increíble historia de la malentendida fuerza de Coriolis*, rec. Serie: La Ciencia desde México, México, 1996, p. 100.

Podemos entender el *efecto  $\beta$*  en la dinámica de un fluido mediante el concepto de conservación de *vorticidad potencial* –explicado a continuación–, fundamental en meteorología y oceanografía física. Existen definiciones muy generales de la vorticidad potencial que incluyen el espesor de la capa de fluido o su densidad, pero aquí me limitaré a explicar cualitativamente la definición para un fluido homogéneo de profundidad constante. La vorticidad es una propiedad asociada al movimiento relativo de las masas de agua o aire que forman las corrientes; de hecho, la vorticidad de una masa de fluido es el doble de la *velocidad angular* del fluido (es decir, la velocidad con que las partículas de fluido giran alrededor del punto considerado). En el océano y la atmósfera existen dos contribuciones a esta velocidad angular. La primera se debe al movimiento del fluido como se observa en la Tierra; esta contribución da origen a la *vorticidad relativa*. La segunda se debe a la rotación terrestre; esta contribución da origen a la *vorticidad planetaria*. La *vorticidad potencial* es la suma de las vorticidades relativa y planetaria. En un fluido ideal las masas de fluido conservan su vorticidad potencial; felizmente, el océano y la atmósfera se comportan como fluidos ideales en las escalas de espacio (superiores a cientos de kilómetros) y de tiempo (más de algunos días) que son de mayor interés en oceanografía y meteorología.

Volvamos ahora al *efecto  $\beta$* . Notemos que la vorticidad relativa depende de los movimientos del fluido, en tanto la vorticidad planetaria depende de la latitud a la que se encuentre la masa. Entonces, si una masa de fluido se desplaza hacia otra latitud, los cambios de vorticidad planetaria deben ser compensados por cambios en vorticidad relativa, pues la suma de ambas debe mantenerse constante. Conviene además señalar la siguiente definición: una masa de fluido que gira en el mismo sentido que la Tierra tiene *vorticidad ciclónica*, y si gira en el sentido contrario, su vorticidad es *anticiclónica*.

Imaginemos una masa de fluido que se mueve hacia el polo: al encontrarse en una zona donde la vorticidad planetaria es mayor, más ciclónica, debe adquirir vorticidad relativa del signo contrario, anticiclónica, para que su vorticidad potencial se mantenga constante. De manera similar, cuando el elemento se mueve hacia el ecuador, donde la vorticidad planetaria es nula, adquiere vorticidad relativa ciclónica para compensar la pérdida de vorticidad planetaria. Así obte-

*El ejemplo más espectacular es, sin duda, la Gran Mancha Roja de Júpiter, que continúa girando 300 años después de haber sido observada por primera vez.*



nemos la siguiente regla: cuando una masa de fluido se mueve hacia el polo, adquiere vorticidad anticiclónica; cuando se mueve hacia el ecuador, adquiere vorticidad ciclónica.

El efecto  $\beta$  es la causa de importantes procesos dinámicos en la atmósfera y el océano, como la intensificación occidental de la circulación oceánica. Esta intensificación se manifiesta en la corriente del Golfo, en el océano Atlántico, y la de Kuroshio, en el Pacífico, dos de los rasgos más prominentes en la circulación oceánica mundial. La influencia de  $\beta$  en la dinámica de los vórtices se verá en las secciones siguientes.

En un laboratorio, la rotación terrestre es fácilmente imitada con un tanque en rotación rápida. El efecto  $\beta$  es simulado mediante una variación lineal en la profundidad del agua, al usar una forma generalizada del principio de conservación de vorticidad potencial descrito arriba. En el tanque, la parte profunda representa una zona cercana al ecuador y la somera, una cercana a los polos. Las fotografías que ilustran esta nota son vistas de planta de la superficie del agua y representan un área aproximada de  $90 \times 90 \text{ cm}^2$ . En todos los casos el tanque gira en sentido contrario al de las manecillas del reloj por un periodo de ocho a 12 segundos. Los experimentos fueron realizados en los laboratorios de dinámica de fluidos de la Universidad Tecnológica de Eindhoven, Holanda, y del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California, México.

### Diversos

En los fluidos geofísicos existe una gran variedad de vórtices. Los hay que deben su nombre a su origen, como los *meddies* (acrónimo del inglés *mediterranean water eddies*) o los *sweddies* (*slope water eddies*), y los que lo hacen a sus propiedades matemáticas, como el *modon* (*mode-soliton*).

Aquí describiré los vórtices con base en las características del movimiento del fluido en su interior. Por ser el más sencillo tenemos en primer lugar al vórtice monopolar o monopolo, que consiste en una región donde el fluido rota alrededor de un punto. Usualmente estos remolinos son casi circulares, como el que se muestra en el primer cuadro de la figura 2; sin embargo, no son raros los monopolos que tienen una forma alargada. Los huracanes, tormentas tropicales o *meddies* son vórtices monopolares. El ejemplo más

espectacular es, sin duda, la Gran Mancha

Roja de Júpiter, que con-

tinúa girando 300 años después de haber

sido observada por primera vez. Estructuras similares abundan en los océanos de nuestro planeta. Un ejemplo son los remolinos que tras desprenderse de la Corriente de Lazo, en la parte oriental del Golfo de México, y se desplazan hacia el oeste, para chocar finalmente contra las costas de México o Estados Unidos. Estos remolinos se generan a intervalos variables entre seis y 18 meses, tienen extensiones horizontales de hasta 300 kilómetros y realizan su travesía en periodos de varios meses.<sup>3</sup>

El vórtice dipolar o dipolo es una estructura más o menos circular, en cuyas mitades el fluido rota en direcciones opuestas. En el primer cuadro de la figura 3 se observa un dipolo relativamente simétrico. El agua gira en sentido horario (conforme a las manecillas del reloj) en la mitad inferior y en sentido antihorario en la mitad superior. El dipolo se desplaza en la dirección definida por su eje de simetría y acarrea consigo una cantidad fija de masa; por tanto, el remolino puede transportar a través de distancias, grandes comparadas con su diámetro. Los vórtices dipolares también seceden con frecuencia en la naturaleza. En los océanos aparecen como "corrientes en forma de hongo", como las que suelen presentarse cuando ocurre un evento localizado e intenso de viento (ejemplos de ellos han sido observados en el Golfo de Tehuantepec).<sup>2</sup> En la atmósfera, los dipolos son conocidos como "bloques", ya que sus dimensiones y persistencia bloquean y desvían la circulación normal en las capas intermedias de la atmósfera.

El vórtice tripolar o tripolo es un arreglo compacto de tres remolinos alargados cuyos centros están alineados, como se observa en los últimos cuadros de la figura 2. El remolino central es flanqueado en sus lados largos por dos remolinos más débiles, donde el fluido rota en dirección contraria a la del remolino central. Esta configuración simétrica gira uniformemente en la dirección definida por el remolino central. Recientemente, una estructura similar a un remolino tripolar fue observada en la superficie del océano mediante imágenes de satélite que muestran la temperatura del agua en la superficie del océano. Sin embargo, es posible

<sup>3</sup> Lavín, M.F. (editor) *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía núm. 3, Unión Geofísica Mexicana, México, 1997, p. 272.

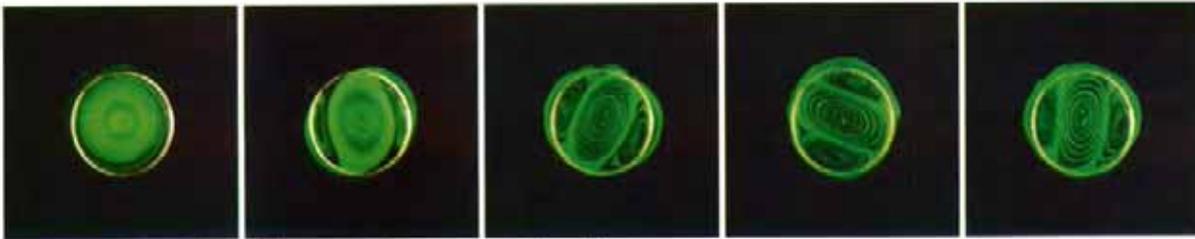


Figura 2. Vórtice monopolar inestable que se transforma en vórtice tripolar estable.



Figura 3. Movimiento de un vórtice dipolar bajo el efecto beta.

que ese patrón fuera generado por otro mecanismo: por ejemplo, la rotación de un remolino monopolar alargado.

Existen estructuras vortiginosas aún más complicadas, pero nunca han sido observadas en la naturaleza, sino raras veces en simulaciones de computadora o experimentos de laboratorio.

### Itinerantes

Los vórtices no suelen permanecer en el lugar donde son creados. Usualmente migran a otras regiones, porque son acarreados por las corrientes en que se encuentran inmersos o por algunos mecanismos de autopropulsión, como veremos a continuación.

En ausencia de influencias externas, un remolino monopolar es estacionario o, cuando tiene forma alargada, rota sobre su eje sin desplazarse de su posición original. En presencia del efecto  $\beta$  los remolinos monopolares no pueden permanecer estacionarios. Como el vórtice mueve a las masas de fluido de sus alrededores, estas adquieren vorticidad relativa para compensar las variaciones de vorticidad planetaria debidas al desplazamiento latitudinal. Este proceso genera un flujo secundario que induce movimiento en el remolino. Si el vórtice es ciclónico, se mueve hacia el oeste; si es anticiclónico hacia el oeste y el ecuador y el polo. Ésta es precisamente la dirección de movimiento que se observa en los huracanes y tormentas tropicales.

Al describir el dipolo mencioné que se desplaza en la dirección definida por su eje de simetría. Si las dos mitades del dipolo son igualmente intensas, el remolino se mueve en línea recta; si una de ellas es más intensa, lo hace en un círculo de radio inversamente proporcional a la diferencia de intensidades (figura 3). En presencia del efecto  $\beta$  el dipolo es estacionario —o se mueve en línea recta con velocidad uniforme— sólo si su eje de simetría es colineal a un paralelo geográfico. Si el eje de simetría del dipolo forma un ángulo distinto de cero, el vórtice se mueve hacia el ecuador o hacia el polo. En el primer caso, la mitad ciclónica del dipolo se intensifica mientras que la anticiclónica se debilita, resultando un movimiento del dipolo en sentido ciclónico. Lo contrario sucede cuando el dipolo se mueve hacia el

polo: la mitad anticiclónica se intensifica y la ciclónica se debilita. Es decir, la asimetría es siempre del signo correcto para hacer regresar al dipolo a su latitud de equilibrio, lo cual resulta en un movimiento sinuoso,<sup>4</sup> como el que se observa en la figura 3.

En ausencia de influencias externas, el tripolo simplemente rota alrededor de su eje sin desplazarse de su posición inicial, pero veamos lo que ocurre en presencia del efecto  $\beta$ . Supongamos que el vórtice central del tripolo es ciclónico y que los satélites (anticiclónicos) están alineados inicialmente a lo largo de un paralelo. Cuando la estructura ha rotado 90 grados, el satélite que se encuentra más cerca del ecuador es más débil que el ubicado más cerca del polo. Por lo tanto, la estructura pierde su simetría, los remolinos dejan de estar alineados y separados del centro por distancias iguales. El remolino central hace pareja alternadamente con cada uno de los satélites, al tiempo que la estructura se desplaza al oeste.<sup>4</sup> Un movimiento de este tipo se puede observar en la figura 4.

### Sociables

Si los vórtices son abundantes en un fluido bidimensional, es de esperarse que con frecuencia se encuentren unos con otros. Los posibles tipos de interacción son innumerables, así que el estudio de este tipo de encuentros se ha limitado a las situaciones más idealizadas.

Veamos primero la interacción de dos remolinos iguales, que ha sido objeto de investigación intensa en las últimas tres décadas.<sup>4</sup> El descubrimiento más importante es la existencia de una "distancia crítica": dos remolinos ubicados inicialmente a una distancia menor que cierto valor crítico se fusionarían para formar un solo remolino (figura 5). Si la distancia es mayor que el valor crítico los remolinos preservan su identidad y rotan uno alrededor del otro. Un caso que ha recibido relativamente menos atención es el de dos remolinos de igual tamaño e intensidad que rotan en sentidos contrarios. En este caso, se mueven en dirección

<sup>4</sup> Van Heijst, G.J.F. (editor) *Modelling of Oceanic Vortices*, Ed. North-Holland, Holanda, 1994, p. 353.



Figura 4: Vórtice tripolar inestable.

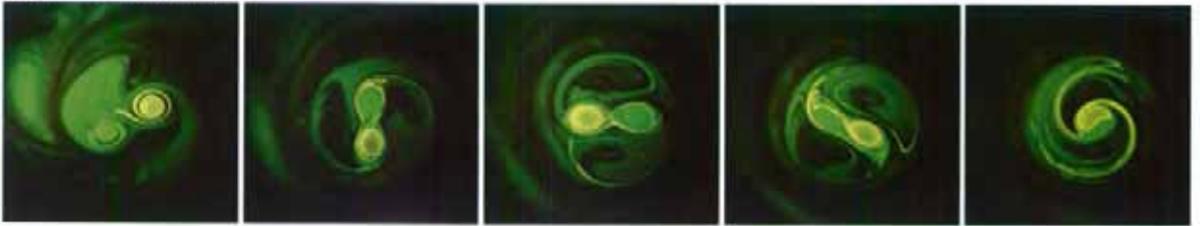


Figura 5: Fusión de dos vórtices monopolares.

perpendicular a la línea que pasa por sus centros. Además, los remolinos pueden sufrir deformaciones, mayores entre menor sea la distancia que los separa. Si están suficientemente cerca el uno del otro llegan a formar la estructura compacta típica del dipolo.

Otra interacción que ha recibido atención considerable es la de dos dipolos de igual intensidad que se desplazan colinealmente en sentidos opuestos, como en el primer cuadro de la figura 6. A consecuencia del choque, los dipolos intercambian pareja y los nuevos se desplazan en sentidos opuestos y en dirección perpendicular a la de los vórtices originales. En ausencia del efecto  $\beta$  y de disipación, los nuevos dipolos continuarían este movimiento indefinidamente. Pero en presencia del efecto  $\beta$  el mecanismo que produce la trayectoria sinuosa del dipolo entra en acción e induce rotaciones en sentidos contrarios en los nuevos dipolos, así que ambos viran primero hacia el este y luego hacia su latitud original. En simulaciones por computadora se ha observado que se produce un segundo choque y un nuevo intercambio de parejas, con lo que se forman nuevamente los dipolos originales. Sin embargo, en experimentos de laboratorio como los de la figura 6 nunca se ha observado que los dipolos originales se reintegren, al parecer tal evento requiere de un grado de simetría que sólo existe en la teoría.

### Agitadores

Las propiedades de advección<sup>3</sup> de un flujo bidimensional (transporte entre regiones, deformación de elementos de fluido, dispersión de partículas, etc.) son determinadas por dos factores. En primer lugar, y un tanto paradójicamente, la advección depende de la presencia de puntos de estancamiento, donde la velocidad del fluido es igual a cero. Existen varias clases de puntos de estancamiento, pero sólo mencionaré las dos más importantes en un fluido bidimen-

sional e incompresible. El punto de estancamiento es un *centro*, si en sus cercanías el fluido se mueve a su alrededor en trayectorias cerradas, y es una *ensilladura*, si el fluido se le acerca en una dirección y se aparta en otra. Obviamente, los centros están asociados a los vórtices y las ensilladuras a puntos intermedios entre dos o más vórtices. Esto puede observarse claramente en los cuadros 2 y 3 de la figura 5. El segundo factor que determina las propiedades de advección del flujo es la forma en que éste varía con el tiempo. El caso más simple es el de un flujo estacionario, no variable, donde los centros y las ensilladuras ocupan posiciones fijas y las partículas están restringidas a moverse a lo largo de trayectorias bien determinadas, lo que hace del flujo un mezclador ineficiente. Un comportamiento mucho más interesante aparece cuando el flujo no es estacionario. Los centros y las ensilladuras cambian continuamente de posición, y las trayectorias, que dependen de la posición de las partículas con respecto a los puntos de estancamiento, pueden volverse muy irregulares. Las ensilladuras proveen el mecanismo para el estiramiento de masas de fluido, mientras que el centro provee el necesario para que éstas regresen a las cercanías de la ensilladura. La combinación de ambos efectos produce en las masas del fluido estiramientos y doblamientos continuos. En el lenguaje de los sistemas dinámicos se dice que ocurre un "mapeo del panadero", que es un mecanismo muy eficiente de agitación y mezcla.

Volvamos ahora a los vórtices y analicémoslos desde este nuevo punto de vista: presencia de puntos de estancamiento y dependencia temporal del flujo. El monopolo posee un centro único, usualmente estacionario en ausencia del efecto  $\beta$  y, por lo tanto, es un agitador ineficaz. Sin embargo, cuando el vórtice se pone en movimiento, debido al efecto  $\beta$  o a la presencia de una corriente, aparece al menos una ensilladura además del centro, esto convierte al remolino en buen transportador y agitador en combinación con la variación temporal del flujo. Mientras el fluido cercano al centro es capturado y acarreado por el remolino, cerca de la frontera de éste existe una agitación intensa.

<sup>3</sup>Proceso por el cual un fluido o gas, al moverse, se lleva consigo los materiales que se encuentran suspendidos o disueltos en él (N. de la R.).

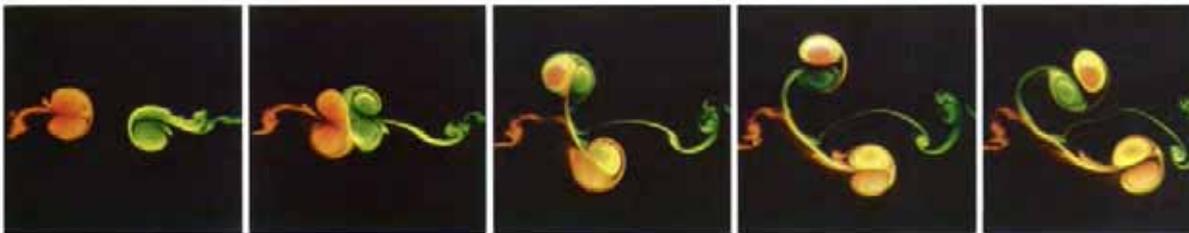


Figura 6. Choque de vórtices dipolares bajo el efecto beta.

