

Ciencia *By* Desarrollo

Marzo - Abril de 2004 • Volumen XXX • Número 175 • ISSN 0185-0008 • México \$ 20.00

Transgénicos

Identificación biométrica

**Monitoreando el
genoma en un chip**

**La era de
la ciencia genómica**



Director General

Jaime Parada Ávila

Director Adjunto de Ciencia

Manuel Méndez Nonell

Director Adjunto de Tecnología

Guillermo Aguirre Esponda

Director Adjunto de Desarrollo

Regional y Sectorial

Inocencio Higuera Ciapara

Director Adjunto de Coordinación de Grupos y Centros de Investigación

Felipe Rubio Castillo

Director Adjunto de Planeación

Gildardo Villalobos García

Directora Adjunta de Formación de Científicos y Tecnólogos

Silvia Álvarez Bruneliera

Director Adjunto de Administración y Finanzas

Rafael Ramos Palmeros

Director Adjunto de Servicios Jurídicos

Pedro Baranda García

Coordinadora de Asesores

Martha Leal González

Director de Asuntos Internacionales

Efraim Aceves Piña



CONACYT

Director editorial

Miguel Ángel García García

Editora

Laura Bustos Cardona

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

Asesores editoriales: Guadalupe Curiel Defossé, Mario García Hernández y Abel Muñoz Hénonin

Coordinadora editorial: Margarita A. Guzmán Gómora

Coordinación de información: Lena García Fejoo, Guadalupe Gutiérrez Hernández

Correctora: Lourdes Arenas Bañuelos

Diseño gráfico: Versa Agencia Creativa

Ilustraciones: Versa Agencia Creativa, Victor Ávila Chombo

Fotografías: Miguel Ángel Valle Pérez, Hebert Camacho

Producción: Jesús Rosas Espejel

Preprensa e impresión

Impresora y Encuadernadora Progreso, S.A. de C.V.

San Lorenzo Tezonco 244, Paraje San Juan, 09830 México, D.F.

Distribución:

Intermex, S.A. de C.V.

Lucio Blanco 435,

Col. San Juan Tlihuaca, 02400 México, D.F.

Suscripciones y ventas:

Rosalina Barragán Gómez y Arturo Flores Sánchez

Av. Insurgentes 1582, 4to piso, Col. Crédito Constructor.

C.P. 03940. México D.F.

www.conacyt.mx**cienciaydesarrollo@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 licitud de título de publicación: 259, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación, expediente 1/342 797/1271, del 22 de agosto de 1979. Reserva al título en Derechos de Autor núm. 04-1998-42920332800-102, del 29 de abril de 1998, expedido por la Secretaría de Educación Pública. Autorizada como correspondencia de segunda clase.

Registro DGC núm. 0220480, características 229621 122. Certificado de licitud de contenido núm. 112.

Producida por la Dirección de Comunicación Social, Av. Constituyentes 1046, Col. Lomas Altas, Delegación Miguel Hidalgo, 11950 México, D.F., teléfono 5327 7400, ext. 7800 y 7801.

Registro postal PP09-0099

Autorizado por SEPOMEX

EDITORIAL

Lejos de suponer que la globalización ha logrado imponer criterios y políticas que gozan de mayor aceptación en lo que a organismos genéticamente modificados se refiere, y que basta el esfuerzo de instancias nacionales –100 instituciones de investigación, 750 investigadores, 400 posgraduados por año y entre 70 y 80 compañías que se ocupan de la biotecnología– para lograr que el tema sea conocido y comprendido por cada vez más personas, *Ciencia y Desarrollo* retoma en esta edición esta área del conocimiento, considerada *estratégica* por el Conacyt. La consigna: acercarlo, amable lector, a esa compleja combinación de ideas, procedimientos y aplicaciones, ofreciéndole elementos para mejores síntesis y análisis.

Con la sección principal, dividida en cuatro partes, nos aproximamos a los saltos reflexivos de aquéllos que constituyeron los pilares de las ciencias genómicas. En su trabajo, Horacio García Fernández dibuja un recorrido histórico que inicia con la nucleína y deriva en la ingeniería biotecnológica, y para dar cuenta del impacto de los transgénicos en nuestra vida cotidiana, Agustín López Munguía, recién galardonado con el Premio Nacional de Ciencias 2003, pone sobre la mesa el aspecto nutricional de éstos al colocarlos como alternativa real frente al amenazante problema de la alimentación en el mundo. El tercer apartado plantea la pregunta *¿qué tan inocuos son los alimentos?*, necesario punto de partida del análisis de riesgos que, como considera Jaime Padilla, aplica para cualquier alimento, aun para los *100% naturales*. Y para redondear esta sección, Amanda Gálvez aborda los avances y limitaciones del sustrato legal que reglamenta y vigila la bioseguridad en México, ámbito en el que inciden intereses de todo tipo, entre ellos el de usted.

Acompaña a todo esto un explicativo artículo dedicado acerca de las plantas transgénicas, escrito por Luis Herrera Estrella, investigador mexicano que participó en los primeros pasos que se dieran en este sentido en Bélgica y actual miembro del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) y, desde el año pasado, de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. En él hay claro esfuerzo por mostrar los avances del trabajo de mejoramiento genético en organismos vegetales, así como sus diversos ángulos de análisis.

Además, de la mano del hecho de que la era de la ciencia genómica engloba múltiples posibilidades, Guelaguetza Vázquez y su equipo de colegas se centran en la expresión génica mediante los microarreglos y su aplicación actual como notables auxiliares en la clasificación de patologías y subgrupos de pacientes con diferentes respuestas a una terapia orientada hacia la identificación de tejidos normales y el diagnóstico de los tumorales.

Las posibilidades científicas y tecnológicas de estos descubrimientos son tan amplias que, incluso, contemplan la identificación personal, cuya área se ha extendido desde las huellas digitales hasta el análisis de las retinas y el código genético de cada persona, como bien ejemplifica Gustavo Santoyo.

No hay duda que los descubrimientos e invenciones modifican la forma de vivir de prácticamente todos los seres humanos. En consecuencia, el hombre se plantea una nueva visión del mundo y de sí mismo; sin embargo, estos replanteamientos no son sencillos ni rápidos, por ello es importante tener información, para enfrentar con conocimiento los nuevos retos que tales posibilidades nos plantean.

Ciencia *y* Desarrollo

Marzo - Abril de 2004 • Volumen XXX • Número 175



Sistemas de identificación biométrica 4

RAFAEL J. FERNÁNDEZ MOCTEZUMA
JESÚS LEYVA RAMOS



Microarreglos: monitoreando el genoma en un chip 18

GUELAGUETZA VÁZQUEZ ORTIZ
PATRICIA PIÑA SÁNCHEZ
KARLA VÁZQUEZ SANTILLÁN
ALEJANDRA MANTILLA MORALES
MAURICIO SALCEDO VARGAS

El tezontle y sus aplicaciones en la ciudad de Tenochtitlan 10

JAIME TORRES TREJO
RAÚL BARRERA RODRÍGUEZ



Nuestra portada:
Transgénicos



Transgénicos



26

HORACIO GARCÍA FERNÁNDEZ
JAIME PADILLA ACERO
AGUSTÍN LÓPEZ MUNGUÍA
AMANDA GÁLVEZ MARISCAL



Plantas transgénicas: 42

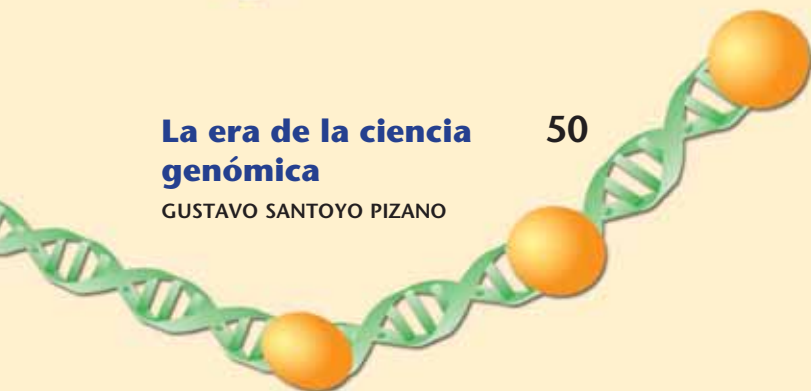
aplicaciones y controversias

LUIS HERRERA ESTRELLA

**La era de la ciencia
genómica**

GUSTAVO SANTOYO PIZANO

50



La ciencia y sus rivales 54

La dorada mediocridad

MARIO MÉNDEZ ACOSTA

Descubriendo el universo 56

**Edwin Hubble y la expansión
del universo**

JOSÉ DE LA HERRÁN

Alaciencia de frioleras 58

La exposición universal

MIGUEL ÁNGEL CASTRO

Libros 61

Un paseo por los cielos 64

de marzo y abril

JOSÉ DE LA HERRÁN

Comunidad Conacyt 66

Nuestra ciencia 68

La ciencia en el mundo 70

Sistemas de identificación

BIOMETRICA

RAFAEL J. FERNÁNDEZ MOCTEZUMA
JESÚS LEYVA RAMOS

La necesidad de demostrar que uno es quien dice ser con fines informativos, legales y de seguridad, está presente en nuestra vida cotidiana. Los métodos tradicionales de identificación personal sufren de un número de desventajas importantes y no son capaces de satisfacer los requerimientos de la sociedad actual. Nuevas tecnologías en identificación biométrica abren la interesante posibilidad de identificarnos con ciertas características de nuestro cuerpo, aumentando así la confiabilidad en los sistemas de reconocimiento.



Un sistema automático de identificación personal es crítico cuando se aplica a controles de acceso, transacciones bancarias, comercio electrónico y servicios gubernamentales. La identificación personal consiste en asociar a un individuo con una identidad. Existen dos tipos principales de identificación: verificación (autenticación de una identidad reclamada) y reconocimiento (determinar la identidad de una persona dada desde una base de datos conocida por el sistema).

Hoy día estamos rodeados de servicios y necesitamos diferenciarnos del resto de la población para poder tener acceso a nuestros recursos, por lo que la mayoría estamos acostumbrados a portar una credencial, a firmar un documento o a registrarnos ante un sistema de información. Tradicionalmente se han utilizado dos formas de identificación personal automática: aquellas basadas en conocimiento, y sustentadas en identificaciones. La primera aproximación se basa en datos que conocemos en forma personal como una clave o un número de identificación personal (NIP) como los usados en los cajeros automáticos. La segunda aproximación consiste en un objeto tal como la credencial del IFE, pasa-

porte, licencia de manejar, credencial de trabajo, tarjeta de crédito y llaves, entre otras.

La fragilidad de depender de identificadores externos es clara, pues se está expuesto a la pérdida, robo, falsificación u olvido. Adicionalmente, las contraseñas y los números de acceso pueden ser descubiertas por terceros; con estos mecanismos, no hay una forma directa de diferenciar a un impostor del sujeto autorizado, pero sabemos que por definición todo individuo posee características únicas, por lo cual debe existir alguna forma para identificarnos garantizando la fidelidad del proceso.

Según A. Davis, es posible hablar de tres tipos de autenticación¹:

- Información conocida: contraseña, NIP y fecha de nacimiento, entre otras.
- Objetos portables: tarjeta de acceso, identificación (como la credencial de elector o pasaporte), gafete.
- Características intrínsecas: Un identificador biométrico.

1. Davis, A. "The Body As Password", *Wired*, Vol. 5, No. 7, Julio 1997.

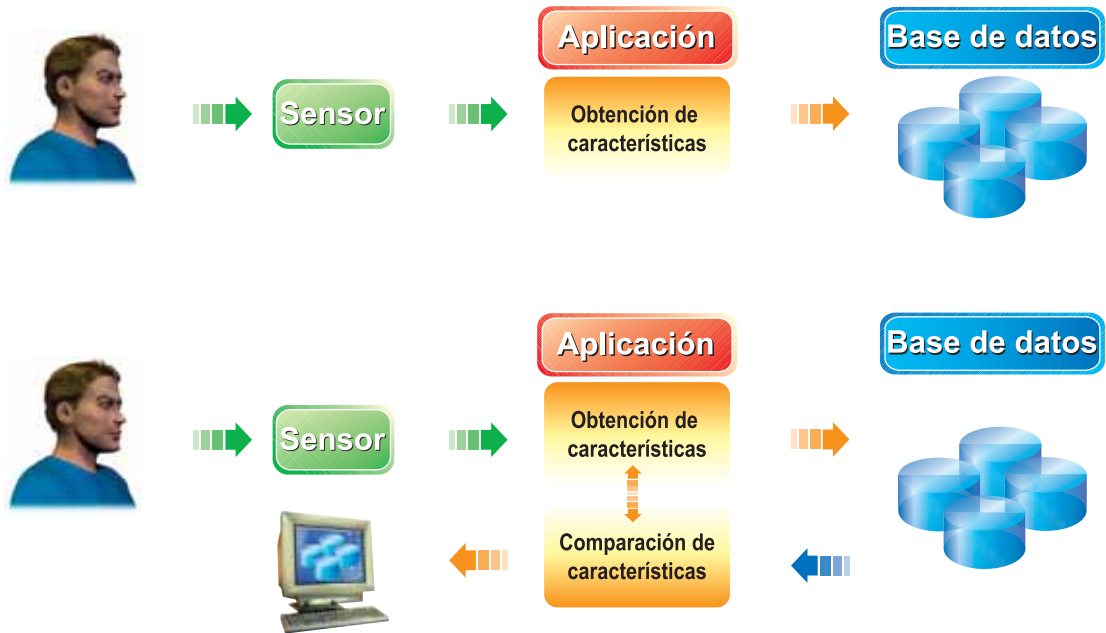


Figura 1: Sistema de identificación biométrica.

Identificación biométrica

La identificación biométrica se refiere al uso de las características fisiológicas o de comportamiento de una persona con el fin de garantizar que es quien se dice ser. Surge del principio de que cada individuo tiene características únicas, las cuales lo diferencian del resto de la población; éstas son llamadas identificadores biométricos.

Un sistema de identificación biométrica consiste en el reconocimiento de estas características, su almacenamiento y uso para fines de autenticación. Dependiendo del tipo de aplicación, la información del perfil se puede almacenar en una base de datos cuyo funcionamiento puede ser apreciado en la figura 1. En el procedimiento inicial se registran las características del individuo mediante de un *sensor* para ser almacenadas en una base de datos. Posteriormente, su *perfil* o *plantilla* es extraída de la base y comparada con características recolectadas en tiempo de operación.

La elección de un identificador biométrico apropiado depende de que sea: 1) *universal*, toda persona debe poseer esa característica, 2) *único*, dos o más personas no deben compartir el mismo rasgo, 3) *permanente*, la característica no debería de cambiar ni ser alterada, y 4) *obtenible*, la característica debe ser medida con un sensor y cuantificable.

En la práctica, otros factores afectan la efectividad de la elección del identificador, sobresaliendo el rendimiento general del sistema y el grado de aceptación por los individuos². La falta de una característica (mutilación por accidente, por ejemplo) es un riesgo presente en la implementación de esta técnica. Considerando esto, cada vez está adqui-

riendo más aceptación el identificarnos mediante patrones del ácido desoxirribonucleico (ADN), material biológico que todos tenemos y nos describe en forma única, el cual debería ser usado solamente en situaciones muy particulares.

La oferta existente de herramientas que hacen uso de identificadores biométricos es muy variada; algunos de los más utilizados en el presente se encuentran en las manos y en la cara. Es seguro predecir que la tecnología de identificación biométrica, aun siendo tan reciente, tendrá una fuerte presencia en los sistemas de seguridad en los próximos años. Actualmente existe una gran cantidad de técnicas de biometría en uso o bajo investigación; he aquí una breve descripción de las técnicas más comúnmente utilizadas de este tipo de sistemas.

Forma de la Mano

El análisis de la forma de la mano provee grados de confiabilidad aceptables; su medida y comparación es relativamente sencilla y pueden combinarse diferentes características como son la longitud y anchura de la mano y los dedos. Es notable que estos parámetros no sean modificables por heridas menores o condiciones de la piel; sin embargo, es una métrica aceptable sólo en poblaciones pequeñas. Por supuesto, las medidas de la mano varían de la infancia a la edad adulta, pero durante este periodo las variaciones permiten considerar este identificador como un identificador confiable.

Desafortunadamente el sensor usado es claramente grande (lo suficiente para acomodar una mano extendida), lo que dificulta su instalación; por ejemplo, en una computadora portátil. Además, la presencia de joyas puede hacer incómodo el proceso de captura de características para el usuario, quien tendría que deshacerse de ellas durante la recolección.

2. Jain, A., L. Hong y S. Pankanti, "Biometric Identification", *Communications of the ACM*, Vol. 43, No.2, pp. 91-98, Febrero 2000.



Figura 2. Rasgos de interés para el análisis de la huella digital.

El proceso asociado a este identificador se resume en las siguientes fases:³ 1) adquisición de la imagen, donde un emisor de luz permite la obtención de una imagen de la mano en contraste blanco y negro, 2) procesamiento y limpieza, con el fin de eliminar sobras o ruido en la imagen, es frecuente ejecutar varios procesos de análisis de escala de grises para conservar una imagen que represente con gran exactitud la silueta de la mano, y 3) parametrización y comparación, dependiendo del estado del sistema (primer registro / verificación) se extraen datos numéricos que representen la imagen y se contrastan con la plantilla inicial o se almacenan.

La efectividad del método depende de factores que inciden en los resultados, como la posición de la mano o la abertura entre los dedos, aunque la mayoría de las propuestas actuales incluyen guías en el sensor (pivotes) para facilitar el posicionamiento.

Huellas digitales

El uso de las huellas digitales es reconocido como uno de los sistemas de identificación más confiable y su práctica se efectúa desde hace más de cien años.⁴ Las huellas digitales se han analizado rutinariamente en laboratorios forenses y en unidades de identificación en todo el mundo, además de ser aceptadas por nuestro sistema legal. La identificación por huellas digitales está basada en dos características básicas: *persistencia* (no cambian con el tiempo), e *individualidad* (son únicas para un individuo). El patrón de crestas y canales en los dedos ha demostrado ser un identificador muy potente, pues su factor de repetición en poblaciones grandes tiende a cero, además de no variar con la edad, pues su formación está determinada durante el periodo fetal. Adicionalmente,

3. Jain, A. K., A. Ross y S. Pankati, "A Prototype Hand Geometry-based Verification System", *Proc. of the 2nd Int'l Conference on Audio- and Video- based Biometric Person Authentication (AVBPA)*, Washington D.C., EEUU, pp. 166-171, Marzo 1999.

4. Pankati, S., S. Prabhakar y A. Jain, "On the Individuality of Fingerprints", *IEEE Transactions on PAMI*, Vol.24, No.8, pp. 1010-1025, Agosto 2002.

Identificación biométrica: uso de las características fisiológicas o de comportamiento de una persona con el fin de confirmar su identidad

está demostrado que las huellas digitales de gemelos idénticos son disímiles y no hay correlación entre las de los diferentes dedos de un individuo. La figura 2 muestra la huella digital de uno de los autores, señalando los rasgos de interés para su análisis.

Con el fin de resolver el problema de individualidad es necesario definir *a priori* la representación de los dedos y una métrica para realizar la comparación. Las huellas digitales pueden ser representadas por un gran número de características, entre las que se incluyen el flujo y frecuencias de las crestas, localización y posición de puntos singulares, tipo, dirección y localización de puntos miniatura, número de crestas entre pares de miniatura, y localización de poros.

El procedimiento de identificación es relativamente sencillo: se obtiene una imagen del dedo a analizar y se extrae una imagen intermedia que permite eliminar posibles ruidos y quedarse sólo con las áreas rugosas. Posteriormente son extraídos los finales de estas líneas y sus bifurcaciones, llamadas *minutas* o particularidades, obteniendo así una secuencia de puntos sobre la cual es posible calcular distancias y ubicación. Para su comparación, y debido a que difícilmente se colocará el dedo en la misma posición todas las veces, se realiza un proceso de orientación, es decir, la imagen es rotada para encontrar similitudes con huellas previamente almacenadas, característica que es quizá la más popular de estas tecnologías, pues los sensores son pequeños y relativamente de bajo costo.

Ojo

El ojo es también considerado un buen identificador, y en él puede medirse el patrón de coloración en el iris y la forma de los vasos sanguíneos en la retina, cuya obtención requiere enfocar la vista en un dispositivo emisor de luz de baja intensidad o infrarroja, con el cual se toma una *fotografía* digital del patrón de vasos sanguíneos, el cual no varía con el tiempo y es confiable. En forma similar a lo que ocurre con la huella digital, se identifican las bifurcaciones y terminaciones. Esta medición es particularmente incómoda para el usuario si se utilizan gafas o lentes de contacto, pues deben ser removidos; además, el ojo debe estar muy cerca del sensor, como se aprecia en la figura 3.

El iris es la región del ojo que rodea la pupila y se delimita por la esclerótica (el área blanca del ojo). La textura del iris alcanza la estabilidad a los dos años de edad y su



Figura 3. Retina.

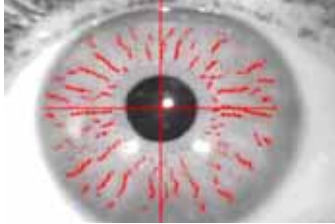


Figura 4. Iris.

estructura es lo suficientemente compleja para ser tomada en cuenta como un buen identificador biométrico. Se utiliza una cámara digital convencional y no es necesario iluminar con una luz específica. Adicionalmente, es sencillo identificar alguna alteración (como un lente de contacto de color) y su modificación quirúrgica es extremadamente difícil. En la figura 4 se indica cómo se localiza el centro del ojo y se identifican los patrones del iris. Posteriormente, se miden las distancias entre terminaciones, inicios y fines de cada línea para generar un mapa numérico que describa el iris en una forma apropiada.