Dos monopolos relativamente cercanos dan origen a tres ensilladuras, además de los dos centros. Se sabe que, a excepción de casos extremadamente particulares, dos vórtices tienen un movimiento no uniforme y, por lo tanto, el flujo es usualmente un agitador muy eficaz. Ejemplo de esto puede apreciarse en la figura 5, donde se muestra cómo los elementos de fluido entintados de verde y amarillo son estirados y doblados intensamente.

El dipolo tiene dos centros y dos ensilladuras y generalmente un movimiento uniforme, rectilíneo o en círculos. Sin embargo, la presencia de una corriente o el efecto  $\beta$  pueden proporcionar la variación temporal que convierte al dipolo en agitador eficiente.<sup>3</sup> Por ejemplo, bajo la influencia de  $\beta$  el dipolo tiene un movimiento serpenteante debido a que alternadamente la mitad ciclónica y la anticiclónica se vuelven dominantes. Esto hace que se expulse fluido, a continuación estirado hasta formar bandas delgadas. Similarmente, el dipolo captura otras masas de fluido de sus alrededores, las cuales son enrolladas alrededor de alguno de los centros (figura 3).

El tripolo cuenta con tres centros y dos ensilladuras y si el vórtice es simétrico, realiza rotaciones uniformes y es mal agitador. En cambio, si por origen o por efecto externo es asimétrico, el vórtice realiza un movimiento cuasi periódico al tiempo que se desplaza. Así, el tripolo acarrea eficientemente masa y agita. La figura 7 muestra un ejemplo de esto: en las regiones verde, azul y roja que rodean a cada uno de los remolinos del tripolo, la agitación es ineficiente; pero en el área mayor que rodea a estas regiones las tres tintas están bien mezcladas.

### Vorticismo para el futuro

El aire y el agua que forman la atmósfera, así como los océanos, son recursos indispensables para la vida. Su manejo y aprovechamiento racional depende de un conocimiento profundo de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en las delgadas capas de fluido que cubren nuestro planeta. Actualmente sabemos que este conocimiento es imposible de alcanzar si no entendemos la física de los vórtices. En décadas recientes se ha avanzado mucho hacia este entendimiento, se han emprendido estudios sistemáticos en porciones considerables de la atmósfera y los océanos mundiales, y el advenimiento de los satélites ha hecho posible una observación casi permanente y completa.

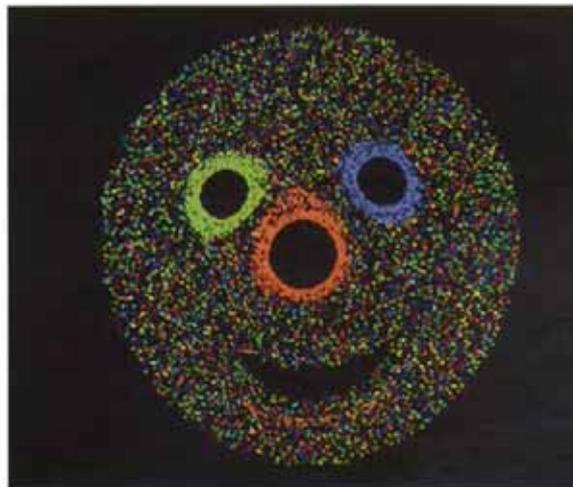


Figura 7. Simulación numérica de la mezcla de fluido producida por un remolino tripolar.

También se han realizado estudios teóricos, numéricos y experimentales acerca del origen, la estabilidad y la evolución de los vórtices.

Sin embargo, la dinámica de los remolinos aún plantea una extensa variedad de problemas fundamentales. Afortunadamente, las motivaciones que tenemos para abordarlos son grandes y diversas; reto intelectual, importancia práctica y placer estético, como lo demuestran las fotografías que acompañan esta nota. Por lo tanto puede aventurarse la siguiente predicción: este vorticismo tendrá una larga vida. ●

Una versión animada e interactiva de este artículo está disponible en <http://www.cicese.mx/~ovelasco>.

Oscar Uriel Velasco Fuentes es investigador del Departamento de Oceanografía Física (DOF) en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Obtuvo el doctorado en la Universidad Tecnológica de Eindhoven, Holanda. Es autor de 11 artículos científicos, así como fundador y responsable del laboratorio de mecánica de fluidos del DOF del CICESE. Ha sido investigador principal en dos proyectos financiados por el Conacyt y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. [ovelasco@cicese.mx](mailto:ovelasco@cicese.mx)

# La biotecnología

## Biotechnología. Promesas, riesgos y desinformación.

JORGE MARTÍNEZ CONTRERAS\*

Ciencia y Desarrollo ha tenido el acierto de interrogarse sobre las consecuencias de la biotecnología, en particular de la creación de organismos modificados genéticamente, o OMGs, sobre el bienestar o malestar tanto de la humanidad como del planeta. Siete investigadores responden brevemente a esta inquietud.

Debemos recordar que la manipulación de lo vivo por parte del *Homo sapiens* data de hace por lo menos 10 mil años, cuando los humanos comenzaron a domesticar plantas y animales. Se trataba de escoger a los reproductores con el fin de que sus descendientes repitieran los rasgos deseados. Una vez acuñado el término de *selección natural* en 1859 por Darwin, se llamó *selección artificial* a este proceso de domesticación por criadores y agricultores. Pero como lo señala el doctor Galindo, la biotecnología es tan vieja como la fabricación del pan y del vino, aunque sus iniciadores no supieran bien qué ingredientes formaban parte de los procesos químicos. Incluso ahora es imposible sintetizar en laboratorio un vino de alta calidad.

Aunque el padre de la genética publicó su trabajo revolucionario sobre la "hibridación" de chícharos y acuñó el término "gen" en 1865, ciertamente su trabajo debió ser "redescubierto" por De Vries a principios del siglo XX para que la genética comenzara como disciplina. Sólo desde hace 50 años, se conoce la estructura molecular del

ADN, y ya se han logrado un gran número de OMGs; se ha conseguido la clonación de varias especies de animales y se pretende haberlo alcanzado en humanos también.

México, nos recuerda el doctor Galindo, cuenta ya con 750 investigadores, varios de los cuales poseen prestigio internacional. Sin embargo, no sólo hace falta más investigación, sino que es también necesaria una mejor y más amplia divulgación de las ciencias biotecnológicas. En efecto, esto nos lleva a las dos grandes creencias que abordan los especialistas consultados: los beneficios y los peligros que encierra la biotecnología para la humanidad.

De manera semejante a las vacunas, los OMGs pueden traer enormes beneficios en alimentación, en salud, en el combate a la contaminación, pero fuera de control pueden ser tan peligrosos como aquello que combaten. Los doctores Madrid-Marina y colaboradores dan ejemplos de cómo las biotecnologías son indispensables para combatir graves enfermedades como el SIDA y el cáncer. Muchas otras terapias génicas están en camino, instrumentos de combate necesarios si se recuerda que existen cientos de enfermedades genéticas conocidas. ¿Quién se atrevería moralmente a proponer el fin de semejantes trabajos? Algo parecido se puede decir de los alimentos provenientes de los OMGs los cuales han contribuido a nutrir a más gente con menos área de cultivo, consecuentemente al bienestar de la humanidad

\* Investigador del departamento de Filosofía de la UAM-Iztapalapa



# los retos del siglo XXI

y permiten regresar, como sucede ya en Europa, grandes áreas de cultivo a un status ecológico más cercano al original; por ejemplo, crecen sus áreas boscosas, mientras que las de México disminuyen. En relación con la mejora de los suelos, la doctora Rodríguez señala cómo en México se hacen importantes estudios con el fin de solubilizar por medio de bacterias el fósforo orgánico y mineral, y esta misma acción bacteriana puede ser potenciada para luchar contra la contaminación. Los procesos naturales de ríos y mares son potenciados en tiempo y espacio por los biotecnólogos por medio de reactores. Al respecto, se nos recuerda que ya existen 20 sistemas de tratamiento combinado anaerobio-aerobio para procesar aguas residuales en industrias muy consumidoras del H<sub>2</sub>O.

Respecto a los riesgos, la doctora Rodríguez señala tres de los posibles peligros: producir involuntariamente alérgenos que causen daños a la salud humana; incrementar el daño a los diferentes ecosistemas, ninguno de los cuales –ni siquiera la Antártida– se salva ya de la contaminación y, finalmente, el hecho de que las grandes empresas monopolicen las nuevas tecnologías productoras de OMGs y pongan en peligro a los pequeños productores que, aunque no lo señale la autora, sabemos que contribuyen más a la biodiversidad de los alimentos que cultivan, como lo podemos comprobar con la papa que cuenta con tal vez más de 200

variedades en los Andes, su lugar de origen, pero menos de 10 son cultivadas en países altamente desarrollados.

Contrastando con el escenario que aquí ofrecemos, hay opiniones que acusan a los biotecnólogos de atentar contra la naturaleza alterándola irresponsablemente. En defensa de los biotecnólogos científicamente serios, creo que nadie sería capaz de ignorar la enorme diversidad y complejidad del mundo vivo, de desconocer lo poco que sabemos, ese "poco" que Newton comparaba a un grano de arena en el inmenso mar.

Sin la menor duda, nadie puede afirmar que los OMGs carecen de peligro para los humanos y los demás seres vivos y minerales del planeta. Recordemos que los ingleses contaminaron experimentalmente una isla con ántrax, misma que aún no puede ser habitada. La tecnología del átomo trajo consigo algo semejante en el atolón Bikini, que tampoco puede ser visitado por humanos debido a la radiactividad. Decíamos que los humanos inventaron la domesticación, pero también lo humanos hicieron desaparecer a un gran número de especies únicas, como sucedió en Madagascar con su llegada, y como ha acontecido en muchos ecosistemas con la introducción de especies exóticas.

Esperemos que estos textos contribuyan al debate en torno al hecho de que, aunque ya no podemos vivir sin OMGs, debemos ser cuidadosos en su creación y gestión.



# Entre el rigor

ENRIQUE GALINDO FENTANES\*

Hace siglos que los humanos nos servimos de la biotecnología. La fabricación de pan y vino en el viejo continente, y la de pulque en el nuevo, son ejemplos muy antiguos de productos que la emplean, y en nuestra vida diaria es más común de lo que probablemente imaginamos.

En su sentido más amplio, biotecnología es "la evaluación y uso de agentes biológicos y materiales en la producción de bienes y servicios", y tiene un carácter multidisciplinario, ya que generalmente son necesarios los conocimientos de las ciencias biológicas, de las químicas y de la ingeniería para el desarrollo de procesos biotecnológicos.



Desde entonces, la evolución del campo biotecnológico ha sido vertiginosa, por lo que ahora se tiene una muy poderosa herramienta para el desarrollo de productos y procesos que hace unos años eran inimaginables, y para el entendimiento—cada vez con mayor precisión y detalle—de los procesos biológicos. Estas revolucionarias y poderosas técnicas, que de forma genérica se llaman ingeniería genética, han sido capaces de producir organismos denominados transgénicos, es decir, a los cuales se les han introducido características genéticas de otras especies.

La biotecnología también está tomando su lugar como valioso elemento para el desarrollo tecnológico de la industria y se constituirá, si aprovechamos la extraordinaria oportunidad que representa, en factor relevante para el crecimiento económico de nuestro país. Sus aplicaciones tienen una profunda influencia en múltiples sectores estratégicos de la actividad humana, como salud, alimentación y preservación del medio ambiente. No hay duda de que en el siglo XXI la biotecnología será la revolución tecnológica de mayor envergadura para la humanidad.

## La vertiginosa evolución del campo biotecnológico

Desde la antigüedad, el ser humano ha usado la biotecnología en forma práctica para su bienestar. Sin embargo, fue hasta finales del siglo XIX cuando surgieron sus raíces conceptuales: al establecer Gregor Mendel las leyes de la herencia y con su trabajo sentar las bases de la genética actual. En la misma época, Louis Pasteur hizo contribuciones determinantes a la microbiología y fundamentales para el desarrollo posterior de la tecnología de fermentaciones.

En la actualidad, es ampliamente conocido que todo organismo posee genes, es decir, segmentos de ADN que almacenan la información necesaria para sintetizar proteínas específicas; pero se demostró que los genes están constituidos por el ADN apenas a principios del siglo XX. De hecho, uno de los parteaguas de la biotecnología moderna ocurrió en 1953, cuando James Watson y Francis Crick descubrieron la estructura molecular del ADN.

Veinte años después se desarrolló una metodología definitiva para la biotecnología moderna: la manipulación *in vitro* del ADN, y se describió la clonación del primer gen humano en una bacteria.

\* Investigador del Instituto de Biotecnología, INIGAM.



# y la sabiduría

*Si consideramos que la biotecnología es “la evaluación y uso de agentes biológicos y materiales en la producción de bienes y servicios”, y tiene un carácter multidisciplinario, es más común de lo que imaginamos.*

## El desarrollo de la biotecnología en México

En México, la biotecnología tiene una notable tradición, el nivel es alto y contamos con investigadores de primera línea en las diferentes áreas. Es particularmente relevante el hecho de que dos investigadores mexicanos (los doctores Francisco Bolívar Zapata y Luis Herrera Estrella) formaron parte de los grupos que reportaron con éxito –por primera vez en el ámbito mundial– la construcción de bacterias y plantas transgénicas. Tenemos cerca de 100 instituciones de investigación que trabajan en temas relacionados con la biotecnología y más de 750 investigadores dedicados a estudiar diversos aspectos de la biotecnología, así como a la amplia formación de personal altamente calificado.

En lo referente al sector industrial, existen algunas empresas con capacidad tecnológica significativa que han puesto en el mercado fármacos producidos por completo en México, mediante técnicas de ingeniería genética; otras, han desarrollado tecnología para el tratamiento de aguas y gases residuales; a través de técnicas biotecnológicas, algunas más han desarrollado procesos para la micropropagación de especies vegetales para la producción de biopesticidas y para la fabricación de antivenenos.

## Consideración final

Estoy convencido de que la biotecnología es estratégica para México, pero también de que como sociedad tenemos un gran reto: siempre plantear sus logros y su gran potencial dentro de una perspectiva ética, social y humana. Ciertamente, es una tecnología poderosa y, si no se usa con sabiduría, puede ser riesgosa, por lo que es necesario fomentar un debate razonado sobre sus implicaciones. El ciudadano común será afectado por la biotecnología y tiene derecho a estar informado con la mayor objetividad.

## La biotecnología y su divulgación

La biotecnología y el ADN se han vuelto famosos. Esta revolución tecnológica ya está en nuestra vida cotidiana, aparece en revistas populares y constituye la portada de revistas de prestigio. Los biotecnólogos más destacados aparecen en revistas de negocios y son motivo de reportajes en los periódicos. La oveja Dolly es una estrella periodística. Sin embargo, no debemos olvidar que la biotecnología ha sido una aliada del ser humano desde tiempos inmemoriales, que –por ejemplo– todos hemos consumido quesos, antibióticos, vacunas y detergentes biológicos mucho tiempo antes de que la palabra transgénico llamara nuestra atención.

Sin embargo, es posible que ante este alud de información el público perciba principalmente los riesgos, ya que, por lo regular, son éstos los que más atención reciben de los medios masivos de comunicación. Si bien la biotecnología se está volviendo famosa, tal parece que sólo una pequeña parte del público general entiende los conceptos básicos detrás de esta revolucionaria y a veces controvertida tecnología. Es evidente que la sociedad –en particular los legisladores y los consumidores– requiere de información accesible, confiable, balanceada y con bases de alta calidad científica, para tomar las decisiones relacionadas con la biotecnología con pleno conocimiento. Como esto aún no se da, no es de extrañar que sea un tema muy fácil de tergiversar, a partir del cual se han provocado muchos miedos infundados y verdades a medias que confunden más a la población.

## Bibliografía recomendada

Bolívar, F. (coordinador), *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI: retos y oportunidades*. Fondo de Cultura Económica-Conacyt, México, 2002.

Academia Mexicana de Ciencias en [www.amc.unam.mx/Agencia\\_de\\_Noticias](http://www.amc.unam.mx/Agencia_de_Noticias), sección: "Biotecnología y sociedad"

# La biotecnología aplicada al control de la contaminación

ADALBERTO NOYOLA\*

La aplicación de microorganismos en el tratamiento de desechos orgánicos se remonta al siglo XIX, cuando sistemas rústicos como la fosa séptica comenzaron a ser utilizados para el control de la contaminación y de los riesgos sanitarios asociados. Tiempo después, en los inicios del siglo XX fueron desarrollados nuevos procesos sobre bases puramente empíricas, como el sistema llamado *lodos activados*. Sin embargo, fue hasta mediados del siglo pasado que se plantearon las bases teóricas de los procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales, al utilizarse los resultados de investigaciones sobre crecimiento bacteriano y fermentaciones.

En la actualidad, es considerable la información sobre los fundamentos y la aplicación de los procesos biotecnológicos para el tratamiento de residuos orgánicos —en forma líquida, sólida o gaseosa—. En general, es gracias a este conocimiento que la biotecnología ha tenido auge y que se genera la necesidad de ejercer cada vez un control más estricto sobre los efluentes y desechos contaminantes, sean municipales o industriales.

Salvo muy contadas excepciones, los desechos líquidos de las industrias alimentaria, agrícola, y cierto tipo de las petroquímica y farmacéutica, así como las aguas negras municipales, son tratados con procesos biológicos. Las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en estos procesos son las mismas que se realizan en el medio natural (río, lago, suelo, etc.), sólo que en forma controlada y a velocidades de reacción mayores, dentro de tanques o reactores. Es por esto que, técnica y económicamente resulta el sistema de tratamiento más adecuado para este tipo de desechos.

En los procesos biológicos, la materia orgánica contaminante es utilizada como alimento por los microorganismos; de esta forma pueden obtener la energía necesaria para reproducirse y llevar a cabo sus funciones vitales. Con ello, los compuestos contaminantes son transformados en nuevas células y gases que pueden separarse del agua fácilmente.

La principal división entre los diversos procesos biológicos existentes para el tratamiento de aguas residuales se hace a partir de la forma en que los microorganismos utilizan el oxígeno. Así, se tienen los procesos *aerobios* (requieren de oxígeno) y *anaerobios* (no requieren oxígeno). Esto se traduce en sistemas claramente diferenciados, tanto en su microbiología como en sus aplicaciones, ingeniería y control. Por un lado, la vía anaerobia produce pocos lodos (células), mientras que la aerobia genera una cantidad aproximadamente cinco veces mayor, con los consecuentes costos de tratamiento y disposición de lodos de purga. Por otro lado, la energía contenida en el metano —resultante de estas reacciones— puede ser utilizada de manera directa como energía calorífica o transformada a mecánica o eléctrica según las necesidades de la localidad. Otro punto es que el proceso aerobio requiere del suministro de oxígeno, lo que representa un costo energético importante. Mientras el proceso anaerobio es un productor neto de energía, el proceso aerobio es un consumidor de ésta.

Las características de ambos tipos de procesos biológicos se aprecian mejor si se aplican al tratamiento de aguas residuales concentradas en materia orgánica, como es el caso de la mayoría de los desechos de la industria alimentaria. Un análisis de costos de energía da elementos sufi-

\* Investigador del Instituto de Ingeniería, UNAM.



*Las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en el tratamiento de desechos sólidos son las mismas que se realizan en el medio natural, sólo que en forma controlada y a velocidades de reacción mayores, dentro de tanques o reactores.*

cientes para seleccionar el proceso anaerobio en aguas residuales industriales biodegradables.

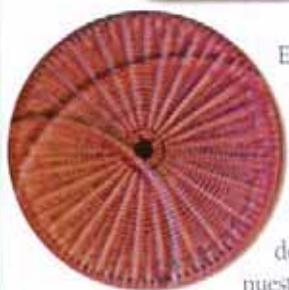
Sin embargo, la principal desventaja de los procesos anaerobios frente a los aerobios es que los efluentes tratados por vía anaerobia pueden requerir un postratamiento, ya que conservan aun cierto contenido de materia orgánica y no tienen oxígeno disuelto. La necesidad de realizar el postratamiento estará determinada por la calidad de descarga que la autoridad haya fijado a las empresas. En la mayoría de los casos, el postratamiento será aerobio, dando por resultado un proceso combinado muy eficiente en la remoción de los contaminantes, con bajo consumo de energía —o en cierto grado autosuficiente si se aprovecha en metano— y a costos de inversión, operación y mantenimiento menores que los de un proceso totalmente aerobio. En México, ya existen más de veinte sistemas de tratamiento combinado

anaerobio-aerobio que tratan con éxito las aguas residuales de industrias como la cervecera, alimentaria y petroquímica.

Además de la aplicación de la biotecnología ambiental en el campo de las aguas residuales, sin duda la más generalizada, también se utiliza en el tratamiento de residuos sólidos y lodos con el fin de reducir su masa, controlar sus características contaminantes y, en algunos casos, reutilizarlos o producir energía. Los residuos ganaderos y agrícolas, así como los desechos sólidos municipales de naturaleza orgánica, son materiales que pueden ser procesados y reutilizados por vía biotecnológica. Otro campo de aplicación reciente es el control de ciertas emisiones gaseosas en la industria o el de malos olores en drenajes y plantas de tratamiento de aguas residuales. Para ello se utilizan sistemas conocidos como biofiltros, filtros precoladores y biolavadores.

## La biología molecular: un nuevo concepto en la medicina

ALFONSO LEÓN DEL RÍO\*



El desarrollo de la biología molecular y la biotecnología nos ha convertido en una generación privilegiada. En menos de 50 años desciframos la estructura del ADN, aprendimos su lenguaje y ahora, después del proyecto del genoma humano, podemos leer la información contenida en nuestros cromosomas. Como resultado, hemos dejado de ser simples observadores del proceso evolutivo y ahora somos capaces de modificar las instrucciones genéticas de plantas, animales y, pronto, de nosotros mismos. Esta recientemente adquirida habilidad ha traído consigo enormes esperanzas acerca de su utilización en la medicina y en el control de enfermedades como el cáncer, la tuberculosis o la esquizofrenia; sin embargo, también ha creado una tecnofobia basada en las posibles consecuencias de la manipulación de nuestro acervo genético.

\* Investigador del Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM.

### Tecnofobia y desinformación, obstáculos para el avance biomédico

El siglo XXI será conocido como la era de los clones ya que, hasta el momento, la ciencia ha creado mediante este proceso ovejas, vacas, gatos y actualmente existen al menos una docena de laboratorios que tienen la capacidad para clonarlo a usted o a mí. Sabemos que éste es un proceso que tiene riesgos, pero probablemente el efecto más nocivo de la clonación no es el hecho de poner en peligro a nuestra especie, nuestros valores o la riqueza y diversidad genética generada durante más de 3 mil millones de años de evolución, sino la precipitada toma de decisiones de algunos políticos que reaccionan ante la prensa internacional prohibiendo (como ha ocurrido en varios países, incluido México) la clonación y manipulación de células derivadas de tejidos embrionarios, lo que no impedirá, tarde o temprano, la clonación de un humano, pero sí retrasará el desarrollo de técnicas que pueden ofrecer grandes beneficios.

*Otra área en donde la biología molecular ha hecho grandes avances es la búsqueda de genes que nos predisponen a padecer ciertas enfermedades, como el cáncer.*



### **Importancia de las células troncales**

El desarrollo biotecnológico más espectacular es el uso de células troncales o stem cells que, a diferencia de las células adultas, tienen la capacidad de transformarse en cualquier tipo de tejido: piel, hígado, hueso o cerebro y, por ello, pueden ser utilizadas en el tratamiento de un número importante de enfermedades. Hasta el momento la única fuente eficiente para obtener estas células es el tejido embrionario, lo cual ha causado una gran polémica. Diversos grupos han desarrollado técnicas para generar células embrionales en el laboratorio por métodos artificiales, pero éstos aún requieren de la manipulación de células reproductivas humanas y su eficiencia es baja, como lo demostraron algunos investigadores en Australia, quienes recientemente aislaron células troncales de cerebros de ratas adultas, encontrando que sólo una de cada 300 células en el cerebro es troncal, por lo que es poco probable el reemplazo de embriones para el aislamiento de células troncales en el futuro inmediato.

Algunos usos potenciales de células troncales como agentes terapéuticos son: el crecimiento de neuronas y células gliales para reparar las heridas en médula espinal que resultan en parálisis de extremidades; la formación de células musculares cardíacas susceptibles de reemplazar el tejido cicatrizante (formado a raíz de un ataque cardíaco); aislamiento de células cerebrales que secreten dopamina para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson; trasplante de células pancreáticas para producir insulina, combatiendo la diabetes; crecimiento y purificación de células de médula ósea para el tratamiento de leucemias; modificación genética de células sanguíneas para hacerlas resistentes a la infección por virus del sida. Por ello, es incuestionable la importancia del desarrollo de métodos que permitan el uso de células troncales.

### **Una aplicación de la biología molecular**

Otra área en donde la biología molecular ha hecho grandes avances es la búsqueda de genes que nos predisponen a padecer ciertas enfermedades, como el cáncer. En mi laboratorio estudiamos las bases genéticas del cáncer de mama, que es la segunda causa de muerte entre mujeres adultas en México (de acuerdo con información del Programa de Prevención de Cáncer de Mama). Cuando una paciente es diagnosticada con este mal, los médicos le suministran una

droga llamada *Tamoxifen* (Tx). El Tx ha sido uno de los grandes avances de la industria farmacéutica contra el cáncer, ya que específicamente interrumpe la actividad del receptor de estrógenos (RE), una proteína esencial para el crecimiento tumoral; no obstante, algunas mujeres no responden a este tratamiento o responden sólo parcialmente, lo cual conduce al regreso de la neoplasia (tejido tumoral). La habilidad de nuestras células para responder de manera satisfactoria a drogas como el Tx también depende de nuestros genes; esto significa que drogas diseñadas en un país anglosajón pudieran no tener la misma efectividad para tratar pacientes de América Latina.

Para comprender las bases genéticas del cáncer de mama en mujeres mexicanas, mis estudiantes utilizaron al RE como una *carriada molecular* para buscar en una biblioteca genética humana genes involucrados en el crecimiento tumoral. Hasta el momento hemos clonado nueve genes cuya función es producir proteínas que modulan la actividad del RE en células cancerosas. Algunas de estas proteínas se unen al RE incrementando su actividad y favoreciendo una rápida división de las células cancerosas. Hemos identificado también dos proteínas cuyo efecto es el contrario; es decir, al unirse al RE evitan que éste funcione y el crecimiento tumoral disminuye. Ahora iniciamos, en colaboración con la Secretaría de Salud, un estudio que determinará si la aparición de tumores o su resistencia al tratamiento con Tx en mujeres hospitalizadas en todo el país puede ser asociado a cambios en la expresión de estos genes; la aplicación más inmediata de este trabajo es la de contar con una herramienta de diagnóstico. Hasta ahora no es posible predecir cuáles mujeres no responderán a Tx y un tiempo vital puede perderse con este tratamiento, con un alto riesgo para la vida de las pacientes, pero en el futuro esperamos poder delinear el perfil genético de una mujer cuyo diagnóstico sea cáncer de mama con base en la expresión de los nueve genes que hemos descubierto, por lo cual sabremos de antemano cuándo una paciente es una buena candidata para la terapia hormonal o si debe recibir un tratamiento más radical desde el inicio.

Las expectativas son muy buenas si logramos superar el miedo a lo desconocido. Eventualmente, clones humanos caminarán entre nosotros y entre más rápido superemos la aversión por ellos, podremos trabajar en asuntos que librarán al ser humano de enfermedades ancestrales y darán origen a la medicina del siglo XXI.

# Biotecnología y salud pública

VICENTE MADRID-MARINA,\* CARLOS J. CONDE-GONZÁLEZ\* Y JUAN MANUEL ALCOCER-GONZÁLEZ\*\*

La biotecnología se encarga del estudio y manipulación del material genético para mejorar cualquier especie viva. Consiste en aislar el ADN (ácido desoxirribonucleico) y hacerle modificaciones para alterar una función, o bien, introducirle un nuevo gen para hacer producir una proteína de interés nutricional o de salud. Este año 2003 se conmemora el 50 aniversario del descubrimiento de la estructura del ADN por Watson y Crick, como potencial conocimiento para descifrar su función. Este hecho marcó un hito en la ciencia, porque aceleró el desarrollo de las ciencias biomédicas cuya explosión de conocimientos ha contribuido enormemente al mejoramiento de la salud pública.

El Interferón-gamma, la Interleucina-2 y el TNF- $\alpha$  son proteínas recombinantes humanas usadas como inmunoterapia en el tratamiento de algunos tipos de cáncer poco inmunogénicos, así como en el tratamiento de cáncer cérvico-uterino, de mama, de cabeza y cuello; contra el melanoma y contra algunas enfermedades infecciosas. Se sabe que estas citocinas aumentan la respuesta inmune celular responsable de la eliminación tanto de células infectadas por virus como de las neoplásicas, de tal manera que incrementa la actividad citotóxica de los linfocitos T.

El potencial para el uso de los genes para el tratamiento de algunas enfermedades o para aumentar un proceso fisiológico o bioquímico, captura la imaginación del público general y de la comunidad biomédica. Este gran campo experimental de la transferencia de genes —o terapia génica— tiene un potencial para el tratamiento e incluso para la cura de algunas enfermedades genéticas y adquiridas, tales como cáncer y sida, mediante el uso de genes normales para completar o reemplazar genes defectuosos o para aumentar alguna función, como la respuesta inmune. Actualmente, se realizan más de 500 protocolos de terapia génica alrededor del mundo, que involucran a cerca de 3 500 pacientes. La mayoría de aquellos (78%) se efectúa en Estados Unidos, seguido de Europa (18%). En general, muchos de estos protocolos están enfocados a establecer la seguridad del paciente frente a los sistemas de administración de genes, más que a la efectividad del producto del gen.

En realidad, a la fecha, pocas enfermedades pueden ser curadas con terapia génica, ya que aún enfrenta muchos obstáculos científicos antes de llegar a convertirse en una práctica médica común para el tratamiento de enfermedades humanas. De acuerdo con la declaración de la Sociedad Americana de Genética Humana sobre terapia génica, los progresos efectivos se lograrán sólo a través de la continua y vigorosa investigación sobre los mecanismos fundamentales tanto de la terapia génica como de la expresión génica.

La habilidad de secuenciar el genoma completo de algunas bacterias patógenas ha aumentado considerablemente las oportunidades para desarrollar nuevas vacunas y facilitar la eficiencia y rapidez de su desarrollo. Estos datos pueden proveer un catálogo de todos los candidatos potenciales para vacunas contra enfermedades bacteriales, en colaboración con la bioinformática, mutagenesis y proteómica. La terapia genómica puede emplearse junto con la biología poblacional para asegurar que la vacuna pueda ser blanco de todas las cepas patógenas de una especie. Una prueba de la utilidad de la genómica es la reciente explotación de la secuencia completa del genoma de *Neisseria meningitidis* grupo B.

Las pruebas de diagnóstico basadas en ADN están entre las primeras de aplicación médica comercial de los nuevos descubrimientos genéticos. En la actualidad, cientos de pruebas genéticas tienen uso clínico, con cientos más que se encuentran en desarrollo, y se espera que sus números y variedades crezcan con rapidez en la presente década. La mayoría de las pruebas genéticas actuales detectan mutaciones asociadas con enfermedades genéticas raras que presentan patrones de herencia mendeliana. Recientemente, se han desarrollado pruebas para detectar mutaciones para un puñado de



\* Centro de Investigaciones sobre Enfermedades Infecciosas, Instituto Nacional de Salud Pública, Secretaría de Salud, Cuernavaca, Morelos.

\*\* Laboratorio de Inmunología y Virología, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

*Las pruebas genéticas pueden ser usadas para el diagnóstico de enfermedades, confirmar un diagnóstico, o bien proporcionar información pronóstica acerca del curso de alguna enfermedad; también pueden confirmar la existencia de enfermedad en individuos asintomáticos.*

condiciones más complejas como el cáncer de mama, de ovario y de colon. Aunque estas pruebas tienen sus limitaciones, algunas veces pueden usarse para estimar el riesgo en individuos presintomáticos con historia familiar de algún desorden.

Un beneficio potencial de estas pruebas genéticas es que pueden proporcionar información que ayude a los médicos y pacientes a manejar la enfermedad o condición de forma efectiva. Por ejemplo, el análisis genético de biopsias tomadas por colonoscopia para aquellos que tienen mutaciones asociadas con cáncer de colon, pueden prevenir miles de muertes cada año; o bien la identificación de ADN del papilomavirus humano, mediante pruebas genéticas en mujeres mexicanas puede reducir la incidencia de cáncer cervico-uterino y, en consecuencia, prevendría muchas muertes.

Estas pruebas tienen algunas limitaciones científicas, ya que pueden no detectar cada mutación asociada con alguna condición

particular (muchas de las cuales no se han descubierto aún). Otra importante consideración en las nuevas pruebas genéticas es la carencia de tratamientos efectivos o medidas de prevención para muchas enfermedades y condiciones patológicas que apenas ahora empezamos a diagnosticar.

En el ámbito social, la ausencia de privacidad y de protecciones legales puede dar lugar a la discriminación en empleos o en seguros de vida o de gastos médicos, o propiciar otros malos usos de la información genética. Debido a que las pruebas genéticas pueden revelar información acerca de individuos y sus familias, se podría afectar la dinámica familiar.

Algunos resultados de estas investigaciones poseen riesgos para grupos poblacionales, porque pueden conducir a

la estigmatización de ciertos grupos. El sufrimiento más grande no es el dolor que puede producir una enfermedad, sino el saber que se padece una enfermedad y que no hay curación.



## Manipulación genética aplicada a cultivos para la alimentación humana

HILDA RODRÍGUEZ\*

Desde hace tiempo, la genética ha sido una herramienta tanto para mejorar los cultivos y sus métodos tradicionales como para obtener nuevas variedades de alimentos ampliamente aceptadas por productores y consumidores. Sin embargo, la ingeniería genética ha abierto un campo distinto para el mejoramiento de la agricultura que hoy resulta controvertido, ya que los consumidores se muestran renuentes a los productos transgénicos, quizás por el miedo a lo

desconocido, pues se piensa que la peligrosidad radica en el tipo de genes que han sido transferidos. Y es que el mismo nombre de los cultivos modificados genéticamente, "transgénicos", inspira desconfianza.

Pero ¿qué significa "transgénico"? Un *organismo modificado genéticamente (OMG)* –término más amplio–; es decir, un ser vivo cuyo patrimonio genético ha sido variado al introducirle genes de otra especie mediante técnicas de ingeniería genética.

\* Investigadora del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, Baja California

1 Planta herbácea (*Brassica campestris*) que se utiliza en la producción de aceites.

*Transgénico es el nombre que recibe un organismo modificado genéticamente; es decir, un ser vivo cuyo patrimonio genético ha sido variado al introducirle genes de otra especie mediante técnicas de ingeniería genética.*

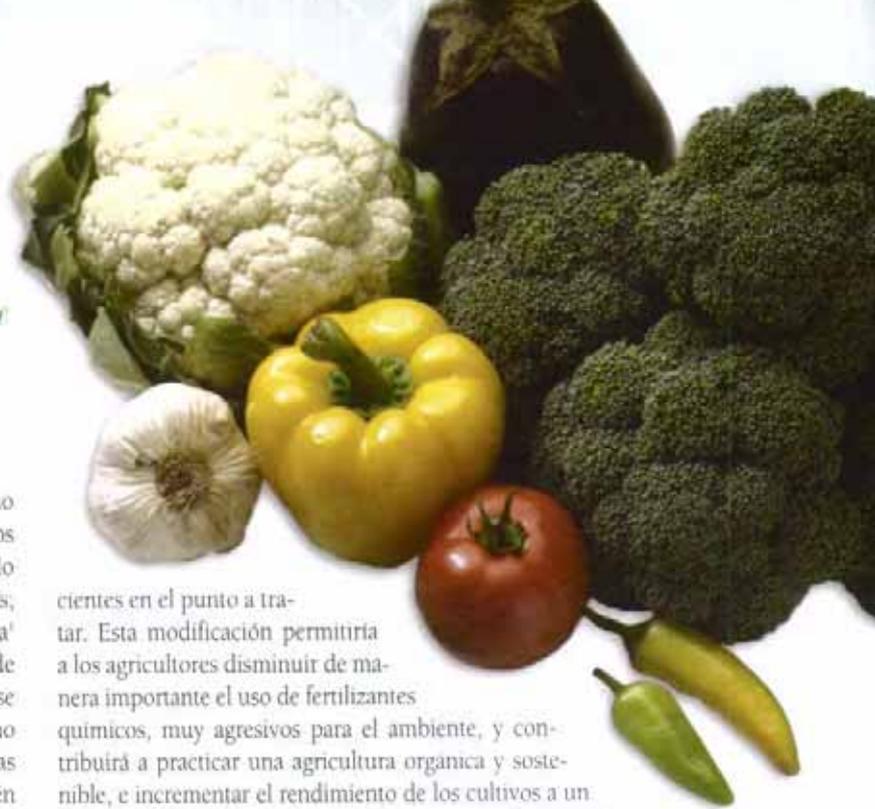
### La importancia de los OMG

La primera pregunta que surge es si vale la pena o no experimentar con estos productos. En la actualidad, los principales cultivos transgénicos colocados en el mercado son maíz, soya y algodón resistentes a insectos y herbicidas; en menor medida, claveles con colores nuevos y canola resistente a herbicidas. Existen más de 44.2 millones de hectáreas con todos estos cultivos y se encuentran en fase de elaboración otros genéticamente modificados, como arroz y tomates con mayor contenido de vitamina A, gracias a la inserción de tres genes de claveles y bacterias. También hay uvas resistentes a insectos y álamos tolerantes a herbicidas –ambos con genes de bacterias benéficas–; maíz con mayor valor nutritivo, al expresar una proteína de la leche; soya enriquecida en aminoácidos con un gen del maíz; soya con proteína antihipertensiva, a partir de un gen modificado de la misma soya, y arroz, de alto rendimiento en suelos pobres con genes de centeno, entre otros.