Rostro

El rostro es también un patrón que puede almacenarse y medirse, y sólo depende de una cámara digital como sensor. Esta técnica ha sido aprovechada para sistemas de seguridad en edificios, tomando la cara de una grabación de seguridad y contrastándola con perfiles previamente almacenados⁴. Se asignan valores a las ubicaciones de los ojos, las cejas, la boca, la nariz y las orejas con respecto a ellos mismos, automatizando así gran parte del proceso de identificación. Cabe señalar que no es un método muy confiable por la complejidad del rostro y la facilidad con la que puede ser modificado.

Esta no es la única técnica utilizada sobre el rostro; el acomodo interno de vasos sanguíneos provee una característica única de la temperatura en la cara. Una termografía facial es una imagen capturada mediante una cámara infrarroja que permite ver la distribución de temperatura. A diferencia del método descrito anteriormente, una termografía no requiere de iluminación especial, y aunque se modifique estéticamente la cara, el acomodo interno de los vasos sanguíneos no varía. La figura 5 ilustra cómo las diferentes zonas de la cara tienen temperaturas diferentes, distinguibles a simple vista, con lo cual queda demostrado que el reconocimiento por termografía facial es superior al reconocimiento facial realizado con cámaras digitales. A pesar de ser cierto que las termografías faciales son únicas para cada individuo, no son suficientemente discriminativas.

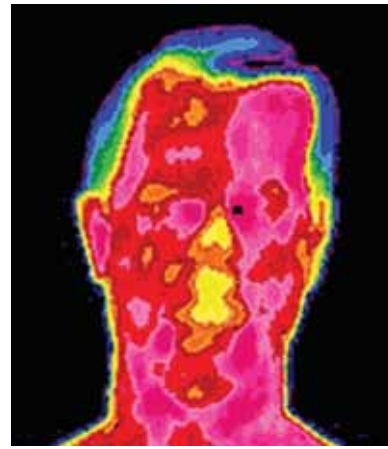


Figura 5. Termografía facial.

Voz

La voz es también un identificador viable, y la tecnología es similar al reconocimiento del habla pero más compleja. Se extraen las características del sonido emitido al hablar, como frecuencia y tono. Sólo se requiere de un micrófono, el cual está presente en la mayoría de las computadoras personales. Tiene como inconveniente la susceptibilidad al ruido ambiental y condiciones temporales del organismo como irritación de garganta o gripe; sin embargo, la investigación continúa procurando el perfeccionamiento de los algoritmos empleados. La figura 6 muestra la *huella de voz* de los autores pronunciando la frase “Ciencia y Desarrollo”; note cómo pueden diferenciarse a simple vista.

ADN

En 1953, James Watson y Francis Crick descubrieron la estructura molecular del ADN, cadena que contiene una combinación de cuatro componentes químicos llamados nucleótidos: adenina (A), citosina (C), timina (T) y guanina (G). En el ser humano, la longitud de esta cadena es aproximadamente de tres mil millones de elementos. El ADN está organizado en cromosomas (23 pares en el ser humano), los cuales a su vez contienen los genes responsables de las características de cada individuo; de esta forma, cada cadena es única.

Se plantea que el ADN podría ser el identificador biométrico por excelencia, pues es una característica que se encuentra en todas las células de los seres vivos, y partiendo de que el objetivo de todo identificador es proveer un mecanismo confiable para diferenciar a un individuo de otro, ¿qué mejor forma de hacerlo que obteniendo una muestra de ADN? La idea de utilizarlo es muy atractiva, pues a pesar de que la diferencia entre dos individuos es mínima, se sabe que la carga genética de cada individuo proveerá el suficiente grado de confianza para diferenciar uno de otro.

La figura 7 ilustra una de las técnicas de análisis cuyo objetivo es conseguir una *huella de ADN*. Esta técnica consiste en obtener una muestra de ADN, cortarla con enzimas

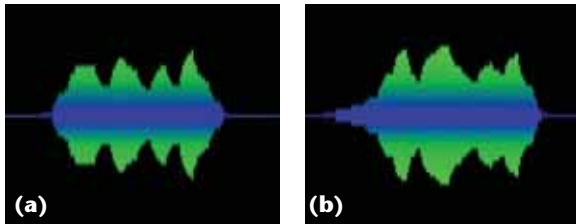


Figura 6. Huellas de voz: (a) Jesús Leyva R., y (b) Rafael de Jesús Fernández M.

de restricción que reconocen patrones repetidos bien identificados (por ejemplo, GGGCCC) y fragmentan el ADN en una forma específica. Posteriormente, los fragmentos de ADN se incorporan a un gel, el cual, estimulado eléctricamente, permite que los diferentes fragmentos de ADN se separen por tamaño para ser revelados y digitalizados.

El análisis directo del ADN sin un método simplificado y rápido equivaldría a leer varios miles de millones de caracteres en la forma A, C, T y G, lo que haría el método demasiado complejo; sin embargo, la *digestión enzimática restringida* permite que se analicen sólo un determinado número de bandas, reduciendo efectivamente la cantidad de información a analizar. Actualmente, el método toma por lo menos 72 horas, por lo que se buscan alternativas o el refinamiento del proceso.

Existen, como en todo identificador, riesgos potenciales: ¿qué sucede si el ADN de gemelos idénticos es el mismo?, ¿qué factor de tolerancia es aceptable?, ¿cuál es la mejor forma de obtener el ADN de una persona sin molestarla? y ¿cómo hacer el método eficiente para su uso cotidiano? Mientras se buscan respuestas a estas interrogantes, sólo se puede decir que el uso del ADN como identificador biométrico resulta atractivo.

Debe quedar claro que los anteriores sistemas no son infalibles, por lo que el problema de la individualidad debe ser formulado en diferentes maneras: determinar la probabilidad de que dos individuos puedan tener alguna medida biométrica en particular lo suficientemente cercana en una población en particular, o bien, determinar la probabilidad de encontrar un identificador con características suficientemente similares en una población determinada, dada una muestra biométrica.

Identificación biométrica en el futuro

La identificación biométrica es una tecnología que está evolucionando muy rápidamente y que ha sido tradicionalmente utilizada en identificación criminal y forense; sin embargo, recientemente ha sido considerada para su adopción en un amplio rango de aplicaciones civiles, dos de las más importantes son el comercio y la banca electrónica, debido al rápido progreso en las transacciones monetarias.

Actualmente, el mercado de control de acceso físico está dominado por sistemas basados en conocimiento; no obstante, se desplazará cada vez más hacia el uso de técnicas

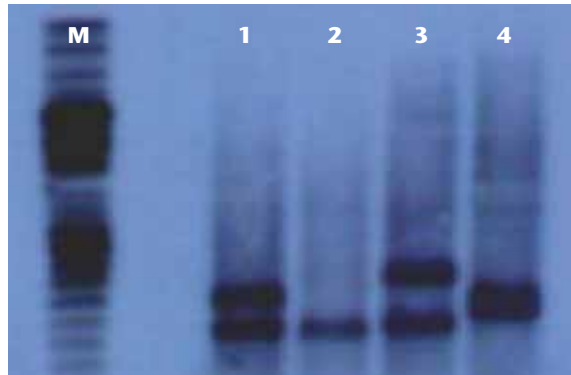


Figura 7. Separación por restricción enzimática.

biométricas, debido a su progreso. Las técnicas de seguridad para sistemas de información y redes de computadoras⁵ como la autenticación del usuario y acceso a distancia a bases de datos es otra área importante de aplicación para biométrica⁶. Un sistema de identificación nacional basado en biométrica podría asignar una filiación única a los ciudadanos e integrar diferentes servicios gubernamentales, tales como acceso a seguridad social, votaciones y licencia de manejo, entre otros.

Existen propuestas innovadoras en el área que, además de involucrar el uso de uno o más sensores en tiempo de verificación, recomiendan el almacenamiento de información genética en una tarjeta inteligente multipropósito.⁷ De esta forma, un sistema de información biométrico podría contener candados adicionales de seguridad, previendo una falla en la base central de datos. Este sería un proceso híbrido que mezclaría características biológicas con un identificador externo. 🌐

5. Leyva Ramos, J. y R. J. Fernández Moctezuma, "Internet2: Interacción con calidad", *Ciencia y Desarrollo*, Vol. XVIII, No. 167, pp. 10-18, Noviembre-diciembre 2002.
6. Liu, S. y M. Silverman, "A Practical Guide to Biometric Security Technology", *IT Professional*, Vol. 3, No.1, pp. 27-32, Enero-Febrero 2001.
7. Sheller, K, y J. Procaccino, "Smart Card Evolution", *Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 7, pp. 83-88, Julio 2002.

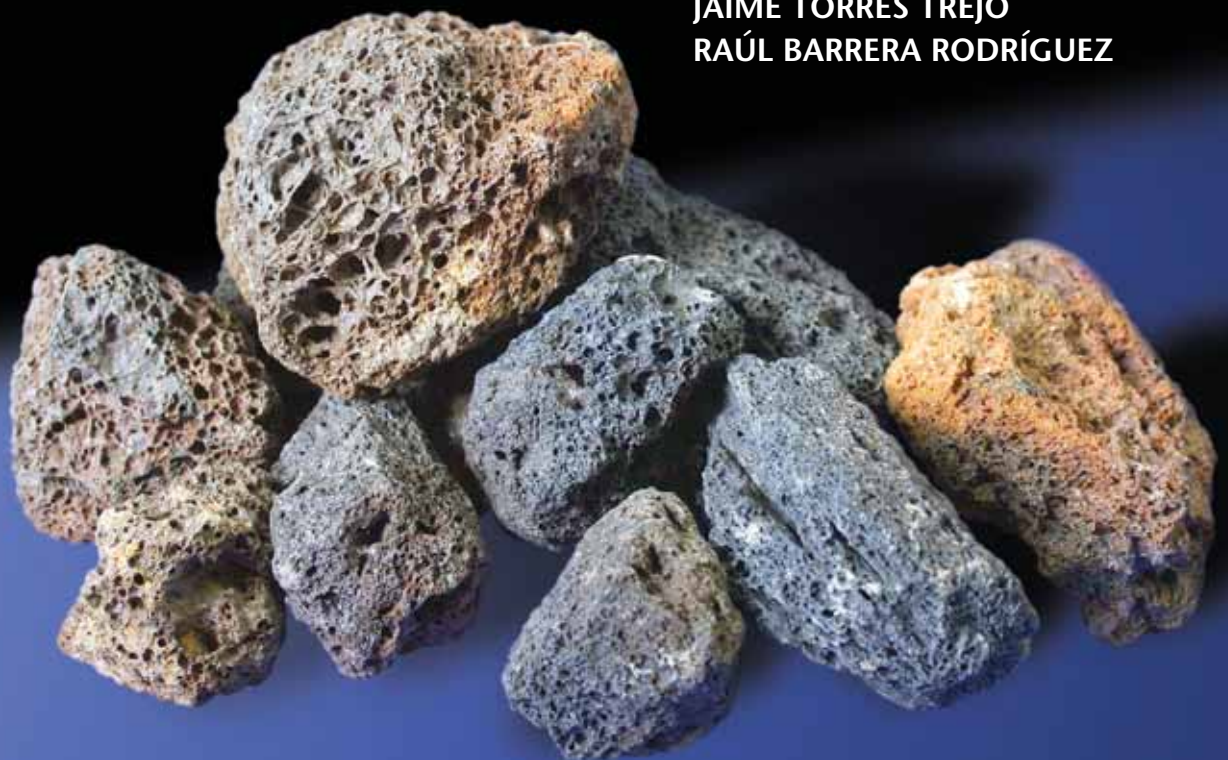
Rafael de Jesús Fernández Moctezuma es ingeniero en sistemas computacionales por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Actualmente es técnico académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), adscrito al Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas Computacionales.

Jesús Leyva Ramos es ingeniero en mecánica-eléctrica por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, maestro en ingeniería eléctrica en el Instituto Tecnológico de California y doctor en ingeniería eléctrica por la Universidad de Houston. Actualmente es profesor investigador del IPICYT en el Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas Computacionales.

EL tezontle

y sus aplicaciones
en la ciudad
de Tenochtitlan

JAIME TORRES TREJO
RAÚL BARRERA RODRÍGUEZ



Una vez que los mexicas decidieron instalarse en la isla localizada en la parte occidental del Lago de Texcoco enfrentaron el problema de hacerla habitable, lo cual no fue sencillo, pues era un terreno fangoso y sujeto a inundaciones; sin embargo, superaron esta situación mediante el desarrollo de sistemas de construcción apropiados y el uso de materiales pétreos idóneos para las condiciones del sustrato.



Plano de la ciudad de Tenochtitlan elaborado en Nuremberg en 1524 por Pedro Savorgnani (tomado de E. Urbana de la ciudad de México, Creación y Cultura No. 2, 1999).

Los mexicas aprendieron a estabilizar y contrarrestar el hundimiento de las edificaciones con el uso de pilotes de madera en las cimentaciones, pero además, conocieron las cualidades del tezontle, material muy ligero, moldeable, fácil de extraer y transportar y muy abundante en la cuenca de México, además de presentar gran resistencia a los agentes de intemperismo; todo ello lo convirtió en uno de los materiales favoritos para las construcciones de la ciudad desde la época prehispánica.

Con el paso del tiempo y después de un trabajo arduo y constante, la isla, originalmente inhóspita, se transformó en una ciudad perfectamente urbanizada, con templos, plazas, acueductos, calzadas, canales (de irrigación y navegables), obras de control hidráulico (albarradones), etcétera. La ciudad de Tenochtitlan llegó a ser una urbe hermosa y bien trazada, con notables construcciones elaboradas con materiales muy peculiares, de tal forma que cuando la vieron los españoles quedaron sorprendidos por su magnitud, calidad y belleza, pero paradójicamente, destruyeron la ciudad que tanto admiraron y sobre sus ruinas edificaron la nueva capital, retomando la traza original y manteniendo las calles principales, los canales y las calzadas que conectaban la isla con las márgenes del lago.

En la reconstrucción fue necesario utilizar los mismos materiales y las ingeniosas técnicas de cimentación autóctonas adecuadas a suelos lacustres, después de haber probado la ineficacia de las españolas, pues el exceso de peso de los inmuebles aceleraba su hundimiento, se perdía verticalidad y terminaban fracturándose (Llanas, 1999). Estos hechos manifiestan lo atinado de la selección de la tecnología constructiva prehispánica, base de una ingeniería civil simbiótica (indígena y española) esencia de la fundación del centro político, económico y cultural de la Nueva España.

A pesar de que después de la conquista se erigieron en la ciudad edificios con diseños novedosos, el tezontle continuó

siendo el material de construcción por excelencia, acompañado por otros materiales como cantera blanca llamada *chiluca*, cantera rosa conocida como *tenayuca*, y cantera negra o *recinto*, cuyos nombres técnicos son: toba, andesita y basalto, respectivamente. Así, en las nuevas edificaciones destacó la utilización de tezontle rojo y *chiluca* que imprimieron a la ciudad una vistosa bicromía en rojo y blanco, donde el primero cubría extensas fachadas y la *chiluca* configuraba los marcos y dinteles de puertas, ventanas y balcones. Según Clavijero (1991) para enlosar los atrios de palacios y templos se usó preferentemente *tenayuca*; con igual fin, posiblemente, fue utilizado el *recinto*.

Conviene recordar que las rocas y minerales han sido los materiales básicos e indispensables que han acompañado el desarrollo de la humanidad desde sus orígenes; de ellos se ha derivado toda una gama de instrumentos útiles para las actividades domésticas y de sustentación cotidianas y, desde luego, también se han utilizado como elementos rituales y materiales de construcción. A continuación se exponen las bases para el estudio del aprovechamiento del tezontle como material fundamental en el desarrollo de la ciudad de Tenochtitlan, mediante la revisión de datos geológicos, fuentes históricas y resultados de excavaciones arqueológicas realizadas en el centro histórico de la ciudad de México.

El tezontle a partir del volcán

El tezontle es una roca de color rojo, gris oscuro o negro, textura afanítica (los constituyentes minerales no se observan a simple vista), de estructura vesicular (porosa), liviana y dura; formada por diversos minerales (feldespatos, anfíboles, piroxenos, etc.) encerrados en una matriz de vidrio (volcánico). El término *tezontle*, de acuerdo con Santamaría (1974), deriva del náhuatl *tetl*, piedra, *tzontli*, cabellos o *zonnectic*, cosa fofa. Desde el punto de vista geológico, el



Vista general del Templo Mayor de Tenochtitlan en sus diversas etapas constructivas (foto R. Barrera).

tezontle corresponde a una roca ígnea extrusiva piroclástica, originada a partir de erupciones volcánicas explosivas.

El tezontle en las fuentes históricas

En la *Historia de las Indias de Nueva España e Islas de Tierra Firme* de Fray Diego Durán, se encuentran relatos referentes al momento en que los mexicas empezaron a utilizar el tezontle como material de construcción. Explica que, según la leyenda, cuando este grupo arribó al centro de México, tras haberse establecido temporalmente en Chapultepec y Culhuacán, encontró finalmente la señal de su dios Huitzilopochtli: un águila posada sobre un nopal, devorando una serpiente. Este acontecimiento ocurrió en 1325, de acuerdo con el calendario occidental, y en el lugar construyeron un pequeño templo a Huitzilopochtli, con materiales vegetales y lodo extraído del fondo del lago.

Pocos años pasaron para que esta sociedad se viera en la necesidad de ampliar su templo principal, ganarle terreno al agua y así poder trazar su ciudad. Para adquirir maderas, cal y piedra, materiales necesarios para la edificación del templo, intercambiaron productos alimenticios lacustres con algunas de las principales poblaciones ribereñas (Azcapotzalco, Tacuba, Coyoacán y Texcoco). El tezontle, por ser un material sumamente liviano, debió ser transportado con cierta facilidad desde los distintos yacimientos en canoas, a través del lago.

De acuerdo con Durán (1995), se elaboró una gran plancha de tierra y piedra, asentada sobre estacas, conjunto que constituyó el cimiento del templo principal y que posteriormente se fue agrandando hasta conformar los cuatro barrios que comprendían la ciudad. Nos dice el cronista que el primer templo, construido de barro y tapia, fue revestido con un muro de piedras pequeñas labradas con acabado de una capa de estuco pulido.



Restos de la plataforma que delimitaba al Recinto Sagrado por el lado este (foto R. Barrera).

En los años del reinado de Acamapichtli, *El que empuña la caña*, (1375 a 1395) la ciudad de Tenochtitlan aumentó su tamaño, poder y prestigio. Se construyeron templos, casas, acequias, calles y otras obras públicas. El rápido crecimiento obligó, y a la vez permitió, a los mexicas liberarse del yugo impuesto por los tepanecas de Azcapotzalco, a quienes convirtieron en sus tributarios. Entre las diversas contribuciones que Itzcóatl, *Serpiente de pedernal*, (cuarto gobernante, 1427–1440) impuso a esa ciudad, se encontraron la piedra (incluyendo el tezontle) y la fuerza de trabajo utilizada principalmente para la edificación de los templos. Con la derrota de Coyoacán, sus pobladores fueron obligados a aportar madera, cal, tierras, vestimentas, trabajadores y piedras (Durán 1995).

Posteriormente fue conquistado Xochimilco y a sus habitantes se les encomendó construir una calzada de tierra, piedra y madera, que llegase hasta la ciudad de Tenochtitlan. Durán (1995) menciona que fue construida sobre gran cantidad de estacas de madera y que tenía, además, puentes cada determinado trecho, para que el agua pudiera circular de una parte a la otra del lago.

Después, fue sometido Cuitláhuac (hoy Iztapalapa) y, aunque los relatos históricos no mencionan que esta población haya pagado como tributo materiales de construcción, creemos que aportó tezontle, puesto que existen yacimientos en la región, como los del Cerro de la Estrella y de la Sierra de Santa Catarina.

Cuenta Toribio de Benavente, *Motolinia* (1990), que durante el mandato de Itzcóatl fueron sometidas varias provincias del centro de México, se construyeron diversos templos y, en general, se acrecentó la ciudad. Por otra parte, Moctezuma Ilhuicamina (o Moctezuma I) *El flechador del cielo*, (1440–1469) dispuso construir un nuevo y suntuoso Templo Mayor y una vez más hicieron falta tezontle, piedra pesada y cal; con el fin de adquirirlos mandó llamar a



Costado sur del Templo Mayor, obsérvese la utilización del tezontle en la construcción de los muros y en las esculturas que representan cabezas de serpientes (foto R. Barrera).

los señores de las provincias vecinas sujetas a Tenochtitlan (Texcoco, Culhuacán, Xochimilco, Cuitláhuac, Mizquic, Coyoacán, Tlacopan y Azcapotzalco) y les ordenó aportar los materiales necesarios y la fuerza de trabajo. La provincia de Chalco no fue la excepción, y parte de su tributo debía ser cubierto con tezontle y piedra pesada para la elaboración de esculturas.