En todos los casos, los genes introducidos son, al menos presuntamente, inofensivos para el ser humano. Por ello, las modificaciones genéticas no sólo están produciendo cultivos más eficientes, menos costosos o que disminuyen el empleo de agentes químicos agresivos para el ambiente, como insecticidas o fertilizantes, sino que podrían ofrecer soluciones a diversos problemas, como la malnutrición.

Otro enfoque que utiliza la ingeniería genética para el mejoramiento de los cultivos agrícolas es la modificación de bacterias, que de forma natural aceleran el crecimiento de las plantas. La ventaja de esta opción es que un solo microorganismo modificado puede ser utilizado como fertilizante biológico (biofertilizante) en cultivos diferentes. En el Grupo de Microbiología Ambiental del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), en colaboración con el Laboratorio de Genética del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar en La Habana, Cuba (ICIDCA), hemos estado trabajando en esta tendencia.

Específicamente, nuestra investigación se ha abocado a introducir, en bacterias benéficas, genes que les permitan hacer soluble el fósforo del suelo y volverlo así accesible a la planta para su nutrición. Para ello, tomamos genes que intervienen en la solubilización de fósforo orgánico y mineral de otras bacterias y los transferimos a cepas con ciertas características positivas como biofertilizantes, pero defi-



cientos en el punto a tratar. Esta modificación permitiría a los agricultores disminuir de manera importante el uso de fertilizantes químicos, muy agresivos para el ambiente, y contribuirá a practicar una agricultura orgánica y sostenible, e incrementar el rendimiento de los cultivos a un costo menor. También hemos puesto marcadores moleculares fácilmente detectables en las bacterias usadas como inoculantes, con objeto de estudiar qué sucede con ellas una vez introducidas en la planta, lo cual es importante desde el punto de vista de la bioseguridad.

### Sobre los riesgos...

A pesar de lo expuesto, muchas voces alertan en contra del desarrollo de estos cultivos, particularmente sobre: a) la posible generación de daños a la salud humana, como activadores de alergias, entre otras opciones; b) la alteración del equilibrio de la naturaleza, al producir cambios en los ecosistemas, y c) la creación de beneficios sólo para grandes empresas. Es importante saber que, hasta el momento, los estudios no han demostrado la existencia de una transferencia de los genes insertados al genoma de los organismos que los consumen o su microflora.

En general, podemos concluir que el empleo de técnicas de ingeniería genética para lograr cultivos con mejores características nutricionales, disminuir el uso de fertilizantes y herbicidas sintéticos, y agregar otras características ventajosas, puede constituir un avance significativo de la ciencia que no debemos ver con prejuicio. Sin duda, es imprescindible que el desarrollo de estos nuevos productos esté sujeto a las más estrictas normas de control y estudio, para verificar en cada caso su inocuidad y la ausencia de riesgos para el ser humano y la naturaleza misma. Sólo así, cuando usted vea una etiqueta que diga "Organismo modificado genéticamente" u "Organismo transgénico", sabrá que su seguridad no está en riesgo, y que la humanidad ha dado otro pequeño paso hacia adelante.



### Bibliografía

James, C. Revisión global de cultivos transgénicos comercializados en el 2000. *International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAA) Briefs* núm. 21-2000, Nueva York.

Chambers, P.A. et al. "The Fate of Antibiotic Resistance Marker Genes in Transgenic Plant Feed Material Fed to Chickens", *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 49:161-164, 2002.

S/A. "Los organismos modificados genéticamente, los consumidores, la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente". *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, informe FAO, Roma, 2001.

Rodríguez, H.; T. González y G. Selman. "Expression of a Mineral Phosphate Solubilizing Gene from *Erwinia Herbicola* in Two Rhizobacterial Strains", *Journal of Biotechnology*, Amsterdam 84, 155-161, 2000.

## Biotecnología para el control de plagas agrícolas

MAYRA DE LA TORRE\*

Desde los inicios de la agricultura, las civilizaciones sufrieron frecuentemente la merma de sus cosechas por los ataques de las plagas de insectos. Ante esta situación, el hombre fue desarrollando algunas estrategias para evitarlo. Así, desde hace siglos los chinos utilizaron hormigas para proteger sus



Picudo del algodón atacado por un hongo.

\* Investigadora del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados, INIA

huertas de cítricos contra gusanos, avispas y otros insectos. Ya en el siglo XIX, científicos europeos y norteamericanos emplearon depredadores naturales (catarinas y avispas) y patógenos (hongos) para proteger cultivos y bosques, obteniendo resultados muy alentadores. Estas investigaciones perdieron importancia entre 1930 y 1940, al descubrirse los insecticidas químicos, compuestos originalmente concebidos como armas que resultaron mucho más rápidos y baratos y con un espectro de acción más amplio que los enemigos naturales de los insectos. Por ello, su uso se extendió rápidamente hasta llegar a constituirse en una herramienta imprescindible de la agricultura moderna.

### El control biológico

Si bien los insecticidas químicos han permitido un control eficaz de las plagas, se ha establecido que son altamente perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas, ade-

*Los bioinsecticidas se emplean fundamentalmente en hortalizas y frutales de exportación para poder satisfacer las normas de residuos tóxicos en alimentos, pero en los productos para consumo interno se siguen utilizando grandes cantidades de insecticidas químicos.*

más de promover, por su persistencia en el medio ambiente, la selección de insectos-plaga resistentes a los mismos, lo que ha motivado el uso de dosis cada vez mayores o de productos más tóxicos. Esto ha generado mucha preocupación en el ámbito mundial y actualmente se trabaja para limitar su aplicación y promover el manejo integrado de plagas que incluye otras formas de control, efectivas y menos contaminantes, tales como trampas, cubiertas plásticas para proteger los cultivos y el control biológico.

El control biológico es la manipulación intencional de las poblaciones de los enemigos naturales de los insectos plaga para limitar su población. A estos organismos se les llama agentes de control y entre ellos se encuentran insectos que comen insectos (depredadores), insectos parásitos de otros insectos y microorganismos patógenos para los insectos. Las formulaciones comerciales de los microorganismos son conocidas como bioinsecticidas e incluyen diferentes géneros y especies de bacterias, hongos, nemátodos (gusanos) y virus. Estos microorganismos, denominados entomopatógenos, son específicos, es decir, afectan únicamente a determinados grupos de insectos (hospederos) y son inofensivos para insectos benéficos, humanos y otros organismos superiores.

La biotecnología ofrece varias alternativas para el control biológico de plagas agrícolas, estas van desde el uso de reactores para la producción masiva de microorganismos silvestres y modificados genéticamente, con un rango más amplio y/o mayor virulencia que los silvestres, hasta la utilización de plantas modificadas genéticamente resistentes al ataque de algunos insectos.

Actualmente existen en el mercado mundial –y México no es la excepción– diversos productos bioinsecticidas que contienen microorganismos. Desde hace casi medio siglo, los más utilizados son los formulados con la bacteria *Bacillus thuringiensis*, pero también los hay que contienen esporas de hongos, virus y nemátodos. Estos productos se utilizan en la agricultura orgánica y en México su utilización se ha incrementado en los últimos cinco años. Desafortunadamente, se emplean fundamentalmente en hortalizas y frutales de exportación, para poder satisfacer las normas de residuos tóxicos en alimentos, pero en los productos para consumo interno se siguen utilizando grandes cantidades de insecticidas químicos.

El uso de microorganismos en el control biológico se ha extendido sobre hongos que producen enfermedades en las



*Nemátodos entomopatógenos.*

plantas, nemátodos que dañan las raíces e inclusive para sustituir los fungicidas en los que se bañan algunas frutas como las manzanas, para evitar su pudrición. Recientemente se están empleando microorganismos para combatir parásitos en los animales, como por ejemplo a las garrapatas.

Así, como siempre, la naturaleza nos da las soluciones para resolver los problemas que enfrentamos en la producción y conservación de alimentos, y México, como país mega-diverso, es una fuente de estos microorganismos, adaptados a distintos climas y ecosistemas. En nuestro país hay empresas y grupos de investigación muy activos en control biológico, y existen en el mercado productos desarrollados por investigadores mexicanos y fabricados en dichas empresas. Estos productos han mostrado su eficacia en el campo y es de esperarse que la gama se amplíe. Ojalá y en un futuro cercano se utilice el control biológico en los sembrados dedicados al mercado interno y, así, la biotecnología y nuestra biodiversidad tengan un efecto directo en la salud de los mexicanos y en la preservación de nuestros ecosistemas. ●



*Productos bioinsecticidas elaborados en México.*

## El triste caso de Elisabeth Targ



La búsqueda de soluciones mágicas y fáciles a los problemas humanos es una característica imposible de borrar en nuestra sociedad. Pero a veces la realidad imparte lecciones muy claras sobre lo que podemos esperar de la naturaleza y sobre lo engañoso, y hasta peligroso, que pueden resultar muchas de nuestras ilusiones. En el ámbito de la salud, las personas desearían que para sus males existiesen remedios seguros, infalibles, baratos y sin consecuencias nefastas. Lamentablemente, la ciencia tiende a ofrecer tratamientos caros, inciertos, sujetos al error humano y de efectos secundarios muy molestos o peligrosos. Por ello, tienen tanta aceptación los tratamientos alternativos, que prometen al paciente infalibilidad, bajo costo y ningún efecto no deseado.

En los últimos decenios, ha florecido la idea de que los enfermos pueden ser ayudados, o hasta sanados, gracias a esfuerzos meditativos, cantos, oraciones y estimulaciones telepáticas, realizados por curanderos, chamanes o personas piadosas, y a veces a gran distancia. Ejemplo de esto

fueron las propuestas de la psiquiatra Elisabeth Targ, del Centro Médico de la Universidad de California, en San Francisco, quien en 1995, cuando todavía el VIH-Sida representaba una sentencia de muerte, reveló haber realizado un estudio controlado con el cual se demostraba el poder curativo de la oración.

Para ello se integraron dos grupos con 10 pacientes de VIH-Sida cada uno, elegidos al azar. En uno, varios curanderos espirituales, que en promedio residían a dos mil kilómetros de los pacientes, aplicaron para la "cura" de éstos sesiones de oración y meditación. En el otro grupo no se aplicó tal tratamiento. En apariencia, después de seis meses se obtuvieron resultados sorprendentes: cuatro de los pacientes habían muerto, todos del grupo por quienes no habían orado o meditado. Los 10 por los que sí habían rogado, estaban vivos.

En 1996, Targ realizó otro experimento con 40 enfermos, elegidos nuevamente al azar. A 20 se les aplicó el

*La ciencia tiende a ofrecer tratamientos caros, inciertos, sujetos al error humano y de efectos secundarios muy molestos o peligrosos. Por ello, tienen tanta aceptación los tratamientos alternativos, que prometen al paciente infalibilidad, bajo costo y ningún efecto no deseado.*

tratamiento de oraciones; se enviaron sus fotos a 40 terapeutas psíquicos, quienes durante seis días consecutivos realizaron durante una hora sus rituales ante las imágenes. Así, cada uno de estos pacientes recibió las invocaciones a distancia de 10 rabinos, chamanes indígenas y síquicos bioenergéticos. Después de seis meses, resultó que los del grupo bajo prueba manifestaron menos síntomas relacionados con el VIH-Sida que los del otro grupo, quienes tuvieron que acudir seis veces más al hospital, supuestamente por ese motivo.

Sin embargo, tiempo después se reveló que el experimento sólo había sido diseñado para medir la supervivencia de los pacientes, y que el hecho de que ninguno de los pacientes muriera tenía mucho que ver con el que ya se hubiera descubierto el tratamiento con medicamentos antivirales.

Ante esto, se comenzaron a buscar otras variables entre los dos grupos, como calidad de vida o severidad de los síntomas, sin que se encontraran diferencias significativas entre ellos. Finalmente, alguien aconsejó que se midiera el número de visitas hechas al hospital, dato no registrado. Fred Sicher, firme creyente en el poder de la curación a distancia (tanto que había invertido casi 10 mil dólares en el experimento y era uno de los auxiliares de Targ), se ofreció a recuperar esa información de los expedientes de los pacientes y de su memoria, aunque no recordaba con precisión a qué grupo pertenecía cada persona.

Cuando Targ y Sicher escribieron su informe, dieron a entender que el experimento había sido diseñado para medir los síntomas de las 23 enfermedades relacionadas con el VIH-Sida detectadas en los pacientes. Nunca aclararon que los datos proporcionados eran los únicos que se ajustaban a la hipótesis de que la oración remota dirigida funcionaba, y eso con muchas pequeñas trampas. Tras posterior análisis se detectó también que en el experimento piloto, los cuatro pacientes muertos eran los más viejos de los dos grupos, siendo muy probable que fallecieran sin importar el tratamiento que tuvieran.

Sin hacer notar estos hechos, Elisabeth Targ obtuvo un donativo del Centro de Medicina Alternativa del Instituto Nacional de la Salud de Estados Unidos por 1.5 millones de dólares, para investigar acerca del efecto del cáncer cerebral. También obtuvo otro para confirmar sus hallazgos en el caso del VIH-Sida.

El tipo de cáncer cerebral a estudiar fue el glioblastoma multiforme. Este estudio ya se realizó, pero los resultados no han sido publicados aún... y, al parecer, nunca lo serán. Ha ocurrido algo que puede considerarse como una de esas coincidencias de improbabilidad casi inconmensurable. En marzo de 2002, Elisabeth se dio cuenta de que tenía problemas con el habla y, además, sufría parálisis facial izquierda. Alarmada, se hizo una prueba de resonancia magnética en el cerebro, para cuya interpretación estaba capacitada. Lo que encontró la dejó desolada: sufría un tumor cerebral. Más estudios revelaron que se trataba precisamente de un glioblastoma multiforme, el más peligroso, veloz y mortal de los tumores cerebrales, en su caso inoperable y de crecimiento muy rápido.

Naturalmente, sus curanderos entraron a escena e inundaron su cuarto de hospital. De hecho, no sólo ellos, miles de seguidores iniciaron sus rituales para lograr su curación. Decidió así suspender su tratamiento radiológico, que mostraba avances notables, y ponerse totalmente en manos del curandero ruso Nicolai Levashov. Inicio entonces una dieta macrobiótica y una serie de rituales meditativos, a pesar del dolor intenso que la abrumaba. Contrajo matrimonio el 4 de mayo de 2002, acompañada por miembros de la comunidad parapsicológica de todo el mundo. Dejó el hospital y se fue a su granja, en el valle Portola, donde finalmente falleció el 18 de julio de 2002.

¿Alteró este hecho la fe de los creyentes en la meditación y la oración como ayudantes de la curación de las enfermedades? De ninguna manera, casi todos consideraron que si bien el cuerpo de Elisabeth había muerto, su alma había sido beneficiada. Basta consultar la página de internet [www.etarg.org](http://www.etarg.org) para comprobar que la fe de sus seguidores no ha amainado. Los experimentos de Elisabeth Targ no prestaron atención al hecho fundamental de que ha sido la ciencia médica la que ha logrado detener la muerte de enfermos del VIH-Sida; en el mejor de los casos, con dichos estudios sólo se buscó confirmar algún síntoma, por lo que actuaron de forma marginal en la salud y el bienestar de las personas.

#### **Bibliografía**

Bronson, Po. "A prayer before dying". *Wired Magazine*, No. 10.12, December, 2002.



## Hace 60 años comenzó en la Tierra la Era Atómica

Hace exactamente 60 años, el 2 de diciembre de 1942, a las 15:20, hora local, un grupo de físicos nucleares europeos emigrados a Estados Unidos y dirigidos por el físico italiano y premio Nobel, Enrico Fermi, lograban, por primera vez en nuestro planeta, iniciar una reacción de fisión nuclear controlada. El hecho ocurría bajo la tribuna del estadio de fútbol americano Stagg Field de la Universidad de Chicago.

El "aparato" era un gran cubo de bloques de Grafito, moderador y Uranio enriquecido entreverados entre sí y surcados por barras de Cadmio para controlar la reacción de fisión nuclear. Al conjunto se le llamó simplemente La Pila.

El experimento se llevó a cabo en el más absoluto secreto, a grado tal que en el brindis realizado horas después en casa del Dr. Fermi para celebrar el éxito de la prueba, ni siquiera su esposa Laura supo el motivo de la fiesta.

Es claro que el resultado del experimento era, figurativamente hablando, la punta de un gigantesco iceberg que desde hacía años se estaba formando en Estados Unidos con pequeños "cubos de hielo" unidos gracias a la acción concertada de cientos de tecnólogos, ingenieros, científicos y empresarios, quienes, a excepción de los penúltimos, tampoco sabían exactamente qué iba a resultar de su labor.

El arranque de esta hazaña científica había ocurrido en Berlín, cuando los doctores Otto Hahn y su colega y ayudante Fritz Strassmann en diciembre de 1938 descubrieron lo que el primero llamó una disgregación del núcleo del Uranio (Zerplatzen) y después se conoció como un fenómeno de fisión nuclear, por su similitud con la división de las células vivas.

Aquel descubrimiento, que iba en contra de la corriente del pensamiento de los físicos de la época, incluyendo a Enrico Fermi, tuvo un efecto similar al de una verdadera explosión, tanto en el aspecto científico como en los aspectos políticos y militares, dada la tensión que reinaba por aquellos días entre las principales potencias europeas.

El temor de que el descubrimiento de la fisión del Uranio pudiera producir una reacción en cadena utilizable belicemente, hizo que un buen número de científicos que habían huido de Alemania a Estados Unidos por su origen judío, se apresurara a buscar la manera de alertar a las autoridades norteamericanas sobre el peligro de que el régimen nazi obligara a los científicos alemanes a desarrollar lo que podría ser una nueva arma con poderes aun mimaginados. Al cabo de varios intentos lograron su propósito y, así, Estados Unidos inició,

en el más absoluto secreto, los preparativos para la separación de los isótopos del Uranio y con ello se adelantaron a los alemanes, de quienes se creía ya trabajaban en el proyecto de una bomba atómica.

El 10 de diciembre de aquel mismo 1938, Enrico Fermi y Pearl Buck, la escritora norteamericana, recibían el Premio Nobel de manos del Rey de Suecia, Gustavo V. Después de los festejos correspondientes, la familia Fermi iría a pasar una temporada a Estados Unidos en la Universidad de Columbia, Nueva York, a donde llegaron a principios de 1939. El Dr. Fermi continuaba con sus estudios de bombardeo a sustancias con neutrones lentos pensando todavía en producir elementos transuránicos, cuando recibió la noticia del hallazgo de Hahn y Strassmann respecto a la fisión del Uranio.

Sobre el prestigio del Dr. Fermi en Estados Unidos, recordemos la nota enviada al Almirante Hooper por el profesor Pergam: "No hay hombre más competente en este campo de la física nuclear que el profesor Fermi". Ese prestigio se vio confirmado con la inmediata reacción de Fermi ante el hallazgo de los químicos alemanes, que consistió en dejar a un lado la idea de los transuránicos y ponerse a trabajar de inmediato en los cálculos para determinar la posibilidad de una fisión del Uranio en cadena controlada, con la consiguiente liberación de energía, enfocada en la obtención de calor utilizable prácticamente.

Para 1940, los Fermi habían adquirido una casa en Nueva Jersey, pero al poco tiempo la entrada de Estados Unidos a la guerra convirtió a la familia en "extranjeros enemigos", lo cual complicó sus vidas, sobre todo porque Fermi ya había sido llamado a la Universidad de Chicago por el Dr. Compton para que se encargara de dirigir la construcción de una pila de Uranio y demostrar con ella la posibilidad de una reacción de fisión controlada. La familia Fermi se trasladó a Chicago, los demás problemas se resolvieron y los trabajos comenzaron inmediatamente.

Finalmente llegó el 2 de diciembre, día de la prueba definitiva. Se hizo el silencio entre los presentes, un industrial invita-

*Estados Unidos inició, en el más absoluto secreto, los preparativos para la separación de los isótopos del Uranio y con ello se adelantaron a los alemanes, de quienes se creía ya trabajaban en el proyecto de una bomba atómica.*

do y un grupo de militares y científicos del proyecto, quienes se habían situado en la parte norte del Squash Court bajo la tribuna del estadio y frente a la Pila de Uranio-Grafito.

Tres ayudantes de Fermi permanecían en lo alto de la Pila, mientras el joven físico George Weil estaba en el piso frente a la Pila con su mano puesta en la barra de Cadmio que él extraería, según las indicaciones de Fermi. Éste sería el único que hablaría durante el desarrollo de la prueba.

Comenzó Fermi: "La Pila no está funcionando ahora porque en su interior hemos puesto barras de Cadmio que absorben los neutrones que libera el Uranio. Solamente una barra, la que tiene en su mano Weil, es suficiente para impedir la reacción. Por ello, primero extraeremos todas las otras barras". En ese momento, los tres ayudantes, todos jóvenes físicos, comenzaron a sacar las barras de Cadmio, siempre mirando a Fermi quien asentía con la cabeza. Fermi siguió: "Ahora, todas las barras de Cadmio han sido extraídas menos una, la que controla George Weil. Si se iniciara una reacción en cadena por alguna razón inesperada, las barras extraídas automáticamente entrarían en la Pila y la reacción se detendría de inmediato".

"Ustedes ven este graficador —dijo Fermi apuntando al gabinete de mediciones—. La pluma está dibujando una línea horizontal a nivel cero sobre el papel, lo que significa que la Pila aún no está produciendo calor; cuando la fisión comience, la pluma dibujará una línea inclinada hacia arriba, registrando la intensidad de la reacción nuclear".

"Ahora, iniciaremos el experimento. Weil sacará la barra de Cadmio poco a poco. Tomamos antes lecturas de los instrumentos para verificar que la Pila actúa según los cálculos. Weil mantendrá la barra a 13 pies (cuatro metros), esto quiere decir que la barra está 13 pies dentro de la Pila. Los contadores Geiger comenzarán a sonar con más y más rapidez y la pluma ascenderá hasta este nivel (señaló con el dedo). ¡Adelante George!"

Los ojos se concentraron en la pluma; todos suspendieron la respiración y el sonido de los Geiger fue en aumento. La pluma ascendió y se detuvo justo donde Fermi había indicado. El industrial visitante carraspeó mirando a Fermi, que sonreía confiado.

Cada vez que Weil sacaba la barra un poco más, los contadores respondían con su aumento de clics. Fermi estaba consciente de que llevar a cabo un experimento como aquél por primera vez en medio de Chicago implicaba haber tomado todas las precauciones para evitar un accidente; su buen criterio y preparación como físico experimental quedaban de

manifiesto por la confianza con que seguía dando instrucciones y explicando lo que estaba ocurriendo por primera vez en la historia.

Inesperadamente, cuando dieron las 12 horas, todos recuerdan con una mezcla de sorpresa y estupor las palabras de Fermi: "Bien, es la hora del lunch..."

De regreso, el experimento siguió adelante y, justo a las 15:20 horas, Fermi le dijo a Weil: "Saca la barra otro pie (30 centímetros)", y dirigiéndose a su inmóvil y ansioso público, anunció: "Esto lo hará, ¡ahora la Pila comenzará una reacción en cadena...!"

Los contadores aumentaron su ritmo en forma continua; la pluma comenzó a dibujar una trayectoria inclinada, sin ninguna tendencia a nivelarse. Los ayudantes estaban listos para bañar la Pila con Cadmio líquido, por si algo inesperado ocurría, pero no fue así. Fermi mantuvo durante 28 minutos la reacción en cadena y, al final, dijo sencillamente: "Metan las barras muchachos, la prueba ha terminado".

Se sabe que Eugene Wigner, quien estaba en el grupo, "produjo" una botella de Chianti, la destapó y ofreció en emocionado silencio a Enrico Fermi. Todos sin poder aún hablar brindaron en simples conos de papel (se ignora cómo Wigner mantuvo la botella escondida todo el tiempo). Arthur Compton tomó un teléfono ahí mismo y habló a la Rectoría de la Universidad para decir:

"El navegante italiano ha llegado al Nuevo Mundo..."

En el otro extremo, James Conant preguntó: "¿Y cómo encontró a los nativos?"

"Los ha encontrado muy amigables...", respondió Compton.

---

\* En la edición núm. 167 se publicó este artículo, pero hacia el final del mismo se incluyeron unas líneas que no pertenecían al original y cambian el sentido de lo presentado por el autor. En este número reproducimos el artículo íntegro y ofrecemos una disculpa a nuestros lectores y al Ing. José de la Herrán por tan lamentable error.

## Ciencia, prensa y vida cotidiana

*...si hubiera sabido explicar en qué consiste que el chocolate de espuma, mediante el movimiento del molinillo; por qué la llama hace figura cónica, y no de otro modo; por qué se enfría una taza de caldo u otro licor soplandola ni otras cosillas de éstas que traemos todos los días entre manos.*

El Periquillo Sarmiento

Esta sección de Ciencia y Desarrollo, fascinada por las andanzas y logros de aquellos espíritus animados por el conocimiento, e interesada en identificar a esos curiosos que al entusiasmarse tanto con la idea de penetrar algunos de los misterios de la naturaleza se sentían obligados a comunicar sus hallazgos y dudas, fija su atención en un inquieto poeta, nacido en Cuba hace 200 años y llegado a nuestro país en 1819 para desarrollar una intensa e inspirada labor literaria y editorial: José María Heredia y Heredia.

Estoy enterado de que se preparan actos para recordarlo a lo largo del año como autor de poemas fundacionales del romanticismo mexicano, como "Oda al Niágara" y "Meditación en el teocalli de Cholula"; por lo pronto, sin querer quedarme atrás expondré ante mis distinguidos lectores un tímido apunte de su labor como editor de revistas literarias. En 1826, José María Heredia se asoció con los italianos Claudio Linati y Florencio Galli para fundar *El Iris*, revista literaria mexicana considerada como la primera del México independiente, donde Heredia dejó testimonio de su agudeza crítica.

María del Carmen Ruiz Castañeda, una de las mayores amantes de la prensa literaria del siglo XIX, preparó una edición facsimilar de *El Iris*, con estudio introductorio de Luis Mario Schneider, y rescató otra revista que Heredia animara en 1834: *Minerva*, título que revela el compromiso de nuestro personaje con el saber. La vida de ésta fue muy breve, pero de ella hemos tomado parte de la sección que Heredia destinaba a lo que consideraba "Variedades", notas misceláneas de interés científico que confirman, por cierto, el carácter enciclopédico que tenían estas publicaciones durante la primera mitad del siglo XIX.

Vaya pues uno más de nuestros aplausos a quienes creían en la importancia de la divulgación de la ciencia.

### Variedades

#### CURA DE LA HIDROFOBIA

Mr. Buisson ha dirigido en octubre último a la Academia de las Ciencias de París, una comunicación en que reclama un tratadito sobre la hidrofobia, que firmado con una sola inicial remitió desde 1823.



En él refiere que lo llamaron a visitar una mujer, la cual, según se le informó, llevaba tres días de padecer dicha enfermedad. Tenía los síntomas ordinarios, a saber: constricción en la garganta, incapacidad de tragar, secreción abundante de saliva, y espuma en la boca. Sus vecinos dijeron que unos cuarenta días antes la había mordido un perro rabioso. La sangraron a instancia suya, y pocas horas después murió, como se esperaba.

Mr. Buisson, que tenía las manos cubiertas de sangre, se las limpió inadvertidamente con una toalla que había servido para limpiar la boca a la enferma. Entonces tenía un dedo ulcerado; pero creyó suficiente lavarse con un poco de agua la saliva que se le había adherido.

A los nueve días, andando en la calle, le atacó repentinamente un dolor en la garganta y otro aún más fuerte en los ojos. Continuamente se le llenaba la boca de saliva; la impresión del aire y la vista de los objetos brillantes le causaban una sensación dolorosa; su cuerpo le parecía tan ligero que se juzgaba capaz de saltar a una altura prodigiosa, y sentía deseo de correr y morder, no a gente, pero sí a los animales y cuerpos inanimados. Por último, bebía con

dificultad, y la vista del agua le molestaba todavía más que el dolor de garganta.

Estos síntomas se repetían cada cinco minutos, y le parecía que el dolor empezaba en el dedo afectado y de él corría hasta el hombro.

Todos estos síntomas le persuadieron que estaba atacado por hidrofobia, y resolvió terminar su vida sofocándose en un baño de vapor. Con tal objeto hizo disponer uno, y cuando el calor subió a los 107 grados 36 minutos, por el termómetro de Fahrenheit, tuvo la sorpresa más grata al sentirse ya bueno. Salió del baño, comió con gran apetito y bebió más de lo que acostumbraba. Desde entonces, dice, ha asistido con igual método a más de ochenta personas mordidas, en cuatro de las cuales se habían manifestado ya los síntomas de la hidrofobia, y todas curaron, excepto un niño de siete años que murió en el baño.

El método curativo que recomienda es que la persona mordida tome cierto número de baños de vapor (llamados comúnmente rusos) y promueva todas las noches un sudor violento, envolviéndose en frazadas y echando sobre sí un colchón de pluma; el sudor se promueve más bebiendo con abundancia un cocimiento caliente de zarzaparrilla.

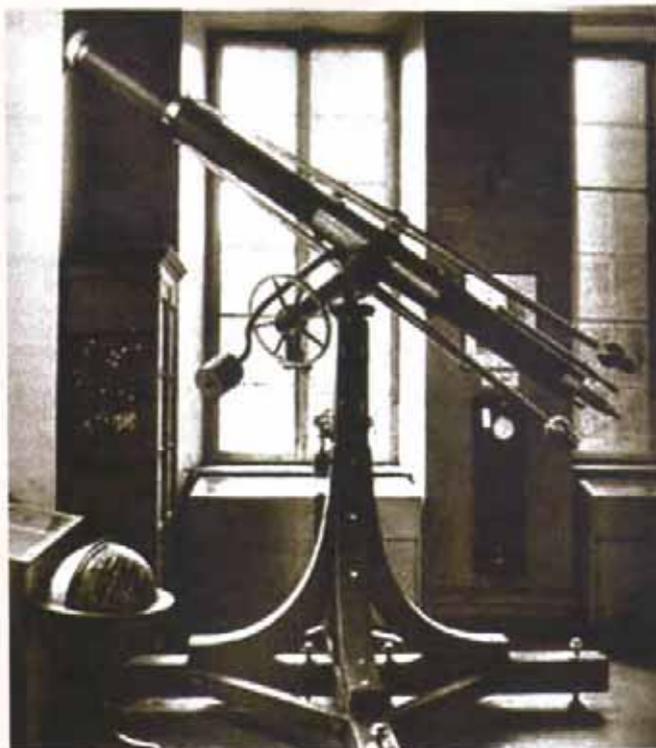
Mr. Buisson se cree tan seguro de la eficacia de este método, que dice no tener embarazo en inocularse la hidrofobia; y en prueba de ser útil la transpiración copiosa y continuada refiere la siguiente anécdota: Un perro con rabia mordió a un pariente del famoso músico Grétry, y a otras personas, que todas murieron de hidrofobia. Pero él, cuando sintió los primeros síntomas del mal, se puso a bailar día y noche, diciendo que trataba de morir alegre, y curó.

El autor cita por último la antigua creencia de que el baile es remedio para la picadura de la tarántula; y observa que los animales en quienes con más frecuencia se desarrolla la hidrofobia espontáneamente, son los perros, lobos y coyotes, que nunca sudan.



#### TELESCOPIO GIGANTESCO

En la fábrica de instrumentos ópticos de Utzschneider, en Munich, acaba de construirse un telescopio gigantesco, según el sistema de Fraunhofer, que tiene quince pies de distancia focal, siendo su lente

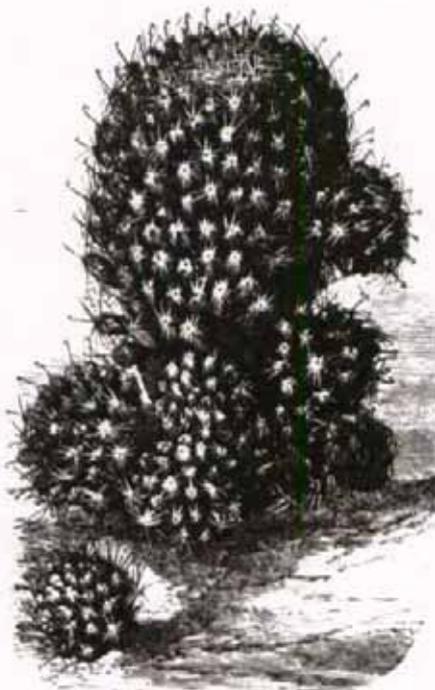


objetivo de diez pulgadas y media de diámetro. Excede un tamaño y alcance a los mayores telescopios construidos en vida del ilustre Fraunhofer, y los profesores de astronomía en la Universidad de Munich, habiéndolo examinado y probado con gran escrupulosidad, aseguran que es una obra maestra perfecta. La claridad y distinción de un cuerpo celeste visto con él, son a las del telescopio de Dorpat construido por Fraunhofer (que tiene trece pies de distancia focal y nueve pulgadas de diámetro en el lente objetivo) como 21 a 18, y la intensidad de la luz como 136 a 100. Respecto de este instrumento magnífico puede usarse literalmente la expresión vulgar de que aproxima a los objetos. Así cuando Saturno en su mayor inmediación a la Tierra dista de ella 165.000.000 de millas geográficas, magnificado 816 veces por ese telescopio, parece haberse aproximado a la distancia de 202.000 millas; y la Luna, en su menor distancia de la Tierra, cuando se magnifica del mismo modo, parece haberse acercado a sólo 68 millas geográficas, poco más de la distancia que hay en línea recta entre Atenas y Constantinopla.

## COCHINILLA EN ÁFRICA

Deseoso el Ministerio de la Guerra Francés de introducir en Argel la multiplicación de la cochinilla y el cultivo del nopal o cactus, encargó a Mr. Loze, cirujano de marina, que fuese a Andalucía y trajera secretamente el insecto precioso que da un color tan bello. Su viaje ha tenido un éxito completo. Vuelto al África, se le ha señalado un vasto local para que pudiera conservar abrigadas de las largas lluvias de invierno las cochinillas que había recogido en España. Por octubre y noviembre los insectos pusieron sus huevos, que ya han producido, y que Mr. Loze ha

puesto en doscientos nopales del país. En ellos han prosperado las cochinillas tan bien como en los nopales importados de España. Los nuevos insectos habrán puesto en abril y mayo de este año, y con sus huevos se podrá intentar un ensayo grande en dos mil pies de nopal. Si este experimento sale bien, como es creíble, la nueva posesión africana de Francia habrá adquirido un ramo de industria y comercio muy lucrativo. Dentro de pocos años quedará Francia libre del tributo anual que paga a España, y sobre todo a México, para adquirir la cochinilla que tanto se usa en sus fábricas de toda especie.



## RENOVACIÓN DEL ORO

Hay un modo fácil y económico para resucitar el brillo del oro en los cuadros y otros muebles dorados viejos. Bátanse tres onzas de clara de huevo con una onza de clórido de potasa o sosa, frótese el dorado con un cepillo suave empapado en esa mixtura, y al punto cobrará su brillantez.