Se dice que en el Templo Mayor de esa época realizaron la fachada principal los texcocanos; la posterior, los pobladores de Tacuba; el costado derecho por los trabajadores de Chalco; el izquierdo, por los xochimilcas. A los otomíes (chapanecas, xiquilpas, xocotlancas, cuauhuanacas y mazahuacas) se les encargó el acarreo de arena y, según Durán, a los originarios de la Tierra Caliente se les pidió cal.

En el periodo de reinado de Axayácatl, *Cara de agua*, (1469–1481) se agrandó el Templo Mayor, y nuevamente las provincias cercanas fueron obligadas a contribuir con los trabajos. Al parecer, la construcción no fue concluida sino hasta la época del corto reinado de Tízoc, *Pierna enferma*, (1481–1486) cuando Tlacaélel, uno de los grandes señores que fungía como asesor, le sugirió terminar la magna obra; sin embargo, fue durante el mandato de Ahuítzotl, *Perro de agua*, cuando se concluyó el Templo Mayor (1487), realizando una solemne y suntuosa fiesta de consagración (Durán, 1995).

Evidencia arqueológica

Encontramos el tezontle en la ciudad de Tenochtitlan, por lo menos, a partir de lo que Eduardo Matos (1990) ha denominado época temprana del Templo Mayor, la cual comprende las primeras tres etapas constructivas. La primera, desde la fundación de Tenochtitlan en 1325, cuando construyeron su primer templo. Después, hubo una ampliación que puede corresponder a los restos de unos escalones localizados del lado del adoratorio de Huitzilopochtli. El siguiente momento corresponde a la etapa II (1390), cuya obra es la mejor conservada, pues actualmente puede apreciarse casi en su totalidad. En ella, el tezontle se empleó en los muros en talud que forman los cuerpos del basamento, escalinatas y muros que delimitan ambos templos gemelos de Tláloc y Huitzilopochtli. De acuerdo con esta propuesta de fechamiento, la etapa III del Templo Mayor corresponde al año 1431; es decir, inmediatamente después de que los mexicas se liberaron del yugo de los tepanecas.

En la etapa IV, construida durante el gobierno de Moctezuma I, hubo un auge impresionante en la arquitectura y en otras manifestaciones que abarcaron el arte escultórico, la pintura, la cerámica, etc. La siguiente ampliación relevante es la IVa, posiblemente edificada hacia 1460; sin embargo, el agrandamiento del Templo Mayor denominado IVb se rea-



Secuencia de rellenos de tezontle y argamasa de cal, arena y tezontle molido que sirvieron como base de los diferentes niveles de pisos de los patios aledaños al Templo Mayor (foto R. Barrera).

lizó en 1470, durante el reinado de Axayácatl: el tezontle volvió a usarse en la construcción de las fachadas de los cuerpos que forman los distintos basamentos, las escalinatas y los pisos y rellenos.

Durante la etapa V (1485), continuaron las mismas características y, finalmente, de las etapas VI y VII (1500) aún se pueden identificar algunos restos arquitectónicos en el sitio donde se aplicó el tezontle. En las recientes excavaciones de las Casas de las Ajaracas y las Campanas (centro histórico de la ciudad de México), los investigadores del Programa de Arqueología Urbana, bajo la supervisión de Álvaro Barrera, pudieron confirmar el empleo de tezontle en los rellenos superpuestos de los diversos niveles de pisos de un patio, así como en la escalinata y los muros de la plataforma frontal del Templo Mayor.

La utilización del tezontle también se encuentra reportada en otros treinta y seis edificios que en la época prehispánica formaron parte del Recinto Sagrado¹ de Tenochtitlan. Entre esta larga lista de estructuras halladas, se encuentran los restos de la plataforma que delimitaba el espacio sagrado por sus cuatro lados, y verificada en la parte posterior del Templo Mayor durante los años de 1978 a 1982; los templos de Ehécatl y el Tzompantli, posiblemente

correspondientes a los descubiertos por Leopoldo Batres a principios del siglo XX exactamente frente al Templo Mayor; la escalinata localizada en el edificio de los marqueses del Apartado por Porfirio Díaz (hijo), a principios del siglo XX; el Juego de Pelota identificado en 1996 por A. Barrera como parte del Programa de Arqueología Urbana bajo la Capilla de Ánimas; el Adoratorio de Xochipilli, descubierto durante las obras de construcción del Metro; el Adoratorio de Tláloc, explorado por Matos (1999) en 1965; el Templo Rojo del Sur, la Casa de los Guerreros Jaguar, el Templo Rojo del Norte, el Altar-Tzompantli, los Adoratorios A y D, y la Casa de los Guerreros Águila, estudiados como parte del Proyecto Templo Mayor y el templo de Tezcatlipoca, entre otros.

Fuentes de materia prima

La cuenca de México contiene numerosos yacimientos de tezontle, como los de la sierra de Santa Catarina, el cerro Huixachtécatl (de La Estrella), el Peñón de los Baños (Tepezinco) y el Peñón Viejo o del Marqués (Tepepolco). Algunos de los cuales siguen siendo explotados para producir grava y arena, sobre todo la Sierra de Santa Catarina. 🌐

1. Espacio de la ciudad donde se encuentran los templos principales, las escuelas y los edificios administrativos.



Caja para ofrenda elaborada con bloques de tezontle careados y de andesita rosa (foto R. Barrera).



Desplante de un basamento detectado durante el rescate realizado en Luis Gonzáles Obregón No. 25, por el Programa de Arqueología Urbana (foto R. Barrera).

Diversos usos del tezontle

Esculturas

Dos tipos principales de esculturas en tezontle se observan en Tenochtitlan: en primer lugar las que se encuentran formando parte de la arquitectura, es decir, que fueron construidas, colocadas o empotradas durante el proceso constructivo, y en segundo lugar, las esculturas independientes. De estas últimas, citaremos simplemente las jarras Tláloc, Chichahuatzlis, almenas, braseros y representaciones de Xiuhtecutli-Huehuetéotl.

Empotradas en la parte superior de cada una de las alfardas que delimitan a las escalinatas de acceso a la Casa de los Guerreros Águila, correspondiente a la VI etapa, se encontraron dos esculturas de tezontle representando cabezas de águila. Algunas de las ofrendas colocadas simétricamente en los diferentes cuerpos arquitectónicos del Templo Mayor, fueron depositadas en cajas de una sola pieza elaboradas en tezontle negro y rojo.

Asociadas al dios del fuego (Xiuhtecutli-Huehuetéotl) se han encontrado pequeñas esculturas simbólicas que representan braseros y teponaxtles (tambores elaborados en un tronco ahuecado con la parte superior hendida en forma de H). Recordemos que los ritos y ceremonias eran siempre acompañados por el fuego que ardía constantemente en los templos.

Además, las almenas que decoraban la parte superior de los templos, generalmente eran de tezontle, como la descubierta en el predio de Donceles 97 por Eladio Terrores, en forma de cactácea.

Puentes

Otra aplicación del tezontle fue la construcción de puentes. Según Clavijero (1991), estos puentes eran de tres tipos: los de piedra que al parecer eran muy pocos, los de

vigas de madera que se encontraban a lo largo de las calzadas y los de redes, también conocidos como hamacas por ser tejidos de bejucos.

Calzadas

En su *Registro arqueológico de las calzadas, en la validez teórica de Mesoamérica*, Margarita Carballal y María Flores Hernández (1989) señalan que localizaron seis rellenos de piedras sobrepuestas en la calzada del Tepeyac, formados por basalto, dacita y tezontle.

Abrasivo

Fray Bernardino de Sahagún (1979) menciona que el tezontle también era utilizado como instrumento para labrar por los oficiales de la pluma. Dice “Si ha de hacerse un animal, un animalillo, primero, se tallan palillos de madera de colorín y con ellos se hace el esqueleto... Luego se le hace el cuerpo con médula de la misma cañuela (de maíz), remolida y amasada con pegamento... luego se raspa y se lima con tezontle, y con esto se le da buena forma y pulimento”.

Concreto

El mismo Sahagún (1979) menciona que el tezontle también se utilizaba en forma de arena (*tezontlalli*) para elaborar concreto aplicado en la confección de pisos, aplanados, muros, escalinatas, techos, etcétera.

Entortado

La aplicación del tezontle en el núcleo de los basamentos, plataformas y en patios, es también evidente. Consiste en colocar un relleno alternado de fragmentos de tezontle de diferentes tamaños unidos con lodo, y poste-



Escultura Tláloc elaborada de tezontle, localizada en la Casa de los Marqueses del Apartado por el Programa de Arqueología Urbana (foto Saturnino Vallejo).



Lápida del águila, esculpida en tezontle que se encuentra en el Museo Nacional de Antropología (tomado de Dioses del México antiguo, 1996).

riormente una gruesa capa de argamasa compuesta de cal y arena de tezontle, sobre la cual se colocaba nuevamente otra de fragmentos de tezontle, y así sucesivamente.

Cajones

De acuerdo con las excavaciones que el proyecto Templo Mayor ha venido desarrollando desde 1978, se ha observado que algunos de los edificios prehispánicos fueron construidos mediante la técnica denominada de *cajones*, la cual consiste en construir muros de tezontle adheridos con lodo formando cuadros rellenos con el mismo material. La ventaja de esta técnica era que el núcleo del edificio se mantenía estable.

Acueductos

De acuerdo con los cronistas, en la época prehispánica, la ciudad de Tenochtitlan lucía fresca y hermosa por lo exuberante de sus cultivos y huertos, además de estar surcada por canales navegables; este paisaje era reflejo de la abundante existencia de agua. Sin embargo, durante los lapsos de estío las plantas se marchitaban y la ciudad aparecía seca con el nivel de agua muy bajo en el lago y las acequias, lo que dificultaba las travesías acuáticas. Ante este panorama, y en un intento por mantener el mayor tiempo posible la ciudad húmeda y con vialidad, el rey Ahuizotl en 1498 mandó construir un acueducto desde los manantiales de Huitzilopochco (Churubusco) para recuperar el nivel del lago y restituir la fertilidad de los campos agrícolas. (Clavijero, 1991). Para esta obra se utilizaron diversos materiales, entre ellos el tezontle (Durán, 1984).

Este acueducto trajo agua en abundancia, pero pocos días después de su inauguración se sumaron al

caudal copiosas precipitaciones que provocaron inundaciones; entonces el rey Ahuizotl (Durán 1984), asesorado por el rey de Texcoco, canceló la obra, retornó las aguas del manantial y reedificó el dique construido durante el reinado de Moctezuma Ilhuicamina a instancias del rey Nezahualcóyotl.

Las pérdidas agrícolas, hortícolas y de inmuebles provocadas por la inundación fueron considerables, pero la desventura trajo consigo un descubrimiento afortunado: un yacimiento de tezontle cerca de la capital mexicana Clavijero (1991)



Consulte las referencias bibliográficas en www.conacyt.mx, en el vínculo *Ciencia y Desarrollo*.

Jaime Torres Trejo es ingeniero geólogo por el IPN, investigador de la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico del INAH y profesor de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía del mismo instituto. Es autor del libro *Introducción al estudio del pedernal*.

Raúl Barrera Rodríguez es arqueólogo por la ENAH, investigador de la Dirección de Salvamento Arqueológico del INAH y ha participado en diversos proyectos arqueológicos y excavaciones. Es miembro del Colegio Mexicano de Antropólogos. Como conferencista ha participado en diversas instituciones y es autor de varios artículos en revistas especializadas.

MICRO- ARREGLOS:

monitoreando el
genoma en un chip

GUELAGUETZA VÁZQUEZ, PATRICIA PIÑA,
KARLA VÁZQUEZ, ALEJANDRA MANTILLA Y MAURICIO SALCEDO



El análisis global de la expresión génica abre las puertas para traducir los resultados de la investigación del genoma humano a aspectos de genómica funcional, otorgándonos una visión general del comportamiento de los genes y sus interacciones.

Con el borrador del Proyecto Genoma Humano (PGH), hemos sido testigos en poco tiempo de la particularidad del ADN y de la generación de nueva tecnología denominada de alto rendimiento. Una de las áreas más beneficiadas ha sido la biomedicina y actualmente es posible hablar de la medicina genómica. El nuevo reto en esta era postgenómica es poder determinar la función de los genes y las rutas metabólicas en que se encuentran, a partir de su conocimiento; es decir, obtener una visión global de diversos procesos celulares

La combinación de investigación y aplicación tecnológica ha creado metodologías que actualmente nos permiten analizar los diferentes niveles de la genética molecular: ADN o el archivo de la información (genoma), ARN o la expresión de la información (transcriptoma) y las proteínas (proteo-

ma). Los datos generados por el PGH estiman aproximadamente 34 mil genes en nuestras células, los cuales podrían producir hasta 90 mil transcritos debido a la presencia de mecanismos tales como el corte y empalme (*splicing* alternativo).¹

Además de los ARN producidos por genes *codificantes* de proteínas, existen también los *no codificantes* que cumplirán funciones regulatorias en diversos procesos; por ejemplo, los ARN de transferencia o los del aparato de corte y empalme. Así podemos decir que este conjunto de genes expresados se denomina *transcriptoma*.

La determinación de la función de los genes involucra el análisis de la expresión génica de un organismo; es decir, el análisis del transcriptoma. Anteriormente la detección de la expre-

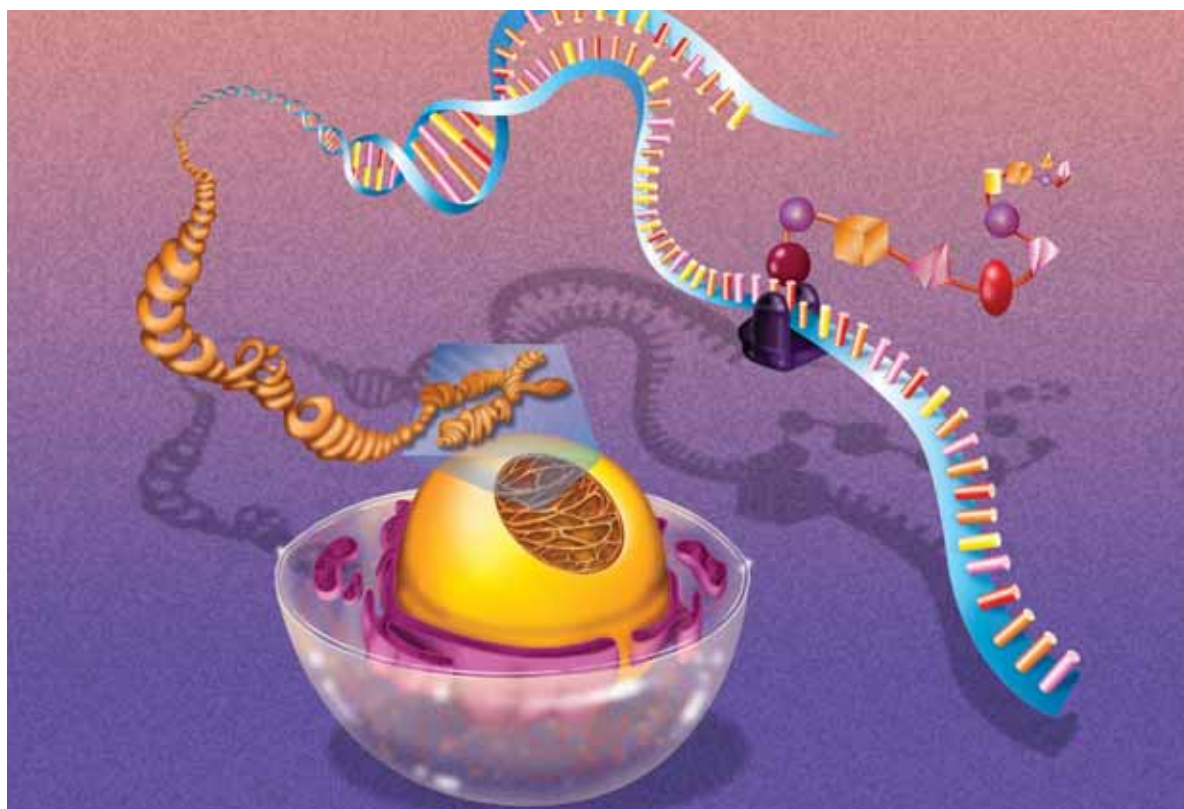


Figura 1. Procesos celulares: del DNA a las proteínas.

1. En el núcleo de la célula se da la transcripción o paso de ADN a ARN, generándose un pre-ARN mensajero (pre mARN), el cual contiene exones (secuencias que formarán parte de la proteína) e intrones (secuencias que son eliminadas para producir un mARN maduro, el cual será traducido a una proteína). Sin embargo la maquinaria celular de corte y empalme puede generar “genes diferentes” al incluir o eliminar diferentes intrones.

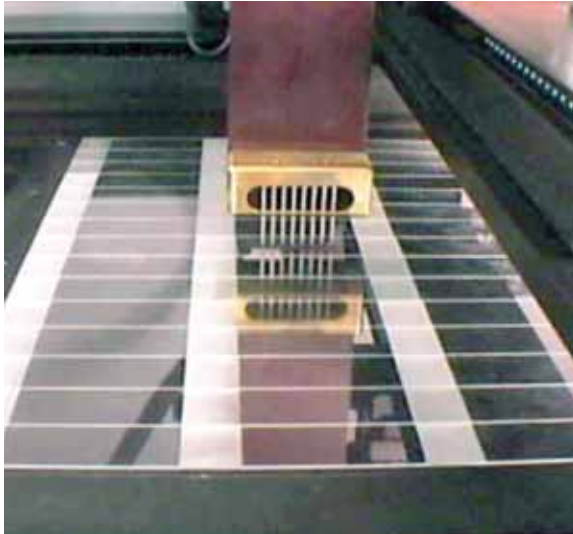
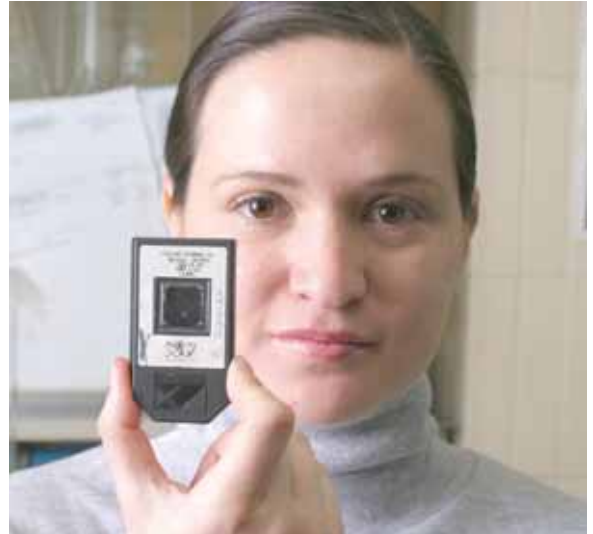


Figura 2. Brazo robótico y cabezal punteador de un microarreglador (tomado de TIGR The Institute for Genomic Research, <http://www.tigr.org/tdb/microarray/images.shtml>)



Tamaño proporcional de un chip de identificación genómica.

sión estaba limitada a un solo gen o a un pequeño grupo de ellos; y no alcanzaba a resolver la gran magnitud del problema, consistente en determinar la función de los genes. Por lo tanto, la obtención de patrones globales de expresión de los procesos biológicos descifrarán poco a poco todos los componentes sobre el funcionamiento de los genes y las redes biológicas funcionales entre ellos.

La expresión génica y los sistemas de análisis global

Actualmente se sabe que los diferentes tipos celulares que conforman el cuerpo humano tienen patrones únicos de expresión específicos para sus funciones fisiológicas en particular. Los agentes internos y externos, pueden modular estos patrones causando estados de alteración fisiológica o patologías. Cuando se obtiene la *fotografía* global de la expresión génica entre diferentes tipos celulares, o bien entre diferentes estados de un tipo celular en particular (por ejemplo: célula normal *versus* célula tumoral) se podrían identificar los genes candidatos involucrados en procesos celulares normales (figura 1), o bien en el desarrollo de una misma enfermedad. Adicionalmente, la caracterización de genes expresados anormalmente en tejidos tumorales puede generar el descubrimiento de genes que sirvan como posibles marcadores de la enfermedad o de un diagnóstico, pronóstico o intervención terapéutica.²

Para llevar a cabo el análisis global de expresión génica

2. Un gen marcador es aquel cuyo cambio de expresión está directamente asociado a una patología. Es decir; un gen "x" que en un tejido normal presenta un determinado nivel de expresión (por ejemplo: 3), ese mismo gen en la contraparte tumoral de ese tejido presenta otro nivel de expresión (ejemplo: 15). Entonces sabemos que cuando un tumor esté presente en ese tejido, el gen "x" se estará sobreexpresando.

existen dos tipos de sistemas: abierto y cerrado. Se denomina sistema abierto cuando el análisis determina la expresión del total de los genes de la célula en un momento determinado. Una tecnología de tipo abierto es ASEG, o Análisis en Serie de Expresión Génica (SAGE por sus siglas en inglés), la cual ha sido aceptada por el Proyecto del Genoma de la Célula Cancerosa (Por sus siglas en Inglés CGAP, NCCI). El sistema cerrado consiste en la determinación de la expresión de un número limitado y conocido de genes de una célula; en este sistema se encuentran los microarreglos (*microarrays* en inglés) de ADN complementario (cADN) los cuales están cobrando un auge imprevisto en los últimos años. Estos *microarrays* (arreglos o *biochips*) evolucionaron de la idea de Ed Southern desarrollada hace aproximadamente un cuarto de siglo, cuando afirmaba que moléculas de ácidos nucleicos marcadas podían ser utilizadas para *hibridarse* y detectar moléculas de ácidos nucleicos complementarios unidos a un soporte sólido que no permitiera la reasociación (Southern blot). Sin embargo, el primer microarreglo en llevarse a cabo fue el *Dot Blot reverse* que es un microarreglo elaborado manualmente con la tecnología de la época y una cantidad muy pequeña de genes por estudiar. Los arreglos de cADN o *biochips* constan de cientos a miles de secuencias de cADN inmovilizadas en una superficie sólida, del tamaño de media hoja carta, hasta una superficie de 1 cm². Estas secuencias se gotean o depositan por duplicado utilizando un brazo robótico y cada gota representa un gen en particular en un proceso de miniaturización (figura 2).

Los arreglos de cADN son de dos tipos: los macro y microarreglos y sus diferencias básicas son: a) el tamaño del punto (en los macroarreglos llega a los 300 micrones, y en el microarreglo es de 100 a 200 micrones), b) el número de puntos inmovilizados (es decir, el número de genes), c) el material del que está hecho el soporte y d) la manera como

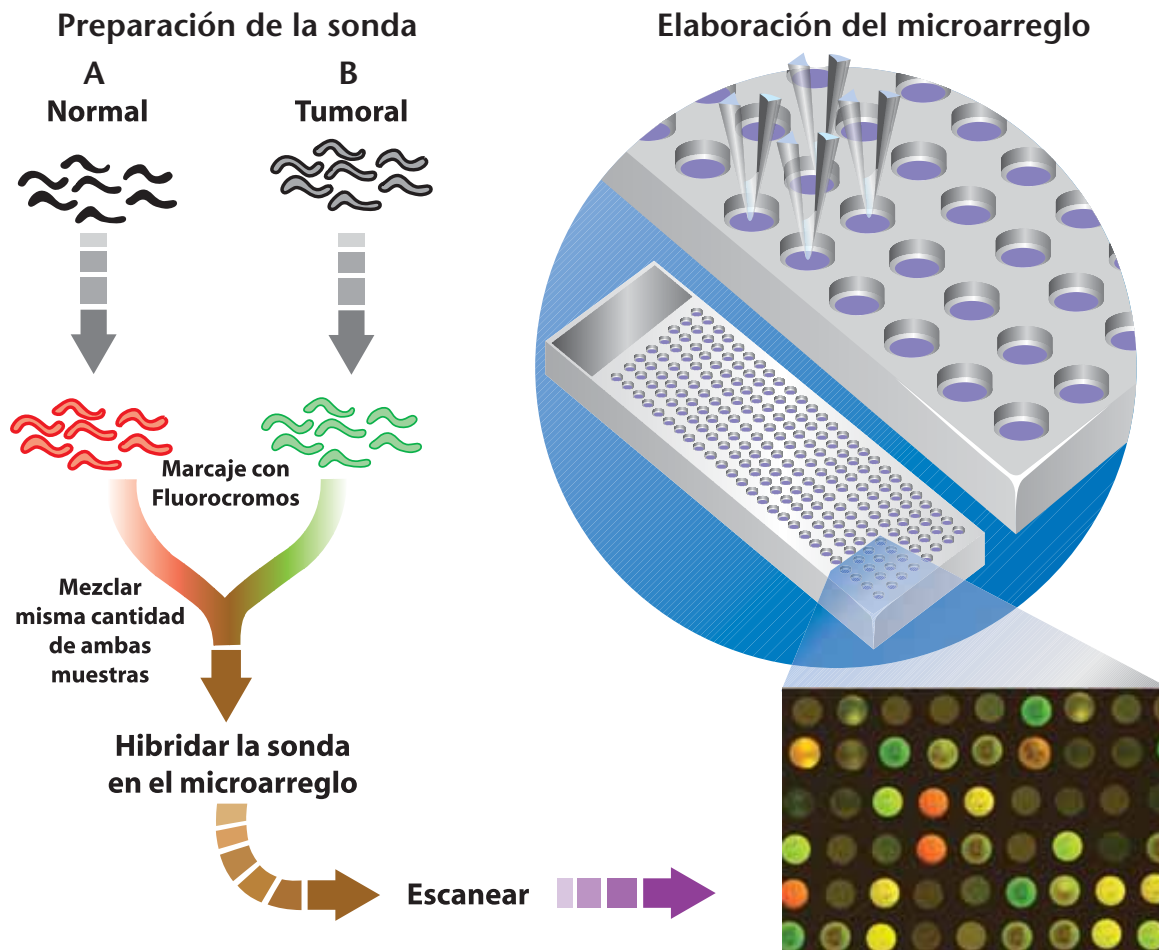


Figura 3. Proceso de hibridación de un microarreglo. (Tomado de Access Excellence, The National Health Museum, <http://www.accessexcellence.org/AB/GG/>)

las sondas son hibridadas. Los macroarreglos generalmente son punteados sobre membranas de nylon o nitrocelulosa, mientras que los microarreglos se colocan sobre vidrio.

Básicamente la aplicación del sistema de *arrays* consiste en realizar un análisis comparativo de la expresión (figura 3); por ejemplo: para el caso de muestras con cáncer se trabaja con el mRNA de las células, se sintetiza el ADN complementario (por la técnica de RT-PCR) y se procede de la siguiente forma: 1) se cuenta con la muestra normal (**A**) y su contraparte tumoral (**B**); 2) **A** se marca con un fluorocromo de un color (por ejemplo, rojo); 3) y en **B** se marca con otro fluorocromo (verde); 4) se mezclan e hibridan los cADN sobre el arreglo, en un experimento de competencia; 5) se iluminan los puntos con un *scanner* con láser y se determina la intensidad de los fluorocromos sobre cada uno de ellos. Si hay variación se verán puntos rojos y verdes, pero si no hay expresión tampoco habrá color. Si la expresión es similar, ambos cADN hibridados darán un color amarillo; de tal manera, este tipo de análisis, permite en un solo experimento llevar a cabo el equivalente a miles de experimentos individuales.

Podemos encontrar otras plataformas tecnológicas donde el experimento no es competitivo; es decir, donde cada mues-

tra se hibrida en arreglos de manera diferente, los cuales han sido elaborados con cADN inmovilizado. Existen también los arreglos de oligonucleótidos –sintéticos de alta densidad–, los cuales se basan en su síntesis química *in situ* de una secuencia de 25 bases correspondiente a algún gen conocido.

En la actualidad cualquier tipo de los arreglos se venden de forma comercial y su complejidad va desde cientos hasta decenas de miles de genes, incluyendo conocidos y secuen-



Figura 4. Supercomputadoras en red para análisis de datos de expresión provenientes de laboratorio. (Tomado de US Department of Energy Human Genome Program, <http://www.ornl.gov/hgmis>)

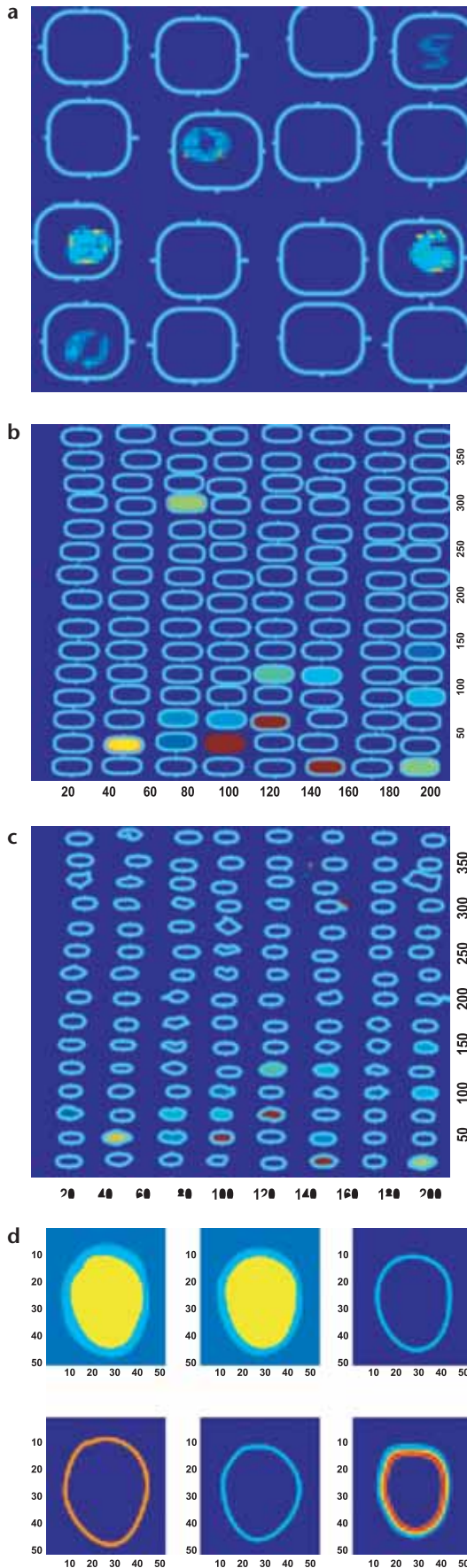


Figura 5. Ejemplo de software de análisis de imágenes. a), b) y c) Acomodo de la plantilla virtual de lectura sobre el microarreglo, d) Aplicaciones del software

cias de función desconocida llamadas *Secuencias Tag Expresadas* (EST por sus siglas en inglés) lo que nos permite el descubrimiento de nuevos genes.

Flujos de información

Antes de poder decidir sobre el uso de alguna de estas metodologías de análisis global, se debe verificar: a) la pregunta del experimento, b) la disponibilidad del arreglo, c) el equipo de captura de imagen y *software* apropiado, d) el costo y e) una colaboración sólida y multidisciplinaria con un grupo (o grupos) que desarrolle técnicas biomatemáticas y bioinformáticas para el análisis apropiado de los datos (figura 4). Esto último se debe a que un solo estudio puede generar miles de datos que definitivamente no pueden ser analizados a mano o en gráficas simples. La comunidad científica hasta ahora no ha determinado completamente cómo enfrentarse a estas cantidades masivas de datos para explorarlos e interpretarlos. Afortunadamente, en nuestro país están surgiendo grupos con interés en esta materia, los cuales ya cuentan con herramientas disponibles para el procesamiento, almacenaje y análisis de los resultados. Sin embargo, no existe un consenso internacional para comparar los resultados obtenidos por las diferentes técnicas de detección de expresión (por ejemplo: microarreglos, SAGE, chips de oligonucleotidos).

Existe una gran variedad de herramientas que han sido desarrolladas para la captura y el procesamiento de las imágenes de los arreglos. La meta principal es reducir la imagen a puntos de intensidad variable captada independientemente de otros puntos. Aunque suena relativamente sencillo, aún no existe una manera en común para extraer la información de expresión. Muchos grupos todavía están diseñando *softwares* y algoritmos para este propósito (figura 5).

La meta a lograr en este tipo de tecnologías de alto rendimiento es extraer el significado y las implicaciones de los datos, y la única manera de hacerlo es integrando los resultados experimentales con recursos externos como los del Sistema Entrez. Es decir, todos los genes que se encuentran punteados en un arreglo se encuentran en dirección mediante un número de acceso a esta base; sin embargo, aunque ésta y otras bases de datos son capaces de manejar toda esta información, existen serios problemas para establecerlas como un sistema. En algunos casos es más fácil y factible poder entender los datos, correlacionando los cambios de expresión en procesos y rutas metabólicas conocidas.

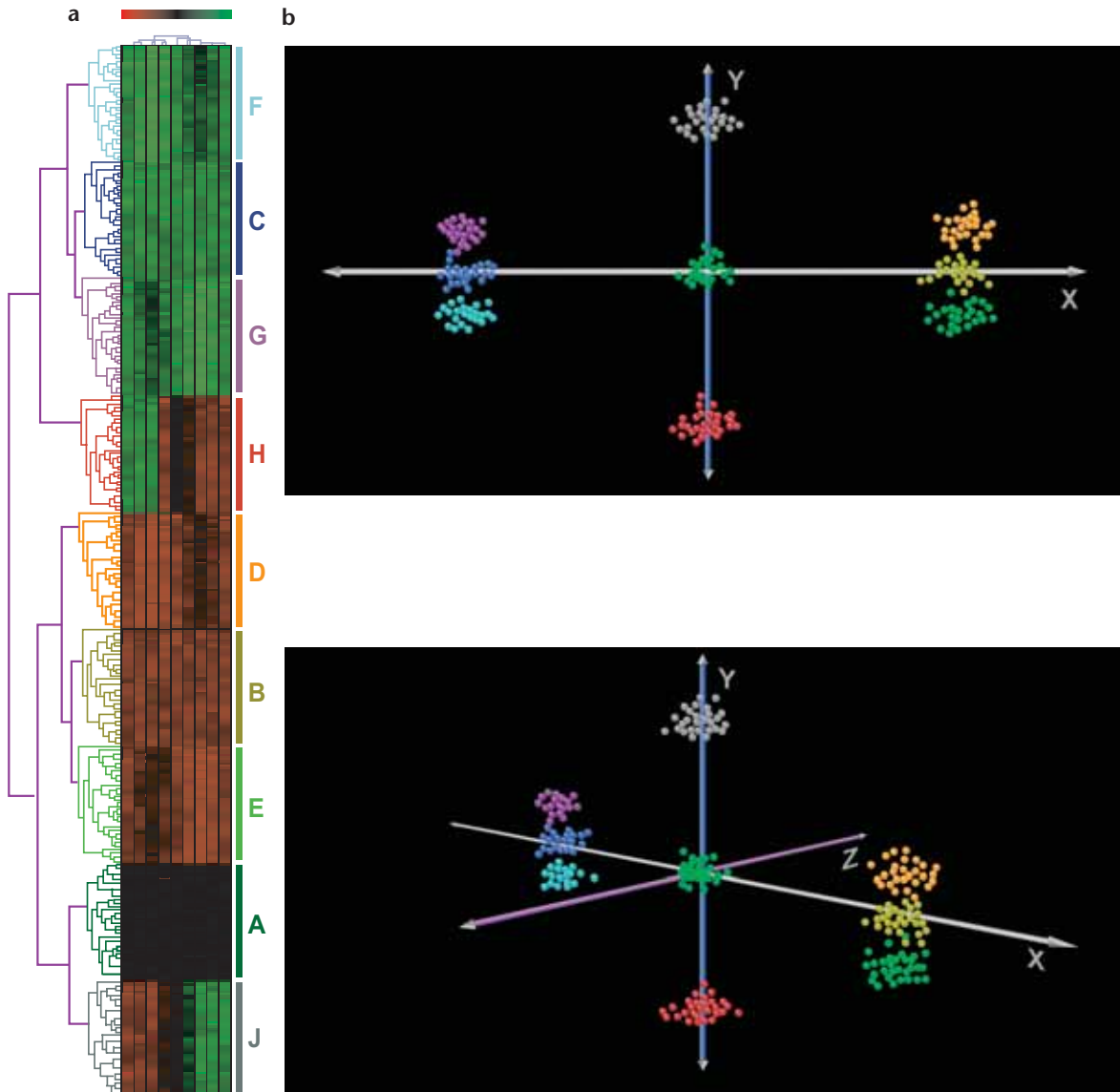


Figura 6. Ejemplos de análisis estadísticos. a) Cluster jerárquico y b) Análisis de Componente Principal, por sus siglas en inglés (PCA). (Tomado de: Quackenbush J. *Computational Analysis of Microarray data*. *Nature Reviews Genetics*. 2001. 2:418-427.)

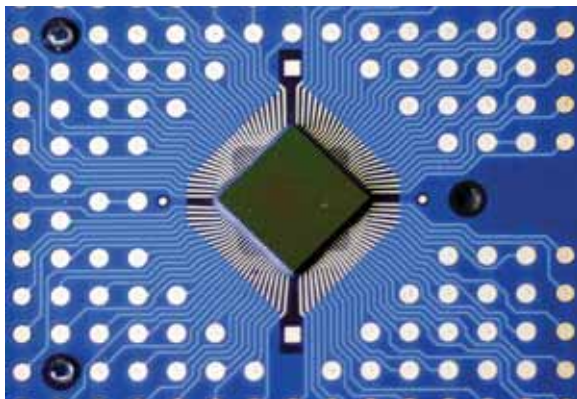
Análisis estadístico

A la fecha se conocen algunos métodos para la normalización de datos entre experimentos. No obstante, todos estos sufren variabilidad *intra* e *inter* experimental al determinar la expresión génica, haciendo que las comparaciones directas entre experimentos incluyan errores de análisis. Una meta acertada de las bases de datos públicas de expresión sería almacenar datos de diversas tecnologías de análisis de expresión en una forma estandarizada e *interoperable*. Desafortunadamente, los arreglos de cADN no pueden determinar el número de transcritos por célula, en cambio miden la abundancia relativa de los transcritos, lo cual imposibilita la conversión de los datos de expresión a un formato universal, es decir, a una unidad métrica legible, por lo que se distor-

siona la información primaria y no es posible establecer estándares para las bases de datos públicas.

En este mismo contexto de normalización, hasta la fecha se manejan tres formas que son las mayormente aceptadas: normalización de la intensidad total, utilización de técnicas de regresión y normalización mediante la aplicación de estadísticas de la razón y para las tres existen algoritmos ya establecidos.

Suena fácil suponer que el lugar y el momento en que un gen es expresado nos puede decir cuál es su función, pero eso no ocurre en la realidad. De ahí que el primer paso sea organizar los genes con base en su patrón de expresión por medio de *clusters* o grupos. Un *cluster* engloba diferentes algoritmos de clasificación que pueden ser utilizados para desarrollar taxonomías. La mayoría de los



Acercamiento a un chip que contiene información genética.

clusters son jerárquicos, la clasificación resultante tiene un número de clases y el producto asemeja una clasificación filogenética (figura 6). También existen técnicas de *clustering* no jerárquicas, como el K-means donde simplemente se dividen los *objetos* en diferentes grupos sin tratar de especificar una relación entre ellos.

Los métodos de *clustering* también pueden ser clasificados como: divisivos o aglomerativos. Un método divisivo empezará con todos los elementos en un *cluster* y gradualmente los separará hasta tener *clusters* más pequeños. Los aglomerativos, por su parte comienzan con varios *clusters* que se van fusionando. Finalmente, el *cluster* puede ser *supervisado* o *no supervisado*. El método supervisado utiliza información biológica existente sobre genes específicos que están relacionados funcionalmente para guiar el algoritmo del *cluster*. Aunque la mayoría de los métodos son no supervisados, tenemos que lidiar primeramente con éste.

El Análisis por *cluster* ha sido la herramienta estadística más ampliamente usada. La información obtenida por análisis de expresión a gran escala es una de muchos instrumentos que existen para analizar los datos y es necesario tener cuidado al aplicar esta técnica, pues, aunque los métodos utilizados son objetivos, debido a que los algoritmos están bien definidos y son reproducibles, todavía existe subjetividad al seleccionar diferentes algoritmos, normalizaciones o distancias métricas, porque pueden agrupar los objetos en diferentes *clusters*. Otra manera habitual de analizar los datos de expresión es mediante los *mapas de autoorganización* (Self Organizing Maps, SOM), redes neuronales basadas en *clusters* divisivos.

Aunque todavía no han sido muy desarrollados, algunos métodos computacionales han probado su buen funcionamiento en el procesamiento de información clínica y experimentalmente útil de los datos obtenidos de los perfiles de expresión. Otras técnicas computacionales empleadas actualmente son: redes booleanas, modelaje lineal, Análisis de componente principal (figura 6), modelaje no lineal, redes bayesianas, redes dinámicas, redes Petri, etcétera; sin embargo, aunque las herramientas y técnicas mencionadas anteriormente, así como nuevos algoritmos y softwares están



Interpretación en pantalla de la plantilla virtual de lectura sobre el microarreglo.

siendo desarrollados, la decisión de la técnica dependerá del objetivo de nuestro experimento y por lo tanto, los métodos matemáticos y bioinformáticos específicos para llegar a la respuesta adecuada. De ahí que el estudio de la expresión génica se haya convertido en una ciencia multidisciplinaria que incluye disciplinas como: ingeniería, matemática, biología, estadística e informática, favoreciendo así la colaboración entre diferentes grupos de investigación.

Validación

Debido a la inherente variabilidad de los datos de un microarreglo, es importante para los investigadores validar sus descubrimientos utilizando otras técnicas; por ejemplo: Northern Blot, RT-PCR cuantitativa, Hibridación *in situ* RNA_RNA o inmunohistoquímica.

Aplicaciones de los microarreglos

Dado que los microarreglos incluyen EST existe la posibilidad del descubrimiento de nuevos genes. Otros usos podrían ser la observación del resultado después de una perturbación específica y el análisis de la divergencia entre dos células diferentes. La identificación de patrones complejos de expresión utilizando análisis de *cluster*, podría ser otra de las utilidades de esta metodología.

Existen otras áreas de gran potencial de estudio que van desde el examen de los procesos naturales hasta la evaluación de seguridad de fármacos, incluyendo la división celular o envejecimiento, progresión de enfermedades, intervenciones farmacológicas e identificación de carcinógenos. Hasta el momento, el área principalmente trabajada ha sido la de la comparación de perfiles de expresión en tejidos normales con los de su contraparte tumoral. Además de revolucionar la clasificación de patologías, los patrones de expresión y los análisis de cluster prometen mejorar las actuales limitaciones en el diagnóstico químico e inmunológico de tejidos (inmunohistoquímico).