## AVENTADORES SEMOVIENTES



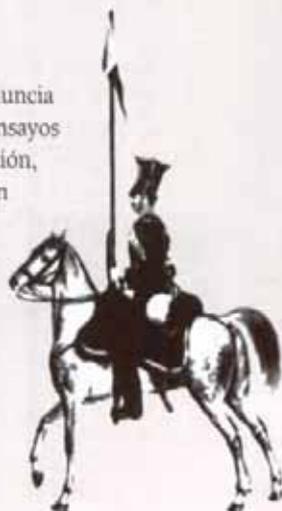
Guillermo Gala, artesano de Abroath, en Inglaterra, ha construido un par de aventadores semovientes, que sin el auxilio del hombre avientan trigo, cebada, etc. La sencillez de esta invención es asombrosa. El trigo cae por un embudo de hoja de lata a una rueda de hierro llena de aletas alrededor, equilibrada con tanta delicadeza que apenas cae un grano, gira la rueda y echa el trigo sobre los aventadores que están debajo. Paralela con la rueda de hierro está otra de madera, y sobre ésta va una correa atada a la rueda voladora de los aventadores que los impele; así mientras queda un solo grano, se mueve la máquina y lo avienta.

## CURIOSIDAD LITERARIA

El Almanaque de Carlsruhe para 1834 contiene varias láminas muy finas, entre ellas los retratos de Otón, rey de Grecia, y del general Jackson, Presidente de los Estados Unidos; sin embargo no es mayor que el dedo pulgar de un hombre mediano.

## FUSILES NUEVOS

La Gaceta universal de Augsburgo anuncia que en Prusia se han hecho varios ensayos con unos fusiles de nueva invención, que si tienen buen éxito producirán una revolución en el arte de la guerra y harán casi inútiles las baquetas. Nadie ignora el celo con que el gobierno prusiano atiende a su ejército, y debe creerse que si estos fusiles nuevos se adoptan en Prusia, deberá cesar en toda Europa el uso de las armas actuales.



A Toro Pasado  
(solución al torito del número 168)

## Creced y multiplicad

### Los numerofilicos

Las ciudades son muy antiguas. Ya lo sabemos, pero el saberlo no nos impide olvidarlo a menudo. Con mucha frecuencia las asociamos con la modernidad, con todas sus virtudes y todos sus desastres. Y cuando pensamos en el mundo rural y bucólico, acostumbramos a verlo como algo propio del pasado, pasando por alto que también existe un pasado urbano, un pasado remoto y urbano a más no poder.

La antigüedad conoció grandes ciudades en cuatro de los cinco continentes... y no por casualidad. Junto con ellas también conocieron muchos de los grandes problemas que hoy las siguen aquejando. A lo mejor, nuestros ciudadanos ancestros no tenían que romperse demasiado la cabeza con el tráfico o la contaminación, pero sí con el drenaje o la delincuencia, por ejemplo.

Por ello mismo, el mismísimo Platón se ocupó de cuestiones de urbanística, que para él tenían una clara proyección *ciudadana* y *política*, palabras ambas que remiten al sentido original de ciudad. En particular, se preocupó del problema



que ahora y aquí nos ocupa: dividir la urbe en un número adecuado de sectores básicos, que pudieran luego agruparse de manera distinta de acuerdo con las diferentes necesidades de gobierno y administración.

Fue así como en su texto *Las Leyes*, en el libro V, propuso que Atenas fuera dividida en 5 040 sectores, el número menor que posee 60 divisores distintos. También hubiera podido optar por el de 7 560, que es el más pequeño de los que tienen 64 divisores, y que, siendo mayor por supuesto, es de una magnitud asaz razonable. Si acabó decantándose por el 5 040 fue, probablemente, porque es exactamente el factorial de siete, cifra cabalística de cuyo hechizo, por lo visto, no se libraba ni el más perspicaz pensador.

Si intentó usted hallarlo, aplicado lector, y sobre todo si lo halló, se habrá dado cuenta de que no son habas. Es necesario querer mucho a los números para trenzarse con ellos de esa manera. Por lo visto los maniáticos de los números, los *numerofilicos*, son tan antiguos como las ciudades mismas. ●

## Corte una oreja

Háganos llegar su respuesta de manera clara, con una breve explicación sobre la forma como obtuvo el resultado a:

Revista *Ciencia y Desarrollo*  
Av. Constituyentes 1046, 1er. piso,  
Col. Lomas Altas  
Del. Miguel Hidalgo  
México 11950, D.F.

Por medio de fax, al número (01) 5327 7400, ext. 7723, vía correo electrónico a [cenciaydesarrollo@conacyt.mx](mailto:cenciaydesarrollo@conacyt.mx). En cualquier caso, no olvide encabezar su envío con la acotación: *Desde lado del espejo*.

### Los acertantes al torito 168 son:

Iván Salazar Galindo  
Rafael Gálvez Garduño  
Floriberto Pérez Mendoza  
Jorge A. Real  
Sergio Elías  
Héctor Lomeli

Quienes a vuelta de correo recibirán sus ejemplares de la colección *La ciencia para todos*. ¡Felicidades!

## El Torito

### ¿No podríamos platicar de pie?

Usted aquí, sire

En otra de las notas de esta entrega le hablo del amor que a veces se hace manía por los números. Pero existe hacia ellos también la fobia, el horror. Que "los números son difíciles" es una idea harto difundida. Sin embargo, quienes ello sostienen parecen olvidar que los números se inventaron precisamente para facilitar las cosas. Ciertas cosas, digamos. Los números no son otra cosa que una manera de sistematizar cierta realidad. Realidad que, una vez sistematizada, podemos abordar de manera algorítmica o metódica.

Los problemas que no pueden ser *numeralizados*, en cambio, pueden volverse endiablados, precisamente por eso. Les tiene uno que entrar de alguna otra manera, que en general tiene que inventar. Y eso no siempre es fácil. Casi nunca. A ver, déjeme proponerle esta vez un *torito* que, sin ser especialmente difícil, tampoco es enchilame ahí unos jabalies.

Una de las pocas cosas que usted y yo sabemos acerca del mítico rey Arturo, es que tenía como súbditos a ciertos caballeros, y que tenía también una mesa redonda. Y que de vez en cuando sentaba a sus caballeros a su mesa redonda. Suponga, pues, que Arturo tiene un asunto escabroso que tratar con los nobles. Asunto que les va a tomar tres noches enteras. Convoca para ello a Beleobus, Caradoc, Driam, Eric, Floll y Galahad y los invita a sentarse, por supuesto. La primera noche los invita a hacerlo en orden alfabético, incluyéndose él mismo, alrededor de la mesa. Pero las dos siguientes noches les impone la condición de que se sienten en otro orden, de manera que ninguno tenga como vecino de mesa a quien ya tuvo en alguna noche anterior. Ya sabe usted, esos medievales y sus misterios. Y si además de medievales son ingleses, ya ni le cuento.

Pero para acabarla de enredar, en la segunda y tercera noches -de nuevo vaya usted a saber qué intriga estaba en juego- Arturo quiso que Beleobus estuviera lo más cerca posible de él (quien ya quedamos que no podía estar sentado junto a Arturo, pues lo había estado en la primera sesión) y Galahad lo más lejos posible. ●

¿Podría usted, hacendoso lector, indicar cómo deberían sentarse, cada noche, para cumplir el capricho del rey? En dos meses le cuento yo cómo cuenta la historia que le hizo él. Quién quita y acabará usted añorando los números.



## El arado más rápido del oeste

Los otros cuarentaynueves

La manera en que la ciencia influye sobre la vida cotidiana es algo de lo que hemos hablado en más de una ocasión en *de este lado del espejo*. Basta echar una ojeada a nuestro alrededor para constatar hasta qué punto la ciencia está en cada cosa.

Desde el botón con el que nos abrochamos la camisa, hasta el cerillo con el que encendemos la estufa. Para no hablar, por supuesto, de los instrumentos más sofisticados y cada día más familiares. Para lograr esta presencia apabullante, la ciencia cuenta con su fiel aliado y cómplice, la tecnología. La tecnología ha sido desde siempre el gran intermediario.

Pero no es sólo la vida cotidiana la que se haya bajo el influjo de la investigación científica. Es la historia misma la que se ve determinada por el curso de la ciencia y la tecnología. Desde los artefactos de guerra hasta los de la medicina, pasando por los de la comunicación, en sus distintas etapas. Si los acontecimientos más determinantes han seguido un determinado camino y no otro, es porque la ciencia así lo ha permitido y, de alguna manera, así lo ha determinado.

A menudo se acostumbra considerar que quienes hacen la historia, quienes establecen su rumbo, son los políticos. Los políticos y los militares, digamos. El Poder, en suma. Y con la misma frecuencia se olvida que no pocas veces es ese hombre modesto, que nunca sale en la tele, el que, a cambio de un salario que apenas llega a honorable, desde su cubículo o laboratorio, está cambiando el mundo.

Dos matones se encuentran en la cantina, en el *saloon*, de un pueblo perdido en el lejano oeste. Después de intercambiar miradas agresivas, el uno le dice al otro: "Será mejor que te vayas, forastero, antes de que nos enojemos los tres". El otro, desconcertado, no ve a nadie más y pregunta "¿Cuáles tres?". A lo que el primero contesta, mirándose la cadera y soltando el consabido escupitajo de tabaco: "Smith, Wesson y yo".

El cándido y tierno chiste se inscribe en la vieja y acendrada leyenda según la cual la conquista del oeste de Estados Unidos, a mediados del siglo antepasado, fue posible gracias a los *cowboys*, los *sheriffs*, al *Séptimo de caballería* y a toda suerte de empistolados.

En realidad, sin embargo, lo que realmente permitió el asentamiento de los colonos recién llegados, fueron tres innovaciones tecnológicas flamantes y precisas: el arado con hoja de acero, el alambre de púas y el molino de viento portátil. ●



## Marzo y abril de 2003

En marzo comienza la primavera, pero el clima es bastante variable en la meseta central, donde vivimos más de 25 millones de mexicanos. Sin embargo, hay noches despejadas. En ellas, si nos alejamos unos kilómetros de las grandes ciudades, sobre todo cuando no hay Luna, podemos apreciar a simple vista el esplendor del cielo a principios de marzo.

A eso de las nueve de la noche, se observa el gran hexágono formado por las estrellas de primera magnitud Capella, la más al norte, de la constelación Auriga; Pólux, la estrella amarilla de Gémini, con Castor azul, su vecina, apuntando hacia Capella; Porción, del Can Menor, parecida en tamaño y temperatura al Sol; Sirio, más al sur, la estrella más brillante del cielo, de la constelación Can Mayor; Rigel, de Orión, muy azul; y finalmente, Aldebarán, de la constelación Taurus, rojiza que cierra el hexágono primaveral.

Desde luego, también se puede ver a la Vía Láctea cruzando dicho hexágono casi por el centro, con sus millones de estrellas que, por lejanas, apenas distinguimos como una nube blanquecina, por la cual el conjunto estelar toma su nombre.

En abril, si miramos al sur-sureste a la misma hora que en marzo, veremos cómo se comienza a levantar la Cruz del Sur, que preside a las estrellas Alfa y Beta de la constelación Centaurus. Alfa es una estrella triple, el sistema estelar más próximo a nosotros: "solamente" a 4.3 años-luz.

Hacia el sur-suroeste se ve Canopus, la segunda estrella más brillante del cielo, de la constelación Carina. Casi tan brillante como Sirio, Canopus es cientos de veces más potente. Para mostrar esto tomemos en cuenta las distancias. Sirio está a 8.7 años-luz de nosotros y Canopus, casi a ¡200 años-luz!

Hacia la media noche, Centaurus ha culminado su avance en el sur. Es entonces cuando podemos apreciar a simple vista el maravilloso cúmulo globular llamado Omega, el más imponente de los que rodean nuestra galaxia, compuesto por cientos de miles de estrellas que forman una nube esférica cuya densidad estelar crece hacia su centro.

### Marzo

Durante todo el mes se pueden ver Júpiter y Saturno muy brillantes, el primero en la constelación Cáncer y el segundo, en Taurus. Además, Marte se acerca a la Tierra y el amanecer se observa próximo a Scorpius.

A las 19 horas del 20 de marzo ocurre el equinoccio de Primavera, momento en que en todo nuestro planeta el día y la noche tienen la misma duración, debido a la intersección del plano del ecuador terrestre y la eclíptica, en una línea que apunta hacia el Sol.

El día 21, Mercurio está en conjunción superior, esto es, detrás del Sol y, por lo tanto, es invisible desde la Tierra.

### Abril

El 3 de abril Júpiter está estacionario, listo para iniciar nuevamente su movimiento directo.

El 16, Mercurio se encuentra en su máxima elongación este (20 grados por arriba del Sol poniente), visible en el oeste cerca de media hora después de la puesta del Sol.

El 23, Marte, ubicado tres grados al norte de la Luna, es visible a partir de la media noche.





### Lluvias de estrellas

De las cuatro lluvias de estrellas que hay en el bimestre, las más importantes son las Virgínidas y las Liridas.

Las Virgínidas son estrellas fugaces producidas por pequeños aerolitos que penetran a nuestra atmósfera a relativamente baja velocidad (30 km/seg) y dejan trazos amarillentos y de larga duración. Tienen varios máximos que ocurren a fines de marzo y principios de abril y la Luna Nueva favorece su observación.

El máximo bien definido de las Liridas ocurre entre el 19 y el 20 de abril. Su velocidad de ingreso a la atmósfera es de 50 km/seg, por lo que sus estelas son blancas y brillantes. Este año la Luna casi llena diluye su contraste por el brillo que provoca en el cielo, pero por la intensidad luminosa de los trazos se salva en parte la situación.

### Coordenadas de los planetas distantes al 30 de marzo

	Ascensión recta	Declinación
Urano	22 horas 13' 15"	-11 grados 47' 19"
Neptuno	21 horas 00' 03"	-17 grados 00' 10"
Plutón	18 horas 18' 56"	-13 grados 38' 22"

### Fases de la Luna

	Apogeo dia/hora	Perigeo dia/hora	Nueva dia/hora	Creciente dia/hora	Llena dia/hora	Menguante dia/hora
						
Enero	7/11	19/13	2/21	11/01	18/04	24/20
Febrero	3/22	16/23	1/13	9/18	16/14	23/06

## Los Premios Nobel otorgados en el siglo xx Distribución numérica por países (actualización)

MARIO GARCÍA HERNÁNDEZ

La consulta en el sitio oficial en la Red de The Nobel Foundation para el Nobel e-Museum ([www.nobel.se/](http://www.nobel.se/)) me ha llevado a preparar un nuevo recuento de "Los Premios Nobel otorgados en el siglo XX. Distribución numérica por países", publicado en la edición 169 de enero-febrero de este año. El propósito es proporcionar a los lectores de *Ciencia y Desarrollo* una distribución numérica más precisa. Con esto se corrigen omisiones y se actualiza la relación presentada.

### Distribución del número de investigadores, creadores y humanistas que recibieron el Premio Nobel en el siglo xx (1901-2000)

País	Fisiología o Medicina	Física	Química	Literatura	Paz	Economía (desde 1969)
Alemania	15	14	26	9	4	1
Argentina	1		1		2	
Australia	1		1	1		
Austria	1	3	1		2	
Bélgica	2		1	1	4	
Birmania					1	
Canadá	2	2	2		1	1
Checoslovaquia			1			
Chile				2		
China		1		1		
Colombia				1		
Corea del Sur					1	
Costa Rica					1	
Dinamarca	5	3	1	3	1	
Egipto		1			1	
España	1			5		
Estados Unidos	68	61	32	10	19	26
Finlandia			1	1		
Francia	8	10	1	11		1
Grecia				2		
Gran Bretaña	20	20	23	8	11	7
Guatemala				1	1	
Holanda	2	7	3		1	1
Hungría	2		1			
India		1		1		1
Irlanda		1		3	1	
Islandia				1		
Israel				1	1	
Italia	2	2	1	6	1	
Japón		3	2	2	1	
México				1	1	
Nigeria				1		
Noruega			1	3	2	2
Paquistán		1				
Palestina					1	
Polonia				3	1	
Portugal	1			4		
Rusia	2	1				
Santa Lucía				1		
Sudáfrica			1	1	3	
Suecia	8	4	4	6	5	2
Suiza	5	1	5	2	10	
Tíbet					1	
Timor del Este					2	
Unión de Sudáfrica	1					
Unión Soviética		7	1	4	2	1
Vietnam del Norte					1	
Yugoslavia				1	1	
Organizaciones humanitarias*					17	

\*Organizaciones humanitarias:  
 Instituto de Derecho Internacional (Ginebra), 1904.  
 Oficina Internacional de la Paz (Berná), 1910.  
 Cruz Roja Internacional (Ginebra), 1917.  
 Oficina Nansen para Refugiados (Ginebra), 1938.  
 Cruz Roja Internacional (Ginebra), 1944.  
 Comité Americano de Servicio para Amigos y Consejo para el Servicio de Amigos (los cuáqueros) (Washington y Londres, respectivamente), 1947.  
 Oficina del Alto Comisionado de la Organización de Naciones Unidas (ONU) para Refugiados (Ginebra) 1954.

Liga de Sociedades de la Cruz Roja (Ginebra), 1963.  
 Fondo de la ONU para los Niños (UNICEF) (Nueva York), 1965.  
 Organización Internacional del Trabajo (Ginebra), 1969.  
 Amnistía Internacional (Londres), 1977.  
 Oficina del Alto Comisionado de la ONU para Refugiados (Ginebra), 1981.  
 Médicos Internacionales para la Prevención de la Guerra Nuclear, 1985.  
 Fuerzas de la ONU para el Mantenimiento de la Paz, 1988.  
 Conferencias Panwash sobre Ciencia y Asuntos Mundiales, 1995.  
 Campaña Internacional para Proscribir las Minas Terrestres, 1977.  
 Médicos sin Fronteras, 1999.

## Biotecnología

### Una respuesta en pro del desarrollo

"México es una de las regiones con mayor diversidad biológica del planeta, existen además en nuestro territorio muchas especies de animales, plantas y microorganismos que no se encuentran en ninguna otra parte del mundo. Ésta es una gran riqueza, de mayor potencial que el petróleo, ya que éste es un recurso no renovable. La biodiversidad es renovable y, si la utilizamos de manera inteligente y respetuosa, podremos soportarnos en ella indefinidamente."