Finalmente, estos patrones podrían ser extremadamente útiles para la elaboración de pronóstico e identificación de

La caracterización de genes expresados en tejidos tumorales puede generar el descubrimiento de genes que sirvan como marcadores de diagnóstico, pronóstico o intervención terapéutica

subgrupos en pacientes que puedan responder de manera diferente en una terapia. La genómica funcional y la tecnología de microarreglos se encuentran aún en su infancia; no obstante, basándonos en el rápido progreso que ha tenido esta tecnología en los últimos cinco años, es casi seguro que cada vez será más accesible y útil.

En nuestro grupo, actualmente estamos utilizando esta tecnología para el estudio del cáncer cérvico uterino buscando

algunos genes que pueden ser candidatos de pronóstico o diagnóstico para esta patología, además de otro tipo de marcadores. Por otro lado, en conjunto con otros grupos de investigación se exploran nuevas posibilidades de análisis para esta metodología. De esta manera el análisis del transcriptoma humano es ahora una realidad en México. ●



Consulte las referencias bibliográficas en www.conacyt.mx, en el vínculo *Ciencia y Desarrollo*.

Guelaguetza Vázquez Ortiz es ingeniera en biotecnología ambiental por la Universidad Autónoma de Guadalajara y cursa el programa de doctorado en investigación biomédica en la UNAM. Ha realizado estancias doctorales en España, con apoyo del Conacyt.

Patricia Piña Sánchez es bióloga por la UNAM y maestra en ciencias químico biológicas por el IPN. Ha sido becada por el Conacyt y actualmente trabaja en el Laboratorio de Oncología Genómica del Centro Médico Nacional Siglo XXI.

Karla Vázquez Santillán es bióloga por la UNAM y realizó su tesis en el Laboratorio de Oncología Genómica del Centro Médico Nacional Siglo XXI.

Alejandra Mantilla Morales estudió medicina en la UNAM, cursó la especialidad en Patología en el Hospital General de México y realizó la maestría en ciencias en la UNAM. Es becaria del Conacyt y se encuentra adscrita al Departamento de Patología del Hospital de Oncología del Centro Médico Nacional Siglo XXI.

Mauricio Salcedo Vargas es químico bacteriólogo y parasitólogo por el IPN, maestro en biología molecular y genética y doctor en biología molecular por el CINVESTAV. Fue becario de la Escuela de Medicina de la Universidad de Harvard, donde obtuvo el premio Aida Weiss. Es miembro del SNI, nivel I y es investigador y jefe del Laboratorio de Oncología Genómica del Centro Médico Nacional Siglo XXI.



CANAL 22
E&CONACULTA
VE MÁS ALLÁ

LA DICHOSA PALABRA
EL JUEGO CON TU IDIOMA
Con Laura García, Pablo Boulosa, Germán Ortega,
Nicolás Alvarado, Eduardo Casar
Sábados 7 de la noche

TRANS GENICOS



Los pasos previos a la moderna biotecnología

HORACIO GARCÍA FERNÁNDEZ*

“¡Hay algo más en el cielo y en la tierra, Horacio, de lo que ha soñado tu filosofía!”
(Shakespeare, Hamlet, príncipe de Dinamarca; acto I, escena V)

De la “nucleína” al ácido nucleico

Hacia 1865, quienes utilizaban la química para estudiar los seres vivos, los bioquímicos, habían identificado en ellos tres grupos fundamentales de sustancias: grasas (lípidos), azúcares y almidones (polisacáridos) y, finalmente, proteínas.

En 1868, un joven médico suizo de 24 años de edad, Johann Friedrich Meischer, se trasladó a Tübingen, Alemania, para estudiar bajo la dirección de Ernst Félix Hoppe-Seyler, investigador que nombrara a la hemoglobina y fuera editor de la primera revista dedicada a la química de los seres vivos.

A Meischer le atraía la investigación mucho más que la práctica médica y su interés se dirigía particularmente a tratar de entender la función de los núcleos celulares. Las células del pus producido en las heridas tienen núcleos excepcionalmente grandes y son en consecuencia más fáciles de observar con el microscopio, por lo que las eligió como punto de partida para su estudio. Usando la pepsina, enzima digestiva que abunda en el estómago, Meischer procedió a disolver en ella prácticamente todos los componentes celulares, excepto los núcleos. Después de acumular una cantidad apreciable, los dejó secar hasta llegar a un polvo blanco y, estudiando las propiedades químicas de éste, se percató de que era rico en fósforo e insoluble en agua, pero soluble en un medio alcalino, lo que descubría su carácter ácido.

Por proceder de los núcleos, Meischer llamó a esta sustancia nucleína. Era distinta a todas las demás sustancias celulares conocidas.

En 1870, Meischer regresó a Basilea, Suiza, y allí, en el Rin, encontró en el esperma de los salmones otra excelente fuente de núcleos celulares. En realidad, Meischer no había separado una sustancia pura, sino la mezcla de un componente ácido y una proteína. Afinando el análisis en

compañía de sus colaboradores, logró finalmente separar el compuesto, al que Richard Altmann, uno de sus discípulos, llamó ácido nucleico. Por lo demás, ni siquiera se habían descubierto todavía los cromosomas.

Cromosomas y ácidos nucleicos

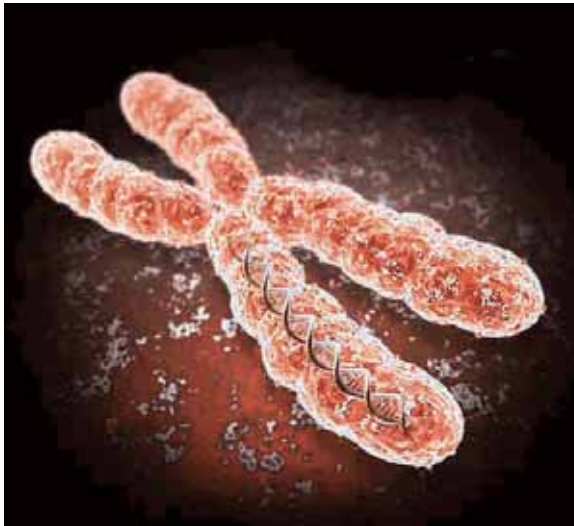
Nueve años más tarde se dio otro paso importante. Walter Fleming, un anatomista alemán de 36 años de edad, estudiaba al igual que Meischer los núcleos celulares. Su técnica se basaba en el uso de colorantes que, al reaccionar químicamente con los componentes de la célula afines, los teñían y permitían su observación en el microscopio. En 1879, Fleming utilizó un nuevo colorante de color rojo (khroma, en griego): al asomarse al microscopio descubrió unos cuerpos (soma, en griego) en el núcleo de la célula teñidos con este tono. Así aparecieron los cromosomas en la conciencia y la cultura humanas.

La duda, nueva pregunta, surgió naturalmente: ¿estaban formados los cromosomas por ácido nucleico, o por ácido nucleico y proteína?

Walter S. Sutton descubre la danza de los cromosomas

En 1902, el zoólogo y citólogo Edmund Beecher Wilson, suizo naturalizado estadounidense, trabajaba en la Universidad de Columbia, Nueva York, haciendo estudios de filogenia en animales marinos inferiores, y uno de sus discípulos de posgrado, Walter S. Sutton, se dedicaba a la búsqueda del origen de las células germinales de la langosta.

* Premio Nacional de Divulgación de la Ciencia 1996; profesor de la Facultad de Química de la UNAM.



Las técnicas de teñido se habían perfeccionado, y Sutton se sintió asombrado y fascinado ante lo que veía en el microscopio después de teñir las células de las que se formaban posteriormente las germinales: parecía una ordenada danza, durante la cual los cromosomas de las células madre se separaban y repartían por igual entre las dos células hijas formadas por la fisión de las primeras para, durante la fecundación, reunirse de nuevo.

Recordando lo predicho por Mendel respecto a los que él llamaba elementos de la herencia, Sutton, con la emoción de quién se pone en contacto por primera vez con uno de los grandes enigmas de la naturaleza y lo entiende, postuló que los cromosomas eran los portadores de los caracteres hereditarios. Nadie le hizo caso. No era conocido, era apenas un estudiante y, ¿quién valora el trabajo de los jóvenes no afamados?

Un premio Nobel recuerda a Sutton

En 1934, 22 años más tarde, Thomas Hunt Morgan recibió el premio Nobel de Fisiología y Medicina. En su conferencia al recibir el premio, incluyó la siguiente referencia: “En 1902, un joven estudiante, Walter Sutton, trabajando en el laboratorio de E. B. Wilson, puso de manifiesto, sin dejar lugar a dudas, que la conocida conducta de los cromosomas en el proceso de maduración de las células germinales, nos proporciona un mecanismo que explica la separación de las

unidades hereditarias postuladas en la teoría de Mendel.”

Morgan recibió el Nobel gracias a su descubrimiento del mecanismo de determinación del sexo y de la comprobación implícita de que los cromosomas eran las unidades transmisoras de los caracteres hereditarios. Lo sorprendente es que se pusiera a trabajar convencido de que lo aportado por Sutton era una falsedad, y dirigiera su investigación a demostrarlo. En el camino encontró que el joven estudiante tenía razón. Así, el joven y olvidado Sutton puso a Morgan en la senda del importante premio.

Partes de un rompecabezas

Hacia 1900 se habían identificado varias bases nitrogenadas como componentes de los ácidos nucleicos: guanina, timina, citosina, adenina y uracilo. Para 1920, ya se conocía el resto: el grupo fosfato, la ribosa y la desoxirribosa. También se sabía que los cromosomas estaban formados por la asociación de ácido nucleico con proteínas, en un complejo llamado nucleoproteína.

En febrero de 1944, Oswald Avery y sus colaboradores del Instituto Rockefeller, Nueva York, encontraron que el único componente ácido de los cromosomas era el ADN. En aquel entonces, Francis Crick se encontraba trabajando en un proyecto sobre minas navales del almirantazgo británico, y James Watson era un presumido estudiante de la Universidad de Chicago, aparentemente obsesionado con la ornitología.

Se determina la estructura del ADN y se instaura su dogma

Watson tenía 15 años de edad cuando ingresó a la Universidad de Chicago, en 1943, y sus intereses eran muy amplios. Fue el estimulante ambiente que encontró a su alrededor lo que finalmente lo llevó al terreno de la genética y a su, en ese tiempo, problema central: ¿cómo actuaba el ADN?

La preocupación por determinar la estructura era casi exclusiva de los investigadores ingleses. Decimos casi por Linus Pauling, gran excepción y excepcional químico estadounidense que hacia 1951 dedicaba sus esfuerzos a identificar la estructura de las proteínas. Precisamente el año anterior, 1950, James Watson había terminado su doctorado, a los 22 años de edad.



Sin embargo la herramienta clave para el análisis vino de los ingenieros que diseñaron nuevos tipos de microscopios. Con el microscopio electrónico y el análisis por difracción con rayos x se pudieron percibir las formas unidimensionales, planas, de las moléculas complejas. El problema que se planteaba era cómo interpretar en tres dimensiones lo que aparecía en las placas fotográficas.

Watson se trasladó a Inglaterra, donde Maurice Wilkins, del King's College de Londres, había tomado excelentes fotografías por medio de difracción de rayos x, aunque las mejores habían sido tomadas con el mismo método por Rosalind Franklin a lo largo de 1951. Watson buscó un aliado y lo encontró en Francis Crick. En el laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, juntos se pusieron a tratar de dilucidar la estructura del ADN, estudiando las fotografías tomadas por Franklin y Wilkins.

Así llegó la mañana del domingo 28 de febrero de 1953. Cuenta Watson en su libro *La doble hélice* que la tarde del viernes anterior se la había pasado cortando en cartón modelos de las bases nitrogenadas y tratando de asociarlas en un modelo macro. No había tenido éxito. Al llegar la noche dejó el trabajo para relajarse, primero en su casa y luego en el teatro. Observe el lector cómo para la creación científica no hay horarios o semanas de trabajo burócrata que funcionen. El domingo llegó fresco al laboratorio para intentar de nuevo la visualización imaginaria de la estructura del ADN. Empezó a cambiar la disposición de las bases enfrentándolas por parejas y de pronto, a manera de iluminación se dio cuenta que las bases podían colocarse y unirse por medio de enlaces de hidrógeno, siempre que se enfrentaran la adenina y la timina, por un lado, y la guanina y citosina, por otro.

Cuando Crick llegó, ambos comprobaron, con la alegría que podemos imaginar que la estructura que iban construyendo tenía la simetría predicha matemáticamente y que sus contornos coincidían perfectamente con la figura plana de las fotografías de Franklin y Wilkins. Aquella mañana Watson y Crick concibieron, aunque sólo fuera mentalmente, la estructura del ADN, aclarándose a sí mismos dónde se ubicaban los grupos fosfato y la desoxirribosa.

La estructura había sido sacada a la luz desde su trasfondo de miles de millones de años de oscuridad. Con ella la función química se aclaraba, se comprendía cómo podía duplicarse para formar el interior de los nuevos cromosomas de células hijas, transmitiendo así de una generación a otra sus

propiedades químicas, y cómo durante la formación de las proteínas, la transcripción, la secuencia de bases nitrogenadas servía de molde para que la correspondiente secuencia de aminoácidos pudiera unirse en ese orden específico que determina la existencia de cada proteína. Watson, Crick y Wilkins compartieron el premio Nobel en 1954. Rosalind Franklin fue totalmente olvidada.

Los pasos de transmisión de la llamada información del núcleo de la célula madre a las hijas, se asumieron de manera clara, pero dogmática. Se estableció como único camino posible el que empezaba en el ADN, del cual se pasaba al ARN, y de este compuesto a la secuencia de aminoácidos de la proteína. Esta manera de entender la química de los ácidos nucleicos se conservó como dogma hasta los primeros años de la década de 1970.

Los dogmas no prevalecen en el ámbito de la ciencia


Sin embargo, el multiplicado interés por aprovechar lo descubierto a partir de entender la conducta química del ADN, no tardó en dar nuevos frutos. En 1955, un año después de la entrega del Nobel a Watson, Crick y Wilkins, Marianne Grunberg-Manago y Severo Ochoa descubrieron una enzima bacteriana, proteína que cataliza la polimerización de los componentes del ADN para llegar a formar esta sustancia.

A principio de la década de 1960 se habían identificado virus que en lugar de contener ADN contienen ARN, con el que infectan a sus células huésped. En 1962, Howard Temin predijo que éstos podían contener además de ARN una enzima capaz de utilizarlo como punto de partida para la síntesis de ADN complementario, e inyectarla al infectar células. Esta enzima, la transcriptasa inversa, fue aislada por Temin. Independientemente, David Baltimore la aisló también en 1970. Así se dio la identificación de los llamados retrovirus, uno de los cuales es el del SIDA, trágicamente conocido.

El dogma quedó entonces superado: la síntesis de proteínas puede correr hacia atrás, del ARN al ADN.

Y llegó la ingeniería genética

El trabajo de investigadores como Temin y Baltimore, entre otros, permitió identificar enzimas que actúan como tijeras del ADN, cortándolo en determinados lugares, y enzimas



que hacen lo contrario: unen fragmentos pequeños de ADN, plásmidos, a la gran cadena de otro ADN. Con estas herramientas se desarrolló una técnica para cortar pequeñas partes de una gran molécula de ADN y trasladarlas a otro ADN, distinto del original. Lo importante es que esos plásmidos incorporados a otro ADN trasladan a él su capacidad para la obtención de los correspondientes ARN y, en consecuencia, de las proteínas que éstos producen.

Conociendo qué parte del ADN contiene la información para la síntesis de una proteína como el interferón, parte de nuestro sistema de defensa contra infecciones, es posible cortarla y trasladarla al ADN de bacterias que se multiplican

a una velocidad mucho mayor que los seres humanos y esperar a que produzcan interferón. Dado que se trata de una técnica de cortar, concentrar, trasladar, incorporar a nuevo ADN, etc, se le llamó ingeniería genética.

De la ingeniería genética a la biotecnología

Todo lo anterior fue hecho en laboratorios de investigación. Cuando se plantea la posibilidad de obtener el producto en grandes cantidades para colocarlo en el mercado, se pasa del modelo experimental, al industrial: de la ingeniería genética, a la industria biotecnológica.

Alimentos transgénicos: impacto en la nutrición.

AGUSTÍN LÓPEZ MUNGUÍA*

“El hombre, en lugar de ser el señor de la creación, debería asumir el estatus de protector, mediador y moderador”.

Marguerite Yourcenar

La agricultura, ¿mal necesario?

Al final de la era paleolítica la Tierra tenía cerca de cinco millones de habitantes (uno por km² en las zonas más hospitalarias) que procuraban su alimento de la caza, la pesca y la recolección de frutas, hojas, granos, raíces y tubérculos. Pero el crecimiento de la población y el agotamiento de los recursos, más los cambios de clima, acabaron por modificar también flora y fauna. Sólo la invención de la agricultura pudo salvar al hombre de una catástrofe.

Hoy somos más de 6,000 millones, mil veces más que entonces, gracias a que pudimos comer de la agricultura y, posteriormente, de la domesticación de animales, a los que alimentamos con los excedentes de la producción de cereales. Sin embargo, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) no sólo 800 millones de habitantes padecen hambre y 3,000 millones algún tipo de malnutrición, sino que enfrentamos una crisis ambiental sin precedente en la vida del planeta. La pérdida de biodiversidad y la desaparición de especies animales parecen estar irremediablemente

ligadas a nuestra evolución en la Tierra. La tala de bosques y selva tropical, clandestina y no, es causa de la pérdida de 13 millones de hectáreas de bosques y selvas tropicales en el mundo. De acuerdo con la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO), desde 1972 el mundo ha perdido 200 millones de hectáreas de árboles y 500 millones de tierras de cultivo. En México, los daños se estiman en 700 mil hectáreas anuales.

La agricultura influyó radicalmente en el curso de nuestra historia al cambiar nuestra relación con el medio ambiente, modificando la vocación del suelo y domesticando especies para proveernos de alimentos. A medida que el conocimiento y la capacidad del ser humano para convertirlo en herramientas avanzaron, lo hizo también la agricultura, siempre en busca de mayor cantidad y calidad de alimentos para satisfacer una demanda en constante crecimiento. Para desarrollarla, el hombre usó poco a poco a la Naturaleza, ya que la actividad agrícola se logra en detri-

* Divulgador y responsable de vinculación/gestión tecnológica del Centro de Investigación en Energía, UNAM. Premio Nacional de Ciencias 2003.



mento de los espacios verdes, agotando los nutrimentos del suelo y vertiendo agroquímicos. Además, sobre todo en el último par de siglos causa importante de la pérdida de biodiversidad fue que las variedades mejoradas y seleccionadas de cultivos fueran desplazando a las silvestres.

Pero, paradójicamente, sin desarrollo científico no sólo no hay futuro, sino que no hubiera habido presente, al menos no para los 6,000 millones que somos. Los datos son contundentes. En 1700, la población mundial era de 500 millones de habitantes, multiplicados por 6 para alcanzar en 1961, los 3,000 millones. Para alimentarse, tuvieron que aumentar 5 veces el área destinada a cultivos, pasando de 270 a 1,340 millones de hectáreas. Si se hubiera seguido esta tendencia y no se hubieran dado los desarrollos que permitieron aumentar la productividad agrícola y disminuir pérdidas, en 1993, cuando llegamos a los 5,500 millones de habitantes, se hubiesen requerido 2,410 millones de hectáreas, para un incremento poblacional de 1.85 veces. Mas fue posible satisfacer la demanda de la población con sólo 1,450 millones de hectáreas, aumento en el área cultivable de sólo 1.1 veces gracias a que los rendimientos pudieron casi duplicarse. De hecho, en 1961 el hambre afectó a una población de 917 millones (35% del total), cifra que disminuyó a 839 millones en 1993 (21%), lo que de ninguna manera quiere decir que el problema esté en vías de solución. Un futuro sustentable es aquél que permita alimentar a la población del futuro (8,000 millones para 2020) con las mismas tierras disponibles actualmente para la agricultura.

Una agricultura poco eficiente resultará en la pérdida de la biodiversidad, contradicción importante en muchos argumentos ambientales contemporáneos.

Hoy contamos con poderosas herramientas para la domesticación. Una de ellas es el resultado de extraordinarios avances en materia de conocimiento, control y modificación de la estructura y función de la célula. Específicamente, una serie de técnicas agrupadas bajo el término ingeniería genética, aplicada en una primera etapa a las células más simples (bacterias, hongos o levaduras), ha dado lugar a impactantes logros para la humanidad al producir medicamentos y aditivos alimentarios transgénicos. La segunda generación de transgénicos corresponde a plantas en las que la introducción o modificación de un gen les confiere una nueva propiedad de interés agronómico o alimentario. Su éxito ha sido tal que para 2002 se habían sembrado con ellas 58.7 millones de hectáreas en el mundo, 27% en países en vías de desarrollo, a pesar de la enorme controversia generada en torno. En ella se concentra en un bloque la postura de países con capacidad para usar los transgénicos, según el porcentaje total de superficie destinada al cultivo de organismos genéticamente modificados (OGMs) con el que participan: Estados Unidos (66%), Argentina (23%), Canadá (6%), China (4%) y 12 países más con el 1%. En 2002 se sumaron Colombia, Honduras y la India. En otro bloque está la Unión Europea, con una situación muy favorable en términos de autosuficiencia alimenticia y líder de opinión de todos aquellos países que, generalmente por





presiones de grupos ambientalistas, han detenido las aplicaciones de la biotecnología al campo.

Transgénicos y seguridad alimentaria

Cuando se habla de asuntos ligados con la seguridad alimentaria o el impacto de los alimentos (transgénicos o no) en la salud, es delicado exponer los riesgos dentro de la información sin sonar alarmistas o complacientes. Pese a estar seguros de haber expuesto los hechos en forma objetiva, la reacción de los medios de comunicación y el público puede no corresponder a lo planteado. Esto es particular en este caso, por la forma apasionada y emocional con la que han sido abordados algunos aspectos de la biotecnología, llegando incluso a la difusión de información sin fundamento con el fin de sostener una determinada postura. Así, sigue siendo complejo presentar una idea clara de qué es la biotecnología moderna y el potencial que representa sin dejar de señalar sus riesgos.

Toda actividad humana tiene riesgos. Uno al que cotidianamente nos exponemos es justamente el de seleccionar nuestros alimentos. Realmente los cultivos desarrollados hasta ahora a través de la biotecnología moderna han sido los más vigilados de la historia, los más probados, caracterizados e, incluso, regulados. Al menos, éste es el consenso de la comunidad científica internacional, incluyendo 12 academias de ciencia como la Real Sociedad de Inglaterra, la Academia de Ciencias de los Estados Unidos, y la Academia Francesa de Medicina, así como la OMS, la FAO, la Unión Europea y la Asociación Médica de los EUA. La OMS ha dejado muy claro los temas de preocupación en materia de seguridad alimentaria en relación con los OGM: efectos directos en la salud, riesgos de reacciones alérgicas, problemas nutricionales asociados a las modificaciones genéticas, y todo lo que caiga dentro de los llamados efectos no intencionales, que también pueden ocurrir en las variedades genéticas modificadas por la vía tradicional. Así, se han establecido lineamientos que señalan los factores a analizar y van desde cómo se realiza la construcción genética, hasta las sustancias producidas, los metabolitos (componentes de la planta), el impacto en el procesamiento y, finalmente, el no alterar la forma tradicional de consumo.

Estas líneas se han ido refinando, al grado de que a pesar de la enorme cantidad de ataques recibidos no ha

habido consecuencia negativa resultante del consumo de OGM. Estamos hablando de casi una década de consumo, cuando el 51% de la soya y el 9% del maíz que se producen mundialmente son modificados genéticamente. Por el contrario, alimentos no transgénicos introducidos recientemente en nuestras dietas, como el kiwi, han generado reacciones alérgicas, sin ser causa de alarmantes titulares en la prensa o controversias (Pastorello *et al.*, *Identification of actinidin as the major allergen of kiwi fruit*, 1998).

Transgénicos y nutrición

Quizá el mayor problema para la aceptación entre la población de alimentos modificados genéticamente es que ésta no ha tenido posibilidad de elegir. ¿Debemos etiquetar un alimento para que el consumidor seleccione? Hasta ahora la posición de la industria ha sido contraria por temor a que el público opte por *libre de OGM*. ¿Para qué seleccionar un alimento que aparentemente no aporta beneficio y que, además, ha sido bombardeado negativamente con publicidad, incluso pagada en la televisión?

Y es que las principales beneficiarias de este desarrollo han sido hasta ahora las grandes compañías transnacionales de la agroindustria: el 75% de lo que se siembra es resistente a herbicidas, el 17% a insectos y el 8% restante a ambos. Esto no es evidente para el consumidor, quien tampoco está al tanto de que el 9% de la producción de maíz (52 millones de toneladas) se pierde por plagas, o de que actualmente se aplican globalmente 10,700 toneladas de insecticidas al maíz, sustancias que llegan al organismo a través del producto, el agua o el medio ambiente. Un consumidor desinformado puede seleccionar tranquilamente *orgánico* (libre de agroquímicos) sin reflexionar acerca de que los insectos abren la puerta del cultivo a los hongos, algunos grandes productores de toxinas cancerígenas como la fumonisina, la zearalenona o las aflatoxinas, como son el *Fusarium verticilloides* o el *Aspergillus flavus*. Incluso con plaguicidas, el 25% de los granos se contamina con hongos. En los Estados Unidos controlarlos tiene un costo de 1,000 millones de dólares al año. El impacto en la salud del uso de las proteínas BT en las plantas transgénicas para reducir el riesgo de infección fungal debería ser elemento de información adicional para el consumidor. Sólo teniendo una información completa, éste puede tomar verdaderamente una decisión libre.



Además existe una amplia gama de desarrollos de tercera generación relacionada con modificaciones genéticas a alimentos, que impacta directamente en la salud del consumidor, independientemente de los desarrollados por instituciones mexicanas para resolver problemas agrícolas y nutricionales no específicos. Qué diría un consumidor ante una etiqueta que ofreciera:

Alimento modificado genéticamente para:

- 1) Evitar la producción de ácidos grasos trans, relacionados con los altos niveles de colesterol y afección a las coronarias y producidos por la hidrogenación de grasas.
- 2) Aumentar el contenido de grasa no saturada. Existe una variedad de soya comercializada desde 1998 que contiene 83% de ácidos grasos monoinsaturados, 11% saturados, mejor en este aspecto que el aceite de oliva. En general, la grasa es uno de los principales elementos dietéticos asociados a beneficios o problemas nutricionales. El control de su composición y el enriquecimiento con ácidos grasos esenciales son una posibilidad a corto plazo de la biotecnología.
- 3) Disminuir el riesgo de productos reconocidos como altamente alergénicos. Una vez identificados los elementos alergénicos es posible modificarlos para eliminar el factor tóxico. Una de cada 200 personas es alérgica al trigo, que ocasiona la enfermedad celiaca. El alcance de esta tecnología para beneficio de la población que sufre de alergias es extraordinario.
- 4) Eliminar los alcaloides del café, el te o el chocolate. Aunque para muchos el café sin cafeína no es tal, 10% del mercado lo ocupa el descafeinado con solventes. Existen reportes de variedades genéticamente modificadas en las que se disminuye el contenido de cafeína en la planta. En materia de eliminación de sustancias tóxicas la gama ejemplar es muy amplia. El tabaco sin nicotina puede ser un producto que rápidamente encontremos en los mercados.
- 5) Retrasar la maduración de las frutas para que sus variedades lleguen a más consumidores y se disminuyan pérdidas en beneficio del productor. En el caso de las frutas tropicales este tema es particularmente importante para nuestro país.

Finalmente, cito el hasta ahora más impactante ejemplo de lo que la biotecnología puede hacer por la salud del consumidor: el arroz dorado. Las cifras de seres humanos afectados de ceguera por carencia de vitamina A, o de anemia por falta de hierro, dejan sin aliento. En el sur de Asia, 70% de los niños menores de 5 años sufre de deficiencias en vitamina A, cuyo abasto suficiente evitaría de 1 a 2 millones de muertes entre aquéllos de 1 a 4 años, y libraría de la ceguera a cientos de miles.

Con apoyo de la Fundación Rockefeller, investigadores suizos liderados por Igor Potrikus lograron introducir genes al arroz, acción imposible por medio de la selección natural. Con ello esta variedad puede producir caroteno en cantidades tales que consumir 300 g de grano permite satisfacer de 20 a 40% de los requerimientos diarios de vitamina A. Esto no fue desarrollado por o para la industria, no hay beneficio para transnacional alguna. Por el contrario, se hizo pensando en la población infantil y en los más desfavorecidos, cuyo único alimento es un plato de arroz; contribuye a la solución de un grave problema mundial de salud, al tratarse de un producto sustentable y, sin costo. Aquí la construcción genética no requirió de los marcadores de resistencia a antibióticos, uno de los aspectos más cuestionados de los OGM. Es ético oponerse a este desarrollo? Lo es impedir que la ayuda alimentaria llegue a África sólo por ser transgénica?

El problema es global y las soluciones múltiples, es un paradigma que requiere de cambios radicales, similares a los que dividieron al paleolítico del neolítico. En este contexto la biotecnología permitirá enfrentar inconvenientes como la necesidad de vitaminas en las dietas vegetarianas y el déficit en aminoácidos esenciales en algunas proteínas, además de su impacto en los rendimientos de los cultivos y en el ambiente, resultado de la disminución en el uso de plaguicidas, y la contribución en aspectos de productividad. Alguna vez se dijo que el comunismo se hundió al no permitir que los precios reflejaran la realidad económica; el capitalismo podría hacerlo al evitar que reflejen la realidad ecológica.





Bioseguridad hoy: ¿qué tan inocuos son los alimentos modificados genéticamente?

JAIME PADILLA ACERO*

¿Por qué habríamos de preocuparnos si nuevos alimentos, derivados de cultivos modificados genéticamente (MG), son sanos y saludables? ¿Por ser nuevos, o por el método con el que se generaron? ¿Hay instancias oficiales responsables de solicitar, examinar o certificar la inocuidad de los nuevos productos alimenticios que se pretende introducir comercialmente (sean o no *transgénicos*)? Al final de cuentas, ¿nos interesa conocer cuáles son los estándares y pruebas de seguridad sanitaria para nuevos alimentos?

Podemos hablar de inocuidad alimentaria como la inexistencia de riesgos importantes a la salud al consumir, en formas adecuadas, determinados productos. Cada tipo o muestra de alimento es seguro si no es causa directa y demostrable de enfermedades, toxicidad u otra clase de reacciones adversas cuando se obtiene, se conserva o se prepara mediante procedimientos tradicionales o novedosos. La percepción de riesgos para la salud depende de nuestra experiencia y de la información disponible. En el caso de la alimentación, nos parece que comer quesadillas o buñuelos no implica ningún riesgo, porque llevamos muchos años consumiéndolos sin consecuencias notorias (aunque los excesos y prácticas inapropiadas al prepararlos o conservarlos aumentan los riesgos). En cambio, si leemos en la prensa que hay “elotes que producen toxinas con genes de bacterias”, “queso con enzimas transgénicas” o incluso, “fructosa alterada genéticamente”, esta información tergiversada o fuera de contexto, haría sospechar a muchos de riesgos incomprensibles e innecesarios.

En cualquier actividad humana y en cada tecnología para satisfacer nuestras necesidades, se presentan uno o varios

tipos de riesgo (sanitarios, ambientales, socioeconómicos; solos o en conjunto), los que debemos asumir de manera conciente. Percibimos mejor aquéllos que amenazan nuestra salud, en parte gracias a un conjunto de prácticas de *análisis de riesgos*, que permite reconocerlos y prevenirlos, o al menos manejarlos en cierto grado, aunque sea de modo automático. En síntesis, cualquier riesgo puede abordarse bajo este enfoque general de tres pasos. Pensemos, no sólo en Organismos Modificados Genéticamente (OMG u OGM), sino también en incendios, resbalones, embotellamientos, infecciones por virus de computadora o de SARS, la caída de meteoritos, etc. Lo primero es *evaluar* el riesgo: cuáles son los agentes causantes de peligro, los posibles daños y la posibilidad de estar expuesto a ellos. Segundo, su *manejo*: qué medidas hay disponibles para evitar o disminuir los riesgos, o bien, cuáles acciones o nuevos dispositivos son necesarios para prevenirlos de manera más eficaz. Tercero: cómo *comunicar* a nuestros semejantes, —sin desidia o alarmismos y por cuáles medios— los peligros y su posible control.

Actualmente es indispensable prevenir el riesgo de tomar decisiones equivocadas —en forma personal o social— provocadas por desconocimiento o confusión, sobre la naturaleza, ventajas e inconvenientes (relativos) de nuevos productos como los cultivos de OMG. Un análisis de riesgos realizado sistemáticamente, podrá resolver muchas controversias respecto de la ingeniería genética en la alimentación, pero aquí nos enfocaremos específicamente en su utilidad para el asunto de la inocuidad.

OMG, opciones de mejora alimentaria

Los alimentos genéticamente modificados provienen mayoritariamente de nuevas variedades vegetales en las que

Biólogo y doctor en ciencias por la UNAM, investigador asociado del Instituto de Biotecnología de la UNAM. Ha impartido diversas charlas y publicado textos de divulgación relativos a los alimentos transgénicos.



algunos genes han sido cambiados de modo artificial, por un mecanismo alternativo, complementario y relativamente rápido para obtener cultivos con características definidas y útiles. La base de estas modificaciones en la introducción estable de nuevas moléculas informativas (genes), que se expresan en otras moléculas responsables de estructuras o actividades celulares (proteínas); éstas a su vez, le confieren funciones o características de interés agronómico a cultivos que no las poseían.

En muchos cultivos alimentarios, distintas variedades, que son resistentes a plagas y enfermedades, así como tolerantes a herbicidas u otras condiciones limitantes en los agrosistemas (agua, salinidad, acidez y otros), se han obtenido a partir de capacidades que confieren genes de otras especies de plantas, hongos y bacterias. Incluso se emplean fragmentos útiles del genoma de ciertos virus vegetales para controlar con precisión la expresión de estos *transgenes* en plantas modificadas genéticamente.

En cuanto a su idoneidad, varios de estos alimentos actualmente disponibles se desarrollaron para proteger mejor los cultivos y ser así atractivos para los productores y la industria alimentaria. Durante su desarrollo se busca que, a pesar de cualquier modificación, la nueva variedad sea prácticamente idéntica a la original; es decir, que el cultivo y el alimento modificados sean tan sanos y saludables como el mismo alimento derivado de la variedad o cultivo tradicionales, pero con mayor productividad. Sin embargo, no se pueden obviar otras posibles consecuencias de esta modificación y es necesario evaluar su inocuidad.

Normatividad y salud

Las decisiones acerca de los potenciales riesgos sanitarios de nuevos cultivos y alimentos modificados genéticamente

deben basarse en pruebas convencionales, cuyos resultados sean comparativos y significativos, así como reproducibles y accesibles; que procedan caso por caso (cada variedad, gen, función, uso, etc.) y paso a paso (por ejemplo, el esquema de Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos, que aplica la Dirección General de Control Sanitario de Productos y Servicios de la Secretaría de Salud). No obstante, la falta de algunos reglamentos para aplicar las directrices internacionales y la carencia de una mejor coordinación intersectorial en este ámbito son todavía dos limitaciones para la existencia de un sistema más eficiente y confiable en nuestro país. Sólo la evaluación de riesgos en el marco de una normatividad clara es garantía para encontrar explicaciones a muchas dudas que surgen con el advenimiento de los OGM.

En México se han aprobado pocas variedades para comercialización y consumo y, excepto en dos casos (jitomate y algodón), ninguna está autorizada para su siembra¹. Hay instancias que actualmente se ocupan de los aspectos de esta aprobación (la CIBIOGEM y dependencias de la SS), aunque en materia de sanidad alimentaria no se ha adoptado formalmente un esquema especial para analizar cultivos modificados genéticamente. Además de faltantes en lineamientos y mecanismos específicos, existen criterios para considerar que varios de los riesgos imputados a los alimentos genéticamente modificados son semejantes o igualmente posibles en cultivos o productos nuevos obtenidos por los métodos de mejoramiento genético tradicional.

¹ El reciente y controversial caso de introgresión de genes recombinantes en variedades criollas mexicanas (manejado en los medios como 'contaminación genética'), tiene su origen, entre otras causas, en la siembra no autorizada de variedades de OMG por la carencia de una normatividad adecuada.



Riesgos sanitarios

Y, ¿cuáles son tales riesgos sanitarios? Prácticamente todos ellos se refieren a cambios en el contenido químico del alimento. Los OMG contienen nuevas moléculas derivadas directamente de la modificación: nuevos genes, enzimas o metabolitos que es necesario detectar y medir. Además, es necesario determinar en modelos experimentales y clínicos adecuados si se presenta algún efecto benéfico o tóxico, y tratar de asociar o descartar su presencia con diferencias demostrables de este contenido. Hay moléculas adicionales que mejoran su desempeño durante la producción o el procesamiento (por ejemplo, las proteínas bioinsecticidas, las enzimas que destruyen herbicidas), o bien son responsables de producir o almacenar nutrimentos adicionales (como pro-vitamina A, ferritina con hierro biodisponible). Con base en un poderoso arsenal de pruebas fisicoquímicas e inmunológicas es posible predecir si tienen potencial para producir alergias, usando un arsenal de pruebas fisicoquímicas e inmunológicas muy poderoso. De hecho, el sistema ha sido bastante cauteloso, a pesar de un par de casos bastante tergiversados (una proteína de la nuez de la India en soya, el caso de maíz *Bt* tipo *StarLink*).

La sospecha de que los genes de resistencia a los antibióticos (marcadores) en cultivos MG pudieran modificar la flora intestinal y favorecer la aparición de bacterias resistentes a aquéllos, no ha podido confirmarse de modo convincente, además de que esta técnica ya no está en uso en el ámbito comercial. Además, es esencial que los genes que han sido insertados contribuyan establemente en su nueva función y no generen variaciones indeseables en otros genes, o en el aspecto o ciclo de vida del cultivo. Asimismo, hay variedades con usos no alimenticios (que asimilan o producen otras sustancias), para las que se promueve no usar cultivos alimentarios y sembrarlas bajo condiciones muy restringidas.

La bioseguridad, cuestión internacional

Distintos organismos internacionales relacionados con la agricultura, la alimentación y el comercio se han ocupado de definir criterios de base a las reglamentaciones en cada país. Fundamentalmente la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han

establecido una serie de términos de referencia y prácticas mínimas para hacer este tipo de análisis. Un instrumento de primera importancia es el *Codex Alimentarius*, un vasto conjunto de documentos de consulta elaborado, discutido y actualizado a partir de varios comités multinacionales en cada especialidad alimentaria (aditivos, drogas veterinarias y pesticidas, higiene, carne, etiquetado y otros). Además de la participación de investigadores nacionales, las autoridades sanitarias en México se basan en estos documentos. El rigor y la transparencia de su actuación dependen también de otros factores que sería motivo de otro análisis.

Cada actor en el proceso alimentario tiene un interés y una perspectiva de esta tecnología y sus productos; empujando con la inocuidad es necesario armonizar criterios y procedimientos. Como consumidores, basamos la selección de nuestra comida en un balance de factores —lo llaman más formalmente análisis de costo-beneficio— que cuando no responde a compulsiones o modas, nos sugiere el mejor producto para una compra: bueno, bonito y barato dice el refrán. En este caso sano y saludable. ¿En que nos basamos? ¿Sabemos leer las etiquetas de “Información nutrimental” o el carácter y vigencia de permisos sanitarios?, o más aún, ¿nos interesa hacerlo?

Recientes cambios a la Ley General de Salud, exigirán que los alimentos derivados o procesados con OMG lleven una etiqueta que lo declare; falta precisar detalles normativos como los datos a incluir y quien realizará y pagará este análisis. Existen otras fuentes de información confiable, accesible y actualizada. A través de los medios electrónicos y de algunas publicaciones (*i.e.*, “Biotecnología y Sociedad” en la Agencia de Noticias de la AMC, títulos de CONACULTA como *Biotecnología* de A. López-Munguía), la comunidad académica ha hecho un esfuerzo reciente para poner en contexto las diferentes facetas del asunto de la biotecnología agrícola en general y de los OMG en particular, así como algunos documentos o declaraciones un poco más autorizadas que las frecuentes opiniones, denuncias y boletines en la prensa.

Un avance significativo hacia un estatus mejor organizado radicaría en tener un marco regulatorio completo. La normatividad que actualmente se aplica es insuficiente, porque requiere una articulación integral dentro de una legislación sobre bioseguridad congruente con el llamado Protocolo de Cartagena. El actual Senado atinó a reelaborar



una iniciativa de ley que contempla el asunto de la bioseguridad y los OMG, con la asesoría de investigadores y tras una consulta más o menos amplia. En ella se adoptan muchas de las definiciones y medidas a las que estamos obligados por la legislación internacional en materia de bioseguridad. Esta iniciativa se dictaminó positivamente y quedó pendiente de aprobación por parte de la Cámara Diputados.

Finalmente la experiencia y la percepción personal sobre alimentos modificados genéticamente son aspectos dinámicos que debieran de modelarse con una sabia combinación de audacia, precaución e información. Varias organizaciones, universidades y escuelas han organizado foros de difusión y debate en torno al tema, pero salvo contadas excepciones, el asunto se polariza y no hay un intercambio y reflexión honesta y ordenada de argumentos, indispensables para hallar alternativas y tomar decisiones más productivas.

La salud está en la dieta

Muchos autores sostienen que la salud está en la dieta suficiente, balanceada, accesible, y que con los actuales cultivos se puede conseguir; pero, existe una presión real por modificar los cultivos para mejorar sus rendimientos sin extender más las áreas agrícolas con el fin de adelantarnos a la incesante adaptabilidad de los patógenos (que merman notablemente nuestras cosechas), y producir componentes alimenticios a partir de otras fuentes más manejables (lo que ayudaría a aprovechar cultivos subutilizados, o a conservar otros sobreexplotados). Por ello, es aconsejable disponer de alternativas versátiles y sustentables diseñadas para resolver



o prevenir riesgos reales asociados con la actual producción agroalimentaria, y los OMG constituyen una alternativa. No obstante, de acuerdo con los estándares de la FAO, ningún logro de este tipo estaría por encima de la salud humana, por lo que contar con un sistema para establecer su inocuidad es importantísimo.