Para lograrlo y con el objeto de contar con un documento de referencia que permita al lector tener una imagen de la situación y las posibilidades que tiene el país en cuanto al desarrollo de la biotecnología, un grupo de 21 expertos académicos y profesionales fueron convocados por el Conacyt para preparar esta edición que presenta un amplio panorama sobre lo que sucede en torno a la biotecnología.

A lo largo de 12 capítulos, divididos en tres partes (más un glosario), este documento contribuye a conocer el estado de la biotecnología en México y pretende orientar las acciones y los esfuerzos que deben realizarse en nuestro país para desarrollar la biotecnología mexicana como un área estratégica, con la utilización responsable del conocimiento biológico y de nuestra diversidad, en beneficio de la nación.

La primera parte del libro atiende asuntos que forman parte del marco general de la biotecnología: Ciencia y tecnología para el desarrollo del país y definiciones, Importancia de la biotecnología para la economía mexicana, Diagnóstico de la situación de la biotecnología en México, Marco legal e institucional y Percepción pública de la biotecnología.

La segunda aborda las aplicaciones de la biotecnología en diversos sectores, como el agrícola, de salud, medio ambiente y biodiversidad, marina y acuicultura, pecuario y en la industria.

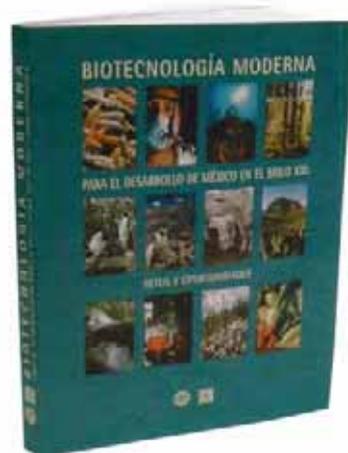
Por último, en el resumen global que se presenta en la tercera parte, los autores establecen las conclusiones y recomendaciones generales, además de proponer El Programa Nacional de Biotecnología.

La información presentada por los especialistas en cada área llama al lector a reflexionar sobre el hecho de que "La biotecnología es la mejor opción que tiene México para

enfrentar muchas de estas demandas y retos en los campos de la salud, los alimentos, la contaminación del medio ambiente y la industria. El apoyo a la biotecnología en nuestro país permitirá obtener nuevos conocimientos y tecnologías para la solución de estos problemas". ●

Francisco Bolívar Zapata (coord. gral.) *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI: retos y oportunidades*. Ed. Conacyt-FCE, México, 2002, 339 pp.

Ventas: Arturo Flores Sánchez 5238 4534 y en librerías

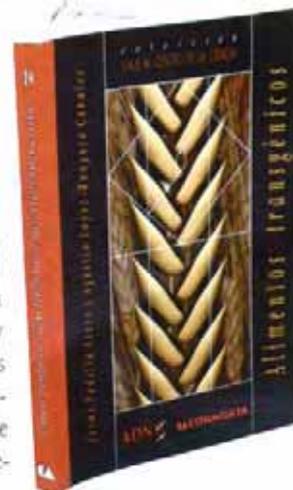


## Alegoría química

### Una reconstrucción de la biotecnología

Sin dejar de plantear con claridad su postura a favor del uso de la biotecnología en la agricultura y en la industria, en Alimentos transgénicos, los autores le dan voz a una serie de personajes que dialogan y debaten en torno a intenciones, procedimientos, ventajas, riesgos e interrogantes relacionados con la generación y aplicación de los transgénicos en la alimentación. Asimismo, a lo largo de 18 capítulos no pierden la oportunidad para platicar y analizar importantes aspectos de la inocuidad de estos alimentos, su impacto ambiental y repercusión socio-económica.

A través de diálogos, relatos, fábulas o reportajes imaginarios, Padilla y López-Murguía proporcionan información importante sobre los transgénicos y el desarrollo de la biotecnología. Con títulos sugerentes como "Mac Pérez y la comida rápida", "El desayunador solitario", "La bioindustria y el periférico", "Propiedad privada" y "Reivindicando a Frankenstein", los autores ofrecen una amplia visión acerca de los alimentos transgénicos. Desde el tipo de falsa información que sorpre-



sivamente podría recibir un individuo en su correo electrónico, de lo que fundamentadamente o no piensa un estudiante de preparatoria o un padre de familia hasta lo que el hombre ha sido capaz de producir con la ayuda de la química para la preservación y mejora de los alimentos. Sumado a lo anterior, abordan desde el análisis de los riesgos que conlleva aplicar la biotecnología hasta establecer conclusiones sobre la agricultura, la biotecnología y los alimentos transgénicos como asuntos globales.

Los autores proporcionan información, cuestionan, disertan, hablan de química y permiten que sean otros los que investiguen, pregunten y hablen de, entre muchos otros temas: el procesado biotecnológico de los alimentos tradicionales (cerveza, pan y yogurt); sobre la percepción pública de los productos de la biotecnología, su evaluación sanitaria y la solución de problemas de producción primaria; las consecuencias de la desinformación, de los excesos en la alimentación y de la búsqueda de la productividad a toda costa; evolución de la tecnología del maíz, desde la nixtamalización hasta los cultivos transgénicos en el organismo humano y en la nutrición; la propiedad intelectual y sus consecuencias más extremas, sobre la necesidad de una política nacional al respecto y de una responsabilidad en la divulgación de la información, los elementos básicos para la construcción de plantas transgénicas y sobre por qué el término Frankenstein es inadecuado para referirse a ellas.

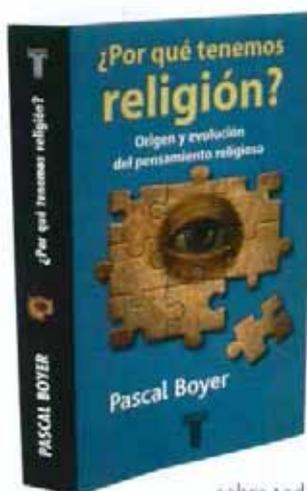
Este libro representa un juego lúdico para conocer y preguntarse más sobre lo que puede llegar a ser y hacer la biotecnología en beneficio de los seres humanos.

Padilla Acero, Jaime y Agustín López-Munguía Canales, *Alimentos transgénicos*, ADN-CONACULTA, colección. Viaje al centro de la ciencia, México, 2002, 214 pp. ●

## Religión:

### Explicación y consuelo

Según Pascal Boyer tenemos religión porque nuestras mentes fueron programadas por la evolución para ello. Después de años estudiando los procesos cognitivos que intervienen en la adquisición, uso y transmisión del conocimiento cultural y religioso, Boyer presenta esta especie de *summa* (sustentada en investigaciones



antropológicas, ontológicas y culturales) sobre el origen de la religión como fenómeno y el modo en que han surgido diversas religiones.

El fundamento de la necesidad religiosa —dice— ha sido ya explicado de manera aceptable por los antropólogos: se debe a la necesidad de explicar el origen de las cosas, pero

sobre todo, para enfrentarse a la nada.

Sin embargo, esto no explica la existencia de morales, ritos o religiones distintas, ni de las definiciones individuales sobre asuntos metafísicos.

La diversidad se debe al modo en que seleccionamos respuestas válidas, aunque no a través de la razón sino por medio de un conjunto de modos cognitivos diferentes (emotivos, empíricos, de sentido común). Lo convincente para la mayor parte de la humanidad dista de ser una ecuación; así, según las repuestas mejor asumidas por las colectividades, se van generando explicaciones, ritos y mitos. Aunque no de un modo sencillo: una vez que hay un consenso relativo sobre “cómo enfrentar la nada”, un grupo de especialistas instruidos (sacerdotes, chamanes, etc.) se encargará de hacerlo menos local, es decir, de institucionalizarlo.

Sin embargo no hay una historia de las religiones, sólo un *modus operandi*. Según el autor: “No existe una sola línea de descendencia humana través de la cual la gente haya empezado con una variedad de conceptos contraintuitivos y después los haya refinado, para terminar con lo que hoy llamamos religión.”

Con este texto Pascal Boyer, al sumar descubrimientos de muchos otros investigadores, ofrece un acercamiento científico a la religión, que —en sus propias palabras— ha pasado de ser un misterio a “un conjunto de problemas difíciles pero manejables.”

Pascal Boyer, *¿Por qué tenemos religión? Origen y evolución del pensamiento religioso*, Taurus, México, 2002, 576 pp. ●

## Sistema de Información Nodal

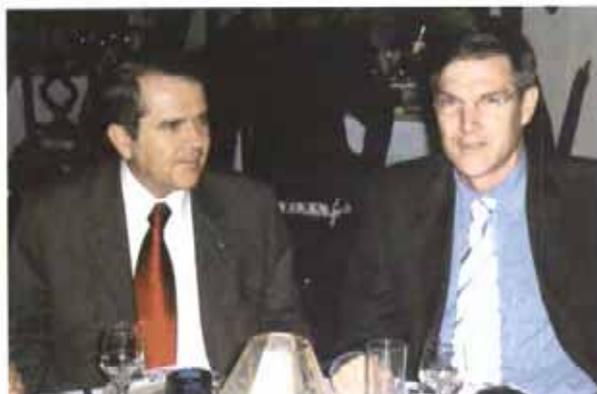
Un vínculo entre productores y usuarios del conocimiento científico y tecnológico

El ingeniero Jaime Parada Ávila, director general del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y el ingeniero Víctor Lizarde Nieto, director del Centro de Tecnología Avanzada (CATEQ) formalizaron mediante un convenio el Sistema de Información Nodal del Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica y Tecnológica-CIATEQ 2002, el cual se implantará en los Centros de Investigación del Conacyt.

Este sistema pretende identificar los alcances de la investigación científica y tecnológica; buscar posibles complementariedades, conocer y difundir sus resultados; precisar el acervo de recursos humanos, materiales científicos y tecnológicos, así como de su composición y evolución, para propiciar la vinculación entre los productores y usuarios del conocimiento científico y tecnológico con la finalidad de promover la modernización y competitividad del país.

La construcción del Sistema de Información Nodal SIICYT-CIATEQ se llevará a cabo en

tres etapas: la primera contempla la operación de dos módulos, el de investigadores y de proyectos; la segunda, el funcionamiento de los módulos restantes, y la tercera, la incorporación de las nuevas funcionalidades que se vayan desarrollando para el SIICYT. Actualmente se tiene un avance de 60% de la primera etapa.



Ing. Jaime Parada director general del Conacyt y Dr. Rolf Grisebach presidente del grupo editorial Georg Von Holtzbrinck

## Inversiones alemanas

Un mayor apoyo para divulgar la ciencia mexicana

Empresarios del grupo editorial alemán Georg Von Holtzbrinck (GMBH) se encuentran interesados en invertir en nuestro país, por considerar que se trata de una puerta muy importante para realizar negocios con América Latina.

Tras la visita que realizó el Ing. Jaime Parada Ávila, titular del Conacyt, al país germano, directivos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología se reunieron con representantes del grupo alemán, en lo que se consideró un acercamiento para tratar lo relacionado con proyectos enfocados a la divulgación de la ciencia en México.

Este consorcio alemán ha dado los primeros pasos en este sentido, al impulsar el proyecto editorial de la revista *Scientific American*, cuya versión mexicana se presentó a finales del año pasado ante personalidades del mundo científico.

co. En mayo próximo este grupo lanzará una revista de ciencia y tecnología para niños llamada *Exploraciones*, título que se venía manejando para un suplemento infantil encartado en *Scientific American*.

Además, para finales del presente año se contará con una serie de publicaciones referentes a la ciencia y los negocios, entre los que destaca una revista y suplementos en periódicos capitalinos. De igual manera se proyecta realizar una conferencia de editores referente a estos temas.

Bajo el liderazgo del doctor Rolf Grisebach, esta empresa editorial es una de las más grandes y prestigiadas que publican revistas especializadas como *Nature*, *Scientific American México* y *Music and Musicians*, además de textos especializados en temas como biología, genética, física, negocios, finanzas y comunicación intermedia y multimedia.

## Pomover la tecnología

Para una mejor competitividad

Ante empresarios y público en general el licenciado Alberto Mayorga Ríos, director general del Fondo de Información y



Fotos: Miguel Ángel Valle Pérez

Documentación para la Industria (INFOTEC-Conacyt), señaló que nuestro país enfrenta una situación muy difícil, ya que la competitividad de México no debe basarse en el quehacer maquilador sino en su carácter de promotor de tecnología, por lo que coincidió con el ingeniero Jaime Parada, titular del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, en señalar que debemos pasar del "Hecho en México" al "Creado en México".

Si nuestro país no quiere permanecer en la posición +1 en cuanto al nivel de competitividad, lo ideal sería que se asignara un presupuesto para ciencia y tecnología de 36 mil 105 millones de pesos para cumplir con las metas planteadas en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología, es decir, que el gasto federal en estas actividades aumente a 0.57% del Producto Interno Bruto.

El licenciado Mayorga también explicó que los recursos asignados a la ciencia y la tecnología deberán apoyar de manera preferencial los proyectos orientados a la solución de problemas nacionales; la formación recursos humanos altamente calificados, el fortalecimiento de la competitividad del sector productivo, así como la promoción de proyectos que tengan un impacto en el desarrollo regional y la descentralización de las actividades científicas y tecnológicas; aspectos que el Conacyt ya está atendiendo. ●

## Ciencia y negocio

"Idiomas" fundamentales para el crecimiento científico-tecnológico

Durante su participación en la Conferencia Internacional de Asociaciones Públicas/Privadas para la Innovación, llevada a cabo en Puerto Vallarta, Jalisco, el doctor Guillermo Musik, investigador del Centro

de Estudios de Competitividad del IIAM, afirmó que en México se han dado muchos intentos por instrumentar asociaciones públicas/privadas sin éxito porque "no hemos podido crear incentivos atractivos para ambos sectores".

A pesar de que México representa la décima economía del mundo, nuestro país está rezagado en la generación de tecnología. Esto se debe, entre otras cosas, a la falta de continuidad en las políticas públicas vinculadas con el sector científico-tecnológico y a que en el sector privado aún no se manejan los dos idiomas fundamentales para este fin: la ciencia y el negocio.

Por su parte, Stephen Walker, director ejecutivo del Consejo de Investigación Australiano, enfatizó la importancia del manejo de ambos idiomas, para lo cual es necesario que las personas involucradas en los programas científicos y tecnológicos estén en contacto con experiencias alocionadoras en la forma de hacer negocios.

Respecto a los apoyos otorgados al sector productivo para el fomento de la investigación tecnológica, los panelistas coincidieron en que no solo se trata de otorgar estos incentivos a los empresarios, sino también de alentar la vinculación con el ámbito universitario como un aspecto importante para los sectores público y privado. ●

## Ciencia y Arte

Un propósito común

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Instituto Nacional de Bellas Artes firmaron un convenio de colaboración, que tiene el propósito de generar proyectos de trabajo conjunto entre artistas e investigadores y apoyarlos mediante un Fondo concurrente.



El ingeniero Jaime Parada Ávila, director general del Conacyt, explicó que durante los próximos seis meses se programarán diversas reuniones entre artistas y científicos para elaborar proyectos de investigación. Agregó que la ciencia y el arte son áreas vitales para la construcción de esta nación porque día a día constituyen una parte importante de nuestra identidad, soberanía, principios y valores que nos hacen ser una sociedad perfectamente cohesionada.

Al hacer uso de la palabra, Saúl Juárez, director general del INBA, comentó que artistas y científicos parecían ser extremos opuestos, pero en realidad sus actividades se generan a partir de procesos comunes, que comparten en su origen una misma estructura, aunque en el desarrollo posterior logren universos de expresión distintos.

Entre las actividades que se desarrollarán en los próximos seis meses se contempla un coloquio sobre ciencia y arte, encuentros de trabajo entre los Centros Públicos de Investigación del Conacyt y los Centros de Divulgación Artística del INBA y un Diplomado conjunto en torno a ambas disciplinas. ●

## Una mexicana en el Organismo Internacional de Energía Atómica\*

Ana María Cetto Kramisy dirigirá el Departamento de Cooperación Técnica

JOSÉ LUIS CARRILLO AGUADO

En el pasado, la humanidad ha podido comprobar algunos de los nocivos efectos de la energía nuclear, tal es el caso de las bombas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki y los desastres de Chernobyl y de la Isla de Tres Millas, acontecimientos, sin duda, propiciatorios de una imagen negativa que contrasta con los usos pacíficos y limpios de este tipo de energía que importan a varias instituciones, en especial al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Esta entidad, autónoma de la ONU, fue establecida en 1957 con el objetivo de constituir el principal foro intergubernamental para la cooperación científica y tecnológica en lo referente a la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos. A partir del 1 de enero, su directora general adjunta es la doc-



\*Se agradece la colaboración externa de J. Luis Carrillo A.



tora mexicana Ana María Cetto Kramisy, quien dirigirá el Departamento de Cooperación Técnica de la OIEA.

Desde su creación, el principal objetivo del organismo internacional es promover la contribución de la energía atómica en la paz, la salud y el bienestar de la humanidad y uno de sus mandatos es, precisamente, asegurar que la asistencia proporcionada por el organismo no sea empleada en provecho de propósitos militares. La OIEA cuenta con una estructura compleja cuya asamblea general está integrada por más de 130 países miembros y sesiona una vez al año. Su junta de gobernadores sesiona cuatro o cinco veces al año.

El Programa de Cooperación Técnica regula la función del OIEA contribuyendo de manera significativa al desarrollo en el terreno nuclear mediante el intercambio científico y la transferencia de tecnología. Se proporciona el entrenamiento, la asesoría técnica y el equipo que los países miembros requieren para aprovechar las aplicaciones nucleares de manera segura y sustentable. En el presente hay varias áreas prioritarias de interés estratégico: salud humana y medicina nuclear, productividad agrícola y seguridad alimentaria, recursos acuáticos,

protección del medio ambiente, aplicaciones físicas y químicas de radioisótopos en la industria, y desarrollo sustentable de la energía, visto como un paquete de energías donde la atómica es una alternativa más.

Se busca que en aquellos países donde la energía nuclear es una alternativa viable, se garantice que su uso sea limpio, seguro y de bajo costo para la población, no sólo desde el punto de vista económico, sino social, de salud humana y ambiental. En muchos países hay proyectos de investigación y desarrollo que buscan ofrecer estas garantías. Sin embargo, el trabajo de organismos como el OIEA debe ser apoyado por las sociedades en su conjunto. En este sentido, la doctora Cetto considera que la educación es la base necesaria para llenar las posturas fundamentalistas, es decir, que un sistema educativo sólido y bien planeado es la mejor arma para contrarrestar las ideas extremistas –sustento de muchas incidencias en el mal uso de la energía nuclear–.