Los planteamientos y conclusiones subsiguientes se derivan de la opinión y las metodologías avaladas por asociaciones profesionales del ámbito internacional y por científicos, médicos e ingenieros especialistas en áreas de nutrición, biotecnología agrícola, salud pública y toxicología. En particular son relevantes los de la FAO, la OMS y nuestra Secretaría de Salud en torno a la inocuidad, como parte de la bioseguridad bajo el enfoque del análisis de riesgos.

Evidencias versus especulaciones

La biotecnología posee bases técnicas firmes y tiene todavía un gran potencial estratégico para ser aplicada en el campo agroalimentario mexicano, aun cuando no se haya desarrollado por limitaciones legales, económicas y político-culturales que es necesario reconocer y enfrentar: comprensión de los retos alimentarios y sanitarios y de las oportunidades comerciales, las opciones tecnológicas y la legislación sobre OMG, entre otras.

Los alimentos genéticamente modificados disponibles en el mercado global han sido sujetos a diversas pruebas de inocuidad y han sido realizados bajo estándares y por agencias confiables. En todos los sistemas de evaluación de riesgos hay controversias y ajustes, derivados necesariamente de cada nuevo caso, de fallas eventuales a diversos niveles de complejidad y otros que, definitivamente no tienen que ver (los cultivos transgénicos no causan la *enfermedad de las vacas locas*). Después de casi una década no hay pruebas contundentes de daño. Por ello se sostiene que los alimentos modificados genéticamente aprobados para consumo humano son tan seguros y saludables como sus equivalentes. Ni siquiera con el agua *pura* se puede garantizar un 100% de inocuidad; además no es posible probar metodológicamente, que un alimento no es seguro. Las variables alrededor de la inocuidad son múltiples. Sin embargo algo es cierto: los consumidores tienen derecho a elegir el producto que deseen con base en información autorizada, precisa y entendible.



Transgénicos y legislación

DRA. AMANDA GÁLVEZ MARISCAL*

Legislar acerca de los Organismos Genéticamente Manipulados (OGM) no es sencillo, son organismos novedosos y se considera que deberían ser vigilados durante su desarrollo en el laboratorio, su ensayo en el medio ambiente y su utilización comercial. En un inicio se pensó en tomar como base las legislaciones para el manejo de sustancias peligrosas, de manera similar a como se maneja un derrame de petróleo, la contaminación de un lago o un escape de radiactividad. Sin embargo, se reconoce que los OGM son distintos a los contaminantes o las sustancias peligrosas, pues para empezar son organismos que frecuentemente se manejan vivos, que contienen una información genética no originalmente parte de ellos, que no es un componente de su genoma original y por lo tanto, en tratados internacionales como el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad, se habla de Organismos Vivos Modificados (OVM). Si se liberan en la naturaleza, los OVM pueden quedar a merced de las presiones de selección como las que sufre cualquier organismo para que se implante en un ecosistema, evolucione o bien desaparezca.

Es justamente su composición novedosa lo que tanto preocupa a legisladores y científicos, por la posibilidad de que los genes nuevos, o transgenes, puedan ser transferidos a otros organismos en la Naturaleza. Esta incertidumbre, *los posibles riesgos de liberar estos organismos en el medio ambiente y de que se crucen con variedades nativas o silvestres*, dio lugar a que los países decidieran someterlos a una estricta reglamentación. Por ejemplo, nunca antes se había tenido que solicitar permiso para sembrar tomates. Pero ahora sí: si se va a sembrar tomates transgénicos se tiene que solicitar un permiso y realizar una serie de pruebas que demuestren la seguridad del cultivo. En este contexto, *seguridad* significa evitar que durante su manejo los transgénicos se crucen con las variedades nativas, con las que puedan tener compatibilidad sexual. La polinización es una de las formas más comunes de entrecruzamiento entre plantas, y es la *biose-*

guridad la que marca las pautas para controlar el escape de transgenes en la Naturaleza.

Por lo tanto, las legislaciones requieren basarse en estudios para verificar que el cultivo transgénico sea seguro, tanto para otras variedades y sus parientes silvestres en una región dada, como para la salud del consumidor. Es importante aclarar que también hay microorganismos y animales transgénicos, aunque en este artículo se usarán ejemplos relacionados con plantas, por ser *las plantas transgénicas las que ya actualmente se comercializan*.

En este artículo se consideran principalmente dos categorías de transgénicos dependiendo de sus diferencias de manejo: los que se liberan al medio ambiente, y los que no están destinados a ser cultivados, por ser sólo para consumo y proceso. Existe una tercera categoría: los que se utilizan en forma contenida, es decir, aislados del medio ambiente. Justamente por estar en contención son relativamente más fáciles de manejar.

La legislación referente varía de un país a otro. En algunos, como Brasil, hay una ley de bioseguridad nacional hecha específicamente para reglamentar los transgénicos. En otros, como los Estados Unidos o Canadá, se reglamentan con base en las legislaciones existentes.

Además, hay dos enfoques legislativos respecto de los transgénicos: uno que considera el proceso de transformación del organismo, y otro donde lo que se reglamenta es el producto. Esto quiere decir que para algunos países basta que se trate de OGM para que se consideren diferentes y, por lo tanto, sujetos de reglamentación. En el otro enfoque, como en Canadá, la reglamentación no depende del proceso de transformación: se tratan como si fueran especies exóticas a introducirse en el medio ambiente canadiense, como señala P. McDonald en *Regulación de plantas con rasgos nuevos (PRNs) en Canadá*.

Reglamentación: el propósito

El propósito de reglamentar los OGM es *minimizar sus posibles impactos* sobre el medio ambiente y la salud del

* Amanda Gálvez Mariscal es químico farmacéutico biólogo, maestra en ciencia y tecnología de alimentos y doctora en biotecnología. Es profesora en la Facultad de Química de la UNAM.



consumidor. Para lograrlo se cuenta con una herramienta, la *evaluación de riesgos*.

Es natural pensar que, según su situación geográfica, un país puede tener territorios con una diversidad biológica especialmente diversa; y es de sobra conocido que son los países en desarrollo los que cuentan con medio ambientes megadiversos. Por el contrario, los países productores de transgénicos son industrializados y tienen territorios con baja biodiversidad, por lo que el problema de la *conservación* en sus territorios es relativamente fácil de resolver, y los coloca en una situación que les permite apoyar totalmente su biotecnología agrícola e impulsar los cultivos transgénicos, considerándolos como una forma más de fitomejoramiento moderno. Los países megadiversos son generalmente los que están en desarrollo, no cuentan con una industria biotecnológica poderosa, pero tienen amplia diversidad biológica y son frecuentemente centro de origen y diversificación (COD) de cultivos de importancia económica (Mackenzie *et al.*, 2003).

A México, cuyo territorio es COD del maíz y de varios cultivos de interés comercial (calabacitas, frijol, chile, aguacate, jitomate) y centro de diversificación (CD) de otros (mago, tabaco, cacao y papa), se le plantea, en su condición de país megadiverso, una situación complicada por tener ecosistemas variados: casi siempre se encuentran en ellos variedades nativas con las cuales los transgénicos podrían cruzarse. Tratar de contener a los transgenes, si se han cruzado con las variedades nativas sería sumamente difícil.

Cada país es responsable del cuidado de los ecosistemas de su propio territorio, pero con los elementos expuestos arriba se visualiza la complejidad que enfrentan los sistemas de bioseguridad en países megadiversos: deben proteger las variedades nativas y silvestres por ser reservorios de genes naturales que han evolucionado en cada territorio y que son legado de la Naturaleza para la humanidad, no sólo por formar parte de los ecosistemas, sino porque las variedades nativas de importancia comercial tienen clara utilidad: la alimentación humana, como el caso del maíz.



Reglamentación: ámbitos

A excepción de los países que tienen una ley específica para OGM, en la mayoría hay tres ámbitos de reglamentación para los transgénicos: el sector ambiental, por los posibles impactos sobre los ecosistemas; el sector agrícola, puesto que los transgénicos comerciales se siembran como cultivos alimentarios extensivos, y el sector salud, ya que debe vigilarse la seguridad del consumo de estos cultivos, tanto en seres humanos como en animales.

En México, el sistema jurídico se basa en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de la que

se derivan las leyes federales y generales. Para cada ley se redactan reglamentos que se pueden ejercer gracias a sus normas. Con respecto a la bioseguridad, el marco normativo está dividido en los tres sectores antes mencionados, y se ve fragmentado en diversos ordenamientos y medidas, con el agravante de que no todos los sectores tienen un mismo grado de desarrollo. Los distintos ordenamientos que rigen la bioseguridad en México se describen en la tabla anexa. Es importante mencionar que a pesar de la existencia de estas leyes federales y generales, y de algunos reglamentos, sólo en la Secretaría de Agricultura está vigente la norma NOM-056-FITO-1995, aunque se ha terminado ya la redacción de una

Tabla. Sectores y lineamientos que reglamentan la bioseguridad en México, con nuevas adiciones a las leyes, proyectos de norma y leyes de bioseguridad.

SECTORES	LINEAMIENTOS
Ambiental	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental
Agrícola	Ley Federal de Sanidad Vegetal y NOM-056-FITO-1995 Ley Federal de Sanidad Animal Ley Federal de Variedades Vegetales Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas Reglamento de la Ley sobre Producción y Comercio de Semillas
Salud	Ley General de Salud, y su Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios
Nuevas menciones	Ley Federal de Protección al Consumidor Ley de Desarrollo Rural Sustentable Ley General de Desarrollo Forestal Reglamento en Sector Salud sobre: insumos para la salud, publicidad, investigación para salud humana Enmienda al Código Penal (420 ter)
Proyectos	Seis iniciativas de distintos partidos Ley de Bioseguridad propuesta por la AMC aún en discusión NOM-FITO/ECOL-2003

Modificado de: Arriaga Arellano *et al.* "Marco Legal e Institucional de la Biotecnología". En: *Biotecnología para el desarrollo de México en el siglo XXI*. México. SEP-CONACYT. 2001. pp. 71-116



Universidad Autónoma de San Luis Potosí

INSTITUTO DE FÍSICA "MANUEL SANDOVAL VALLARTA"

PROGRAMAS DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN FÍSICA

Líneas de investigación teóricas y experimentales

- Física de partículas elementales
- Materiales nanoestructurales
 - Materia condensada
 - Fluidos complejos
 - Físicoquímica
 - Biofísica

El examen de nivel y el inicio de la Escuela Propedéutica y de Actualización (EPA) para maestría y doctorado directo se realizan en junio de cada año. Las inscripciones al doctorado son accesibles durante todo el ciclo escolar. Los grupos de investigación están abiertos para estancias posdoctorales.

Nuestros programas de posgrado han sido calificados por el CONACyT como Alto Nivel dentro del Padrón Nacional de Posgrados. Los estudiantes mexicanos admitidos son elegibles a becas CONACyT. Los estudiantes de otras nacionalidades pueden optar por becas otorgadas por organismos internacionales.

Coordinación del Posgrado en Ciencias (Física)
Av. Dr. Manuel Nava No. 6, Zona Universitaria
San Luis Potosí, S.L.P. México 78290
Teléfonos: + 52 (444) 826-2362 al 65
Fax: + 52 (444) 813-3874
www.ifisica.uaslp.mx
posgrado@ifisica.uaslp.mx



norma conjunta entre el sector ambiental y el de agricultura para reglamentar los pruebas piloto y las de escala comercial.

De todos los ordenamientos, sólo la Ley Federal de Sanidad Vegetal cuenta con una norma específica, la NOM-056-FITO-1995, que regula los requisitos fitosanitarios para la movilización nacional de los OVM y cuya ejecución se da a través un grupo colegiado que realiza las evaluaciones de riesgos: el Subcomité Especializado de Agricultura (Massieu, Y. y Chauvet M., 2003:238; Arriaga, E. *et al.* 2001).

Pasos a dar y dificultades

La falta de normas que permitan la ejecución apropiada de las leyes hace del sistema legislativo mexicano en bioseguridad un sistema hasta cierto punto discrecional, con vacíos importantes, lo vuelve restrictivo, debido a que se crea incertidumbre para los agricultores y los productores, y no queda claro el ámbito de competencia de las Secretarías involucradas (ROL libro verde). Por estas razones, a fines de 1999 se creó la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), cuyo objeto es coordinar las políticas de la administración pública federal mexicana relativas a la bioseguridad y la producción, importación, exportación, movilización, propagación, consumo y, en general, uso y aprovechamiento de OGM y de sus productos y subproductos.

La creación de la CIBIOGEM ha sido una medida positiva, que permite el ejercicio colegiado en la toma de decisiones de manera tal que no se concentra en un solo sector, pero en la práctica aún falta la coordinación requerida para manejar la bioseguridad en un complejo sistema como es el mexicano.

Una solución para evitar tal dispersión sería una ley *marco* de bioseguridad. Con este fin, desde 1999 hasta finales de 2003 se han formulado siete iniciativas (Tabla 1). La última, propuesta por la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), fue aprobada por la Cámara de Senadores en agosto de 2003 y ha sido turnada a la Cámara de Diputados. Se encuentra aún en discusión. El hecho de que en cuatro años no se haya llegado a un consenso en este asunto, refleja el juego de poder entre los actores involucrados: partidos políticos, grupos ambientalistas, legisladores, autoridades gubernamentales, industria biotecnológica, científicos y sociedad civil.

La dificultad para llegar a acuerdos radica en el hecho de que hay muchos intereses en juego y en el corto plazo, no se vislumbra un consenso. Además, México, como país megadiverso, ha contraído compromisos internacionales que hacen más difícil la protección de la diversidad biológica, al incluir el libre intercambio de productos, entre ellos, los genéticamente mejorados (Chauvet y Gálvez, 2004 en prensa).

En nuestro país aún tenemos mucho qué aprender y realizar en bioseguridad. Las instancias gubernamentales no han logrado armonizar el trabajo. Sin embargo, hay un esfuerzo conjunto de las Secretarías que conforman a CIBIOGEM por lograrlo y el proyecto GEF-México, que inició en junio de 2002, está llevando a cabo acciones claras con fondos internacionales. La mejora del marco legislativo es una de las metas a lograr. Hasta ahora, los resultados son alentadores.




Consulte las referencias bibliográficas en www.conacyt.mx, en el vínculo *Ciencia y Desarrollo*.

Plantas transgénicas:

aplicaciones y
controversias

LUIS HERRERA ESTRELLA



Si se ha escuchado o leído en algún periódico o revista algo sobre las plantas transgénicas, lo más probable es que se tenga de ellas una imagen negativa, ya que frecuentemente se habla o escribe sobre sus riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Pero, ¿se tiene la suficiente información como para tener una opinión fundamentada?, ¿se sabe lo que es una planta transgénica, por qué se generó esta tecnología y si los riesgos de los que se habla tienen base científica?

Tecnología transgénica: causas e historia

La tecnología de las plantas transgénicas surgió como alternativa para enfrentar el problema de la creciente demanda de más y mejores alimentos, generado por el crecimiento de la población mundial. Actualmente hay en el mundo 6,300 millones de personas, cerca de 800 millones con diversos grados de desnutrición que, se espera, llegarán a 1,800 mi-

llones en los próximos 30 años, para los cuales se tendrán que producir suficientes alimentos sin acrecentar las áreas cultivadas, que sacrifican bosques, selvas y otros ecosistemas.

Hace 10,000 años el ser humano comenzó a cultivar plantas para garantizar su abasto de alimento. Se inició la siembra y se comenzó la selección de plantas que producían más o mejores semillas o frutos, llegando a lo que hoy conocemos como agricultura. Aunque los procesos ini-



ciales de domesticación y mejoramiento fueron rudimentarios y empíricos, resultaron en la producción de la gran mayoría de las plantas que hoy se cultivan. Miles de años antes de que Gregorio Mendel determinara que las características de los organismos están dadas por factores discretos heredables (genes) y no son resultado de la mezcla azarosa de las cualidades de los progenitores, nuestros antepasados manipulaban la genética de las plantas para obtener mejores alimentos. En esto las culturas mesoamericanas y andinas tuvieron destacada participación, al crear cultivos como maíz, frijol, papa, calabaza, cacao, jitomate y chile. Uno de los casos más espectaculares es el del maíz, que no existía como tal hace 5000 años y resulta controversia aún no resuelta la especie de la que lo derivaron.

El ser humano ha manipulado la genética de las plantas desde hace miles de años para obtener más y mejores alimentos, y ha tenido siempre recelo natural para consumir alimentos desconocidos. Las plantas transgénicas representan una nueva forma de manipular la genética de las plantas, y enfrentan ese recelo en algunos sectores de la sociedad.

Los métodos convencionales de mejoramiento de plantas (fitomejoramiento) están basados en la transferencia de genes entre individuos de una misma especie o de especies relacionadas mediante cruza dirigidas, donde los individuos sobresalientes son seleccionados en ciclos subsecuentes de cultivo hasta que, después de numerosas cruza y retrocruza, se obtiene una generación portadora de la característica deseada, reconocida como una nueva variedad. La tecnología de las plantas transgénicas tiene el mismo propósito: incorporar genes que confieran nuevas características deseables a una planta. Sin embargo, en lugar de cruza emplea técnicas de biología molecular que permiten esa transferencia. La idea básica es la búsqueda de características deseables, como la producción de una vitamina que

las haga más nutritivas o un insecticida que las proteja del ataque de insectos. Para ello hay que identificar los genes responsables y transferirlos a una célula vegetal, de la cual se pueden regenerar plantas completas. El resultado es una planta idéntica a la original, pero con genes responsables de la nueva característica.

Gracias a una bacteria...

La transgénesis en plantas surgió del estudio de una bacteria llamada *Agrobacterium tumefaciens*, presente en la mayoría de los suelos del mundo y causa de una enfermedad llamada agalla de la corona. Tras años de estudios se descubrió que *A. tumefaciens* induce tumores en plantas al transferir algunos de sus genes a células vegetales, donde obligan a producir aminoácidos especiales que solamente a la bacteria sirven de alimento. Este extraño proceso natural convierte a *A. tumefaciens* en un ingeniero genetista al modificar genéticamente las células vegetales para convertirlas en una fábrica de sus alimentos.

Una vez conocido el mecanismo molecular por el que *A. tumefaciens* modifica genéticamente a las células vegetales, dos grupos de investigación de instituciones públicas de educación, la Universidad Estatal de Gante en Bélgica y la Universidad de San Luis Missouri en los Estados Unidos, y un tercero, perteneciente a la empresa estadounidense Monsanto, plantearon la posibilidad de modificar la bacteria para convertirla en una herramienta que permitiera la modificación genética de plantas para producir variedades mejoradas. La idea básica era reemplazar los genes responsables de la formación de los tumores y la síntesis de alimentos por otros que confirieran una característica agronómica deseable en la nueva variedad, y utilizar a la bacteria como medio para transferir los genes de interés.

El ser humano ha manipulado la genética de las plantas desde hace miles de años para obtener más y mejores alimentos



Cómo podría ayudar...

Tuve la fortuna de participar con el grupo de la Universidad Estatal de Gante, que generó en 1983 el primer reporte acerca de la producción de plantas transgénicas en el mundo. Al obtener los primeros resultados positivos, comenzamos a imaginar cómo esto podría ayudar a generar nuevas variedades de plantas con resistencia a insectos, mayor tolerancia a la sequía y mayor valor nutricional. Más importante, pensamos que esta tecnología podría fácilmente ser utilizada por los pequeños productores de los países en desarrollo, para que ya no compraran tantos insecticidas a las grandes multinacionales y pudieran mejorar su dificultosa producción. Lo que no imaginamos fue que las aplicaciones de la tecnología de los transgénicos iban a generarse a un paso mucho más acelerado del esperado.

Poco después de que se publicaron los primeros ejemplos de transgénesis en sistemas modelo (tabaco y petunia) la tecnología se adaptó a cultivos importantes (papa, tomate y arroz) y se reportaron plantas transgénicas resistentes a virus y plagas. Este enorme éxito generó un gran interés en las grandes empresas agroquímicas, que rápidamente implementaron sus grupos de investigación en este campo y adquirieron los derechos de las tecnologías claves para el desarrollo de transgénicos.

El uso comercial se inició en 1996, con una superficie cultivada de 1.7 millones de hectáreas. En 2002 eran 58.7 millones de hectáreas en 16 países (2.5 veces la superficie

total del Reino Unido). Esto representa la más rápida incorporación de una tecnología en la historia de la agricultura. Las semillas híbridas, uno de los más grandes avances para incrementar la productividad agrícola, tardaron más de treinta años en ser aceptadas. Más de la mitad de los 72 millones de hectáreas de soya sembrada en el mundo es transgénica, 20 % de las de algodón, 12 % de las de colza y 9 % de las de maíz. El 27 % del total está en países considerados en vías de desarrollo.

China siembra 2.1 millones de hectáreas con plantas transgénicas, incluyendo más del 50 % de la superficie total de algodón cultivado, y beneficia con ello a 5 millones de pequeños productores con un aumento en la productividad que va del 3 al 5%, una disminución considerable en los costos de producción y una mejora en la salud de los pequeños productores, debida a la disminución en el uso de insecticidas químicos.

En el aspecto ambiental, el uso de plantas transgénicas ha evitado la utilización de cerca de 6 millones de galones anuales de insecticida, y reducido el daño causado por los insecticidas a insectos que no atacan los cultivos y a suelos, lagos, ríos y mares.

Aunque sólo unas cuantas variedades transgénicas han sido comercializadas, muchas están listas o en proceso de evaluación. Se han producido exitosamente variantes resistentes a insectos y enfermedades causadas por virus y bacterias, con frutos que tardan semanas y no días en echarse a perder, toleran suelos salinos o sequías mejor que los con-

El uso de plantas transgénicas ha evitado la utilización de cerca de 6 millones de galones anuales de insecticida

vencionales, y tienen más vitaminas, minerales o compuestos antioxidantes, precursores de enfermedades.