La doctora Cetto es, además, miembro de la Junta de Gobierno de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) y recientemente nombrada secretaria general del Consejo Internacional de Uniones Científicas. ●

## Rosalinda Contreras, directora general del CINVESTAV

Rosalinda Contreras Theurel, doctora en química por la Universidad Paul Sabatier de Tolosa, Francia, fue designada directora general del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Fue electa por los investigadores del centro para formar parte de la terna presentada al secretario de Educación Pública para cubrir el periodo 2002-2006, en la cual también participaron los doctores Octavio Paredes López y Esther Orozco Orozco.

La doctora Contreras ha sido investigadora en el Departamento de Química y sus principales líneas de investigación han sido la química heteroátmica de elementos del grupo principal y la síntesis de compuestos con actividad biológica, a partir de sustancias orgánicas y elementos como boro, fósforo, estaño, silicio, selenio, antimonio y aluminio. Estas son sustancias óptimamente activas, usadas como ligantes



Foto: Cortesía del CINVESTAV

con ácidos de Lewis y varios metales como los alcalinos y alcalino terrosos y la tríada del zinc.

También se interesa en la estereoquímica estática y dinámica de elementos diferentes del carbono y diversos números de coordinación como la penta y hexacoordinación. ●

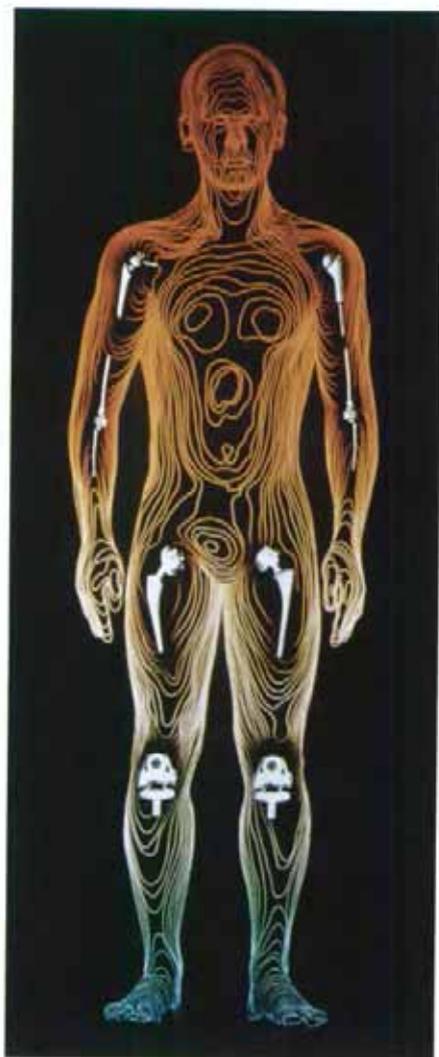
## Se prepara el terreno para la creación del Instituto de Medicina Genómica

El estudio del genoma\* ha sido definido por la UNESCO como el patrimonio biológico de la humanidad. Se espera tener este 2003 la secuencia completa del genoma humano, pues su aplicación en la medicina ofrecerá nuevas posibilidades de diagnosticar y tratar enfermedades al incidir en la prevención de padecimientos crónicos en personas con alto riesgo genético y la rehabilitación de secuelas, además de ahorrar costos.

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Secretaría de Salud (SSa), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y la Fundación Mexicana para la Salud son las instituciones representadas en el Consorcio Promotor del Instituto de Medicina Genómica de México, cuya función es apoyar y orientar su creación para impulsar la investigación en áreas como genética de poblaciones, farmacogenómica, terapia génica, bioinformática, genómica funcional, análisis de las proteínas codificadas por los genes humanos y otras.

Estas investigaciones tienen una vasta relevancia, son las que orientarán la práctica médica en el presente siglo y le aportarán un perfil más predictivo, preventivo e individualizado al avanzar hacia un tratamiento cada vez más específico, ya que podrían

\* Contenido de material genético de un organismo en su juego completo de cromosomas.



diseñarse medicamentos especialmente dirigidos a poblaciones portadoras de determinadas secuencias genómicas con alguna proclividad a padecimientos crónicos. En este sentido, se han identificado en algunos cromosomas genes asociados con enfermedades como diabetes, cáncer colorrectal, hipertensión y arterioesclerosis, casos en los cuales la terapia génica permitirá tratamientos mediante la introducción de genes a los organismos. ●

## Biología molecular + informática = diagnóstico oportuno y eficaz

El biochip es un dispositivo de entre 10 y 15 milímetros y está formado por un gran número de celdillas, cada una de las cuales tiene una cadena de material genético. Este mecanismo combina principios de la biología molecular y de informática, con una elevada compresión de integración de material biológico inmóvil.

Su objetivo es "acercar el laboratorio al paciente", pudiéndose utilizar en los hospitales, aun cuando sean pequeñas clínicas, pues su empleo puede sustituir desde "sencillas" pruebas de laboratorio, como recuentos sanguíneos, hasta procurar los elementos necesarios para combatir enfermedades tumorales.

Este nuevo instrumento permite: analizar en un solo biochip todas las posibilidades de mutación de un gen, detectar agentes patógenos a partir de marcadores genéticos, analizar cambios de expresión génica durante el tratamiento con un fármaco, así como posibles efectos toxicológicos concomitantes (lo cual ahorrará muchos recursos a la industria farmacéutica). Al analizar

información genética del paciente y de los agentes patógenos (ubicando la cepa y sus resistencias), permitirá elaborar una vacuna específica para el padecimiento del enfermo.

Se espera que en pocos años se disponga de biochips para el diagnóstico genético de los cánceres de mama y de ovario, pero al identificar mutaciones genéticas, también se podrá apoyar el tratamiento de tumores, determinando su tipo, fase de desarrollo y los fármacos más adecuados; pero no solo esto, sino que también comprende la posibilidad de predicción sobre la proclividad de una persona para generar algún tumor, e incluso se vislumbra la posibilidad de confeccionar vacunas por el principio de reparación de alteraciones genéticas causantes de la formación de tumores.

Mediante el análisis de regiones polimórficas del ADN, el uso del biochip permite en genética forense establecer la identificación de personas, pues es imposible encontrar dos individuos genéticamente iguales, a menos que se trate de gemelos univitelinos.

Por supuesto, el éxito y el formidable reto de esta tecnología es su diseño particular para la detección de alteraciones del genoma; no obstante, en la Universidad Ludwig-Maximilian de Munich, Alemania, se han diseñado biochips para ser programados de acuerdo con diversas necesidades, los cuales serán producidos por la empresa Advalytix. ●

## Observar los cielos

### La tarea de un joven: El Hubble

Hace casi 400 años, en el campanario de un templo en Venecia, un gran observador de la bóveda celeste probaba la eficacia de un telescopio construido por el mismo con un cilindro de tres centímetros de diámetro. Por modesto que hoy nos parezca, este instrumento permitió a Galileo Galilei observar algunos de los satélites de Júpiter y muchos otros prodigios hasta entonces ocultos, pero lo más grandioso fue que permitió dar el primer paso en una trayectoria de investigación que aún continúa.

Desde hace 12 años, la astronomía cuenta con un telescopio espacial con características muy particulares: un peso de 12.5 toneladas, un espejo de 2.4 metros de diámetro, una órbita de 560 kilómetros de altitud y un costo que rebasa los mil millones de dólares. Su nombre es un homenaje al astrónomo Edwin Hubble. El telescopio espacial Hubble fue colocado a bordo de la nave espacial Discovery, a 600 metros de altura, sobre la zona de distorsión de la atmósfera terrestre, en abril de 1990 por Estados Unidos. El objetivo, realizar observaciones en el espacio profundo y tomar



En 1924, Edwin Hubble demostró que la Vía Láctea, nuestra galaxia, no era la única en el Universo.



Foto: Cortesía de Conferencia de Astronomía, Argentina

imágenes de alta resolución, algo realmente impresionante.

Sin embargo, el Hubble no fue el primer telescopio espacial. En 1975, el Kupier realizó sus observaciones desde un avión en la alta atmósfera, algo diferente, sin duda, pero que se ubica en el concepto de observar el espacio desde el mismo.

Por su parte, el Hubble ha propiciado descubrimientos muy importantes, entre los que vale la pena mencionar el de la existencia de estrellas masivas en explosión<sup>1</sup>, una de ellas a más de diez mil años luz de la Tierra; la presencia de la llamada energía oscura, que parece competir con la fuerza de gravedad y propicia la expansión del Universo; la observación que establece una contraposición con el postulado de la constante cosmológica formulado por Einstein, quien contemplaba un muy posible colapso del Universo por contracción como efecto de la gravedad.

Al cumplir diez años, el Hubble ya había apoyado el estudio de más de 13 mil objetos y rebasado las 250 mil observaciones individuales. Pero, de este telescopio se espera aún mucho, incluso "viajar" en el tiempo para develar el secreto del origen del Universo. La base de esta expectativa estriba en que el Hubble es capaz de captar la luz emitida alguna vez hace 13 millones de años, seguimiento con el que sólo estaríamos a dos millones de años de llegar al "nacimiento" estimado de nuestro Universo.

<sup>1</sup>Supernovas

Lo paradójico es que, a pesar de ser tal maravilla tecnológica, el Hubble está destinado a convertirse en una pieza del Museo del Aire y el Espacio en Washington a partir de 2010, cuando se instale una nueva tecnología que continuará la tarea de observar nuestros cielos. ●

## Córneas artificiales

### Devolver la vista a quienes la perdieron

Tan solo en los países desarrollados se calcula que unos 14 millones de personas padecen algún tipo de ceguera atribuible a problemas de córnea. Sumado a la escasez de córneas, debida a la falta de una cultura propicia para la donación de órganos, este indicador nos da una idea de la necesidad de buscar vías alternas para procurar devolver la vista a quienes la perdieron. Por ello, desde hace años los científicos de diversos centros de investigación trabajan para producir córneas. Hasta hoy se han utilizado algunas de un plástico firme, pero presentan severos riesgos para los ojos desde su implante, además de provocar infecciones frecuentes e incomodidad.

Así, la investigación continúa. Por ejemplo, en Australia, el científico rumano Traian Chirila diseñó una córnea un tanto similar a una lente de contacto blanda, hecha a base de un hidrogel, que ya ha sido implantada con resultados notables en el Lyon's Eye Institute de Perth: sólo el 28.5% de los pacientes tuvieron problemas y no graves, aunque en estos casos las córneas tuvieron que ser removidas.

En Guatemala, el oftalmólogo Carlos León Roldán ha logrado la curación de algunos tipos de ceguera mediante el implante de un dispositivo patentado por él, que incluye una córnea confeccionada

a partir de coral marino. Son candidatos idóneos para este tratamiento quienes han sufrido quemaduras por ácido, síndrome de Stevens Johnsons, tracoma o múltiples trasplantes de córnea sin éxito.

En Madrid, el Dr. Nicolás López Ferrando implantó al Sr. Antonio Sánchez Migallón, de 79 años, ciego por más de 40, córneas fabricadas con un polímero especial en una operación que duró tres horas y media.

En la Universidad de Laval, Canadá, Lucie Germain y François Auger elaboran córneas tomando como base células humanas que producen su propio colágeno.

En México, científicos del Centro de Investigación en Ciencias de la Salud, unidad Santo Tomás, dirigidos por el doctor Luis Humberto Pérez Astudillo, abordan el reto desde el diseño de un hidrogel especial para tal fin, el cual está siendo sometido a diversas pruebas antes de ser implantado.

Así, se muestra un escenario de la investigación para la obtención de córneas muy variado y alentador, por lo que, posiblemente, en la próxima década estos implantes serán operaciones más habituales y con un amplio margen de éxito. ●



## NUEVA INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

*Ciencia y Desarrollo* es una revista de divulgación dirigida a un público no especializado, interesado en acrecentar sus conocimientos y en fortalecer su perfil cultural con elementos propios de la investigación en ciencia y tecnología. En *Ciencia y Desarrollo* se incluyen ensayos, artículos, reportajes, entrevistas, reseñas bibliográficas y noticias sobre el acontecer de la ciencia, la técnica y la innovación tecnológica, principalmente del país.

En este marco, se invita a académicos, investigadores, becarios y periodistas a enviar sus colaboraciones, que podrán versar sobre temas comprendidos en cualesquiera de las áreas del conocimiento:

- I. Físico-matemáticas y ciencias de la Tierra
- II. Biología y química
- III. Medicina y ciencias de la salud
- IV. Humanidades y ciencias de la conducta
- V. Sociales
- VI. Biotecnología y ciencias agropecuarias
- VII. Ingeniería

### Mecanismo editorial

Las colaboraciones recibidas son evaluadas por expertos en la materia y por los editores de la revista bajo los siguientes criterios: interés del tema; rigor en la investigación, así como en la exposición de los resultados; además de que sea comprensible para todo público, por lo que se hace énfasis en presentar una redacción clara y precisa.

### Presentación de manuscritos

Para ser evaluada, toda colaboración debe cumplir con los requisitos que a continuación se mencionan:

- a) Ser enviada en hoja tamaño carta, a doble espacio, con una extensión de entre 12 800 y 18 000 caracteres con espacios, incluidas las referencias, cuadros y bibliografía. En el caso de las reseñas, éstas deberán tener una extensión de entre 3 600 y 7 600 caracteres con espacio. Anexar el archivo electrónico correspondiente realizado en programa word.
- b) Es indispensable que en la carátula se registre el título del artículo -lo más breve posible-, el nombre del autor o los autores, el de sus instituciones y departamentos de adscripción, con las direcciones postales y electrónicas, así como los números telefónicos y de fax. Además de un breve resumen del artículo, el objetivo de su publicación y la utilidad de su difusión (o a quiénes puede beneficiar la información).
- c) Deberá enviarse un resumen curricular de cada autor no mayor de 10 líneas, en el que se incluyan los siguientes datos: nombre; grado académico y experiencia profesional, recientes; al mencionar instituciones es necesario incluir los nombres

## LOS UNIVERSITARIOS

Publicación mensual de la Coordinación de Difusión Cultural de la UNAM



### NÚMERO 29 FEBRERO

- *Bibliofilia, historias de libros* por José Luis Martínez
- *Gajin (un extranjero)* de Maximiliano Matayoshi
- Raúl Ortiz y Ortiz sobre Rosario Castellanos
- Entrevista de Ana Cruz a Miguel Ángel Granados Chapa
- Alejandro Aura y el cine mexicano
- Carlos Pereda sobre Ramón Xirau
- Reportaje fotográfico: *Histoire de Paris* de Barry Dominguez

SUSCRIPCIONES: 56 65 17 33



# Ciencia y Desarrollo

Méx. 56 65 17 33 • México D.F. • Tel. 56 65 17 33 • Fax 56 65 17 33



## BIOTECNOLOGÍA



SUSCRÍBASE

¡Larga vida  
al vórtice!

Ciencia mexicana  
en Europa

MURCIÉLAGOS  
CONTAMINACIÓN  
ERA ATÓMICA

# Ciencia y Desarrollo

## La Ciencia

¿Al servicio de la guerra?

Nuestro próximo número

# Ciencia y Desarrollo

Revista bimestral del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

## SUSCRIPCIÓN ANUAL

- México \$120.00 M.N.     América, Centroamérica y el Caribe 42.00 Dls.  
 Sudamérica y Europa 50.00 Dls.     Resto del mundo 60.00 Dls.

Nombre: \_\_\_\_\_

Compañía o Institución: \_\_\_\_\_

Calle y número: \_\_\_\_\_

Cobania: \_\_\_\_\_ CP: \_\_\_\_\_ Delegación: \_\_\_\_\_

País: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_ Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Deseo recibir del número \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_



CONACYT

Envíe copia de este talón y de la ficha del depósito realizado en la cuenta 0443110702 sucursal 119 de BBVA Bancomer al fax 5238-4534 o bien, un cheque a nombre del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a nuestras oficinas ubicadas en:

Av. Constituyentes No. 1046 Col. Lomas Altas CP: 11950 México D.F.

cienciaydesarrollo@conacyt.mx

www.conacyt.mx

completos y sus siglas a continuación, entre paréntesis. Si se informa respecto a publicaciones, es necesario mencionar el título completo de la más reciente incluido el año de publicación. Las distinciones y los proyectos en los cuales se ha trabajado deben ser los más relevantes. Se pueden citar los apoyos recibidos por el Conacyt (becas, proyectos de investigación) y, si existe, la relación con el SNI. Si permite que se publique su correo electrónico, favor de expresarlo.

- d) Los términos técnicos que aparezcan en el texto deberán explicarse claramente en la primera mención, al igual que las abreviaturas. En caso de incluir citas en algún idioma diferente al español, se anotará inmediatamente después la traducción. Se evitará, asimismo, el uso de fórmulas y ecuaciones; de ser indispensables, se deberá aclarar su significado de la manera más didáctica posible.
- e) El número máximo de referencias será de ocho.
- f) Las fichas bibliográficas deben contener los siguientes datos: autores o editores, título del artículo, nombre de la revista o libro, volumen, empresa editorial, serie o colección, lugar, año de la publicación y número de páginas.
- h) La inclusión de gráficas o cuadros se realizará sólo en aquellos casos en los que la presentación de datos sea de particular importancia para la comprensión o ilustración del texto y deben presentarse con título y texto descriptivo y/o explicativo.
- i) Todo artículo se presentará acompañado de ilustraciones y/o fotografías que se utilizarán como complemento informativo. En dichas imágenes se debe cuidar el enfoque, encuadre y luminosidad y enviarse en opacos o diapositivas. Cuando las ilustraciones sean enviadas por medio magnético o electrónico, se remitirán en los formatos EPS, TIF o JPG con un mínimo de resolución de 300 pxeles por pulgada en un tamaño mínimo de media carta. En una hoja aparte, deberán enviarse los pies de fotografía de hasta tres líneas, identificando con claridad las correspondencias, así como los créditos respectivos.
- j) Enviar los manuscritos para consideración editorial a:

Ciencia y Desarrollo

Av. Constituyentes 1046, 1er. piso

Col. Lomas Altas

11950 México, D.F.

al correo electrónico: [cienciaydesarrollo@conacyt.mx](mailto:cienciaydesarrollo@conacyt.mx)

al teléfono (01 55) 5327 7400, extensiones 7737, 7732, 7724

o al fax (01 55) 5327 7502