La oposición

A pesar de que la siembra de transgénicos tiene claros beneficios para los agricultores, la salud y el medio ambiente, ciertos sectores de la sociedad europea y algunas organizaciones no gubernamentales en países en desarrollo se oponen a la comercialización de productos agrícolas transgénicos y a su consumo.

Algunos de los argumentos opositores más importantes estriban en los riesgos potenciales para la salud humana, el medio ambiente y la preservación de la biodiversidad, y en que las multinacionales controlen la producción de alimentos, de manera que los países en vías de desarrollo, y especialmente los pequeños agricultores, no se vean beneficiados por esta tecnología y se incremente la dependencia.

Por qué y cómo surgió esta oposición al uso de las variedades transgénicas en Europa es poco claro, dado que universidades europeas tuvieron fundamental participación en su desarrollo y uno de los primeros productos transgénicos (tomate con mayor vida de anaquel) fue exitosamente comercializado en Inglaterra. Sin embargo, se pueden identificar algunas causas y su contexto. El nivel económico en Europa es alto y se tiene garantizado el abasto de alimentos, por lo que la pregunta ¿para qué alimentos transgénicos si ya tengo suficientes?, resulta lógica. Además, a pesar de que la mayoría de los gobiernos europeos se mostraron favora-

bles al uso de los transgénicos, el consumidor europeo tiene desconfianza de sus agencias regulatorias, gracias a los casos de las vacas locas y la contaminación de alimentos con dioxina. Por otro lado, están los Estados Unidos: la planeación en el área biotecnológica y la agresiva política para desarrollar transgénicos de la empresa Monsanto, la llevó a apropiarse de un gran porcentaje del mercado de semillas transgénicas, dejando rezagadas a las empresas europeas, independientemente de que por razones económicas el gobierno estadounidense decidió no separar los productos transgénicos de los convencionales, restando posibilidad de elección a los consumidores. Finalmente, mientras los derechos de las patentes hacen difícil que la tecnología esté disponible para los pequeños productores de países en desarrollo, las primeras generaciones de transgénicos (resistentes a insectos y herbicidas) favorecen al agricultor, pero no tienen beneficio tangible para el consumidor final.

Analizando riesgos

Dos son las preocupaciones principales que alrededor de los riesgos para la salud humana se han expresado: la presencia de genes de resistencia a antibióticos en algunas variedades transgénicas, que debiliten su acción en las bacterias patógenas de humanos y causar enfermedades difíciles de controlar, y un proceso de transgénesis que cause alteraciones químicas o nutricionales inesperadas en los alimentos.

Se incluyeron genes de resistencia a antibióticos en algunas de las variedades transgénicas de primera generación para poder seleccionar las plantas que adquirieron los nuevos genes. En las primeras generaciones de plantas transgénicas se agregó un gen de resistencia al antibiótico kanamicina, y se les identificó por su resistencia al mismo. Hasta donde sé, sólo una de estas variedades ha sido comercializada. Se teme que por un mecanismo desconocido, ese gen de resistencia a antibióticos pase a bacterias causantes de enfermedades y que la kanamicina no pueda controlarlas. No existe evidencia científica de que esto pueda ocurrir en la naturaleza, y los diversos estudios realizados en laboratorio para determinar su posibilidad, mostraron que no sucedía, o lo hacía en una frecuencia muy por debajo de los niveles de detección de las técnicas más modernas. Por otro lado, el uso indiscriminado y sin control de los antibióticos ha selec-



Se han producido exitosamente frutos que tardan semanas y no días en echarse a perder

cionado bacterias resistentes no a uno, a varios antibióticos. Está bien documentado que por procesos de conjugación, las bacterias se transfieren genes a una alta frecuencia.

De hecho el uso de genes de resistencia a antibióticos ha sido eliminado en la producción de las nuevas generaciones de plantas transgénicas y reemplazado por el de genes que permiten seleccionar plantas por su capacidad de utilizar fuentes de carbono alternas, lo que normalmente las células vegetales son incapaces de hacer.

Respecto a la posibilidad de que la inserción de genes en plantas pueda causar alteraciones químicas o nutricionales inesperadas, por inactivar o alterar la expresión de algún gen importante en una ruta de síntesis de metabolitos, es factible. Sin embargo, antes de aprobar una variedad transgénica para consumo humano se le realizan las pruebas de toxicidad e inmunogenicidad necesarias para dar certeza de que dicha variedad no tiene riesgos para la salud. Estos análisis son bastante extensos, pero es imposible abarcar los miles de compuestos químicos que sintetiza una planta y demostrar que no ocurrió ningún cambio químico en una variedad transgénica.

En lo que a la composición química se refiere, existen muy importantes diferencias de una variedad a otra, y más entre especies: las alteraciones inesperadas que pudiera causar la inserción de un gen en una planta, deberían caer dentro de la variabilidad natural en esa composición química de los muy diversos productos agrícolas que consumimos. En los procesos de mejoramiento tradicional, aceptados de manera general por ser más naturales, se incluye la cruce entre variedades cultivadas y parientes silvestres, cuya composición química puede diferir enormemente, pero los productos obtenidos por dichos procedimientos nunca son sometidos a un análisis como el que se pide para las variedades transgénicas. Es bien conocido que ocurren mutaciones de manera natural en las plantas, causadas por factores físicos, como las radiaciones, y biológicos, como los transposones (segmentos de ADN que brincan de un lado a otro en los cromosomas de la planta), que también pueden resultar en alteraciones inesperadas en la composición química de los alimentos.

Otro aspecto relacionado con riesgos a la salud humana, es la posibilidad de alergias, en su mayoría causadas por productos derivados de plantas u otros alimentos. El cacahuate, la soya, la fresa, la nuez, los camarones, el huevo y el

polen, entre muchos otros, causan alergias a una pequeña proporción de la población, no sería extraño que cierto alimento transgénico las causara igualmente. Para reducir el riesgo de introducir nuevos tipos de alergias en los alimentos, los productos derivados de plantas transgénicas deben someterse a pruebas estrictas de alergenicidad antes de aprobarse para consumo humano. Aparte de que las plantas transgénicas representan una herramienta poderosa contra los componentes alergénicos de ciertos productos, como muestra el éxito obtenido en eliminar la proteína que constituye el principal alérgeno del frijol de soya.

Algo similar sucede con los efectos sobre los ecosistemas, donde realmente se tiene que encontrar urgentemente una tecnología, transgénica o no, que permita incrementar la producción de alimentos sin aumentar el área dedicada a los cultivos agrícolas, y considerar alternativas si decidimos no usar variedades transgénicas.

Una nueva preocupación externada por quienes consideran que la tecnología de transgénesis no debe ser usada en la agricultura, es el riesgo potencial de que genes de plantas transgénicas sean transferidos a variedades criollas o especies silvestres, poniendo en peligro su viabilidad biológica o su integridad genética. Como muchos de los aspectos que se han comentado, esto debe ser considerado seriamente y analizado con base en el conocimiento científico, tomándose en cuenta que genes de variedades comerciales e híbridos han sido transferidos a variedades criollas o especies silvestres desde hace muchas décadas y que su permanencia depende de muchos factores, primordialmente de que la



Es difícil imaginar que un solo gen pudiera tener un efecto catastrófico en la supervivencia de una especie vegetal



planta receptora tenga una ventaja competitiva que le permita reproducirse y transmitir dichos genes más eficientemente que las originales.

Es difícil imaginar que un solo gen pudiera tener un efecto catastrófico en la supervivencia de una especie vegetal, o que la alterara de tal manera que la convierta en una supermaleza o en algo capaz de extinguir otros organismos: las interacciones en los sistemas biológicos son muy complejas y dinámicas y la competitividad de una planta depende de muchos genes. En este sentido es mucho más peligrosa la introducción de organismos exóticos en un ecosistema donde no existen depredadores u otros factores que limiten su multiplicación.

También se ha planteado que la inserción de genes en los cromosomas de las plantas puede causar inestabilidad genómica o cambios en la expresión de otros genes de una manera totalmente distinta a los procesos naturales que ocurren en los vegetales. Todas las plantas tienen los ya mencionados elementos móviles llamados transposones. Descubiertos en la década de 1940 por Bárbara Mc Clintock, al moverse causan mutaciones muy similares a las que potencialmente se dan en el proceso de transgénesis, y la pérdida o adición de grandes segmentos de ADN en los cromosomas (deleciones o translocaciones). Además, los que pueden existir en una o miles de copias en un cultivo, y constituyen, por ejemplo, el 50% del genoma del maíz, contienen elementos reguladores de la transcripción, que alteran de manera positiva o negativa la expresión de genes ubicados en la inmediata vecindad de la nueva ubicación

del transposón. En caso de que los genes introducidos a una planta alteren la transcripción de genes cerca del sitio donde se insertaron, resultaría difícil imaginar que causen alteraciones diferentes a las de los transposones.

Estudios recientes indican que los efectos de los elementos regulatorios de la transcripción de un gen sobre la expresión de otros están limitados a distancias muy cortas, debido a las barreras naturales que flanquean cada unidad transcripcional para, precisamente, evitar que genes vecinos sujetos a diferentes tipos de regulación o patrón de expresión se afecten entre ellos. Probablemente este tipo de alteraciones en la expresión de genes ocurre con frecuencia en la mayoría de los genomas vegetales, cuando un transposón se mueve a una localización cromosómica distinta. Hasta la fecha esto no ha causado alarma, ni se ha demostrado que cause problemas de salud o al medio ambiente. Además, se podría proponer que al introducirse los genes a variedades transgénicas se modificaran de tal manera que quedaran localizados en medio de dos secuencias barrera, para evitar que alteraran la expresión de genes aledaños al sitio de inserción.

Estos y otros factores

Teniendo en cuenta éstos y otros factores se debe determinar si el uso de plantas transgénicas puede ayudar a establecer una agricultura menos dañina al medio ambiente y a la biodiversidad, y hacer un análisis sobre el balance costo-beneficio que representaría el uso de plantas transgénicas, considerando a la par los potenciales beneficios económicos

La propuesta de analizar caso por caso resulta muy adecuada frente a las alternativas de aceptación universal y generalizada o rechazo rotundo



del uso de esta tecnología en cada país y sus posibles repercusiones sociales y culturales.

Algunos ejemplos de variedades transgénicas generan preocupación aun en quienes están convencidos de que las tecnologías biológicas, y en particular la transgénesis, tienen un enorme potencial para mejorar la productividad agrícola y la calidad de los alimentos. Se trata de aquellas variedades que se pretenden usar como fábricas de compuestos químicos para uso médico o industrial. La posibilidad de que los genes responsables de la síntesis de dichos productos químicos sean transferidos a variedades de consumo humano es real, y puede representar un riesgo muy tangible para la salud humana. Ante esto, la propuesta de analizar caso por caso resulta muy adecuada frente a las alternativas de aceptación universal y generalizada o rechazo rotundo, además de implicar la libertad de cada país para decidir acerca de las aplicaciones de la tecnología de los transgénicos que le convengan técnica, científica, económica, social y culturalmente.

También es real la preocupación acerca de que unas cuantas empresas acaparen la propiedad intelectual (derechos de patentes) para la producción de transgénicos, resultando difícil el acceso a una tecnología efectiva para resolver problemas de índole local o regional si un mercado no les es atractivo. Este fenómeno de la concentración de derechos de patentes en unas cuantas empresas es cada día más crítico en los sectores agrícolas y médicos. Se debe promulgar para que dentro de la globalización mercantil se contemple la democratización del acceso a la tecnología y la innovación, y rescatar la filosofía original de las patentes: incentivar la

creatividad, no bloquearla como actualmente sucede. Hay que retomar la idea de proteger los derechos de autor, pero permitir al mismo tiempo un acceso fácil y abierto a la tecnología y los procesos innovadores, como se hizo con los derechos del mejorador, a quien se permite registrar y proteger la variedad que genera, pero sin impedir a un tercero usarla para crear otras nuevas, con mejores características.

Para lograr capitalizar los beneficios de las variedades transgénicas es necesario que exista una política nacional de desarrollo agrícola que incluya el establecimiento de un marco legal que regule de manera estricta, pero ágil, el uso de estas variedades; contemple una política de desarrollo científico y tecnológico promotora de manera eficiente del desarrollo por parte de nuestros científicos de una tecnología que permita resolver algunos de los problemas apremiantes del sector agrícola nacional, en particular de los pequeños productores, e implemente mecanismos de transferencia de tecnología, cualquiera que sea, que permitan generar una agricultura verdaderamente sustentable y rentable. 🌱

Luis Herrera Estrella estudió la licenciatura y la maestría en el IPN; su doctorado y posdoctorado en la Universidad Estatal de Gante, en Bélgica. Es director del Biotechnology Education and Training Center de la UNESCO, miembro de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos y del SNI, nivel III. Como investigador se encuentra adscrito al CINVESTAV, Unidad Irapuato.

La era de la ciencia GENÓMICA

GUSTAVO SANTOYO PIZANO

Todos los organismos vivos, desde bacterias hasta humanos, contienen en sus células ADN (ácido desoxirribonucleico) o –algunos virus– ARN (ácido ribonucleico); es decir, la materia prima de nuestra información genética, nuestros genes, pues es ahí donde se encuentran los archivos que describen cada una de nuestras características físicas. El universo de genes de un organismo se conoce como genoma.

Un paso importante para conocer el genoma completo de un organismo fue el descubrimiento de un método rápido y eficaz de secuenciación.¹ De esto se encargó el científico inglés Frederick Sanger (Premio Nobel de Química 1958 y 1980), con lo cual se establecieron las bases para posteriores modificaciones en la técnica, dando inicio a la carrera por su perfeccionamiento, y el de las máquinas que intervienen en esta función. ¡Hoy día existen aparatos capaces de secuenciar miles de pares de bases en sólo unos minutos!, gracias a lo cual es posible realizar proyectos genómicos.

Fue en 1995 cuando por primera vez se conoció el genoma completo de un organismo de vida libre: la bacteria *Haemophilus influenzae*. A partir de ese año se comenzó a conocer la secuencia genómica no sólo de bacterias, sino de organismos más complejos como el gusano *Caenorhabditis elegans* o la planta *Arabidopsis thaliana*. De igual manera se dio una dura competencia entre dos grupos por conocer el genoma humano, terminando casi en su totalidad la secuencia en febrero de 2001.

A partir del conocimiento y liberación de los genomas completos hemos sido testigos del nacimiento de una nueva disciplina: la ciencia genómica. Hasta este momento se ha publicado la secuencia genómica de 131 bacterias, 17 arqueobacterias² y 21 organismos eucariontes³. El objetivo de este texto es revisar algunos de los genomas que se conocen hasta el momento, además de preguntarnos por qué y para qué es importante conocer en su totalidad los genes que conforman un ser vivo.

¿Qué genomas se conocen completamente?

Antes de que se conociera el genoma completo de la bacteria patógena *Haemophilus influenzae*, ya se conocían los genomas de algunos fagos,⁴ al igual que los de algunos organelos

1. Término que se utiliza para definir el acto de conocer el orden de las bases nucleotídicas, adenina, guanina, citosina y timina que conforman el ADN.

2. Organismos unicelulares muy similares a las bacterias comunes, pero que regularmente viven en ambientes extremos.

3. Organismos uni o multicelulares que tienen su ADN rodeado de un núcleo.

celulares como cloroplastos⁵ y mitocondrias.⁶ Estos genomas son relativamente pequeños, por lo que no resultó ser un gran problema determinar su secuencia, aunque ciertamente requirió mucho tiempo, pues realizar el proyecto que llevó a conocer el genoma de un organismo de varios millones de pares de bases fue una tarea enorme.

Afortunadamente, las técnicas de secuenciación se fueron modificando con el fin de leer muchos más pares de bases con menos trabajo y dinero. Fue entonces cuando se conoció el genoma de *Haemophilus influenzae* y *Mycoplasma genitalium*. Esta última bacteria tiene un genoma relativamente pequeño, cuenta con 560 mil pares de bases y se detectaron alrededor de 400 posibles genes, lo que la convierte en el organismo con menor cantidad de genes conocido hasta la fecha. Conviene resaltar que ambos genomas fueron secuenciados por el Instituto de Investigaciones Genómicas (TIGR, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos.

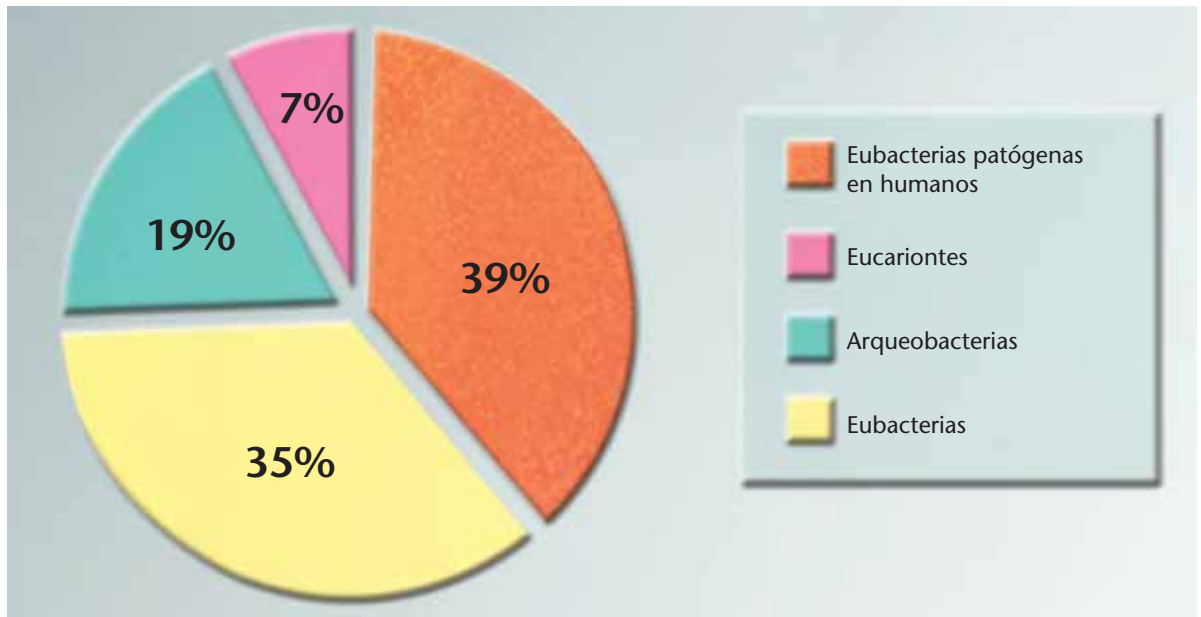
En 1996, el mismo instituto determinó la secuencia completa de la primera arqueobacteria: *Methanococcus jannaschii*, trabajo de gran relevancia desde varios puntos de vista, principalmente bajo la lupa de la evolución y el origen de la vida, pues se corroboró de una forma más clara la teoría del científico estadounidense Carl Woese, quien propuso la existencia de tres grandes dominios o reinos de la vida: las eubacterias o bacterias comunes, arqueobacterias y los organismos eucariontes. Expuso que las arqueobacterias se encontraban más emparentadas con los eucariontes que con las propias eubacterias al observar que algunos de sus genes verdaderamente estaban más relacionados con los eucariontes, aunque otros eran más similares a los de las eubacterias.

En cuanto al tema de salud humana, se ha observado un especial ímpetu en secuenciar organismos de interés médico tales como las bacterias causantes de cólera (*Vibrio cholerae*), tuberculosis (*Mycobacterium tuberculosis*), fibrosis (*Pseudomonas aeruginosa*) y meningitis (*Neisseria meningitidis*).

4. Virus que "viven" dentro de bacterias.

5. Órganos celulares de plantas que sirven para llevar a cabo la fotosíntesis.

6. Órganos que ayudan a la producción de energía celular.



Gráfica 1: Porcentaje de genomas bacterianos patógenos del hombre con respecto al total de genomas conocidos hasta mayo de 2002.

dis), entre otras. En la gráfica 1 se muestran los porcentajes de eubacterias que son patógenas en los humanos con respecto a los demás genomas conocidos hasta el momento. El conocimiento del genoma de estas bacterias nos dará una idea más clara acerca de cuáles son los genes importantes, su patogenicidad y la forma de combatirlos para acabar con la enfermedad.

Importante es también conocer el genoma de organismos modelo, los cuales son indispensables para realizar experimentos en laboratorio al permitir un conocimiento más amplio sobre el metabolismo de la célula y los mecanismos de replicación, transcripción, regulación y traducción del ADN, entre otros conocimientos básicos. Ejemplo clásico es la bacteria *Escherichia coli*, cuyo genoma fue publicado en 1997 marcando un enorme paso que propició avances importantes a partir del conocimiento total de su secuencia por ser ampliamente utilizada en la industria para la fabricación de antibióticos y otros productos. A continuación se pretende modificar o remover segmentos de su genoma para hacer más eficiente la producción de ciertos metabolitos de interés humano como antibióticos y aminoácidos, entre otros.

De igual importancia en la era genómica ha sido el conocimiento de las secuencias de algunos organismos eucariontes, los cuales representan un mayor reto debido a la dimensión mucho mayor de sus genomas, a la gran cantidad de repeticiones génicas presente en algunos genomas como los de las plantas.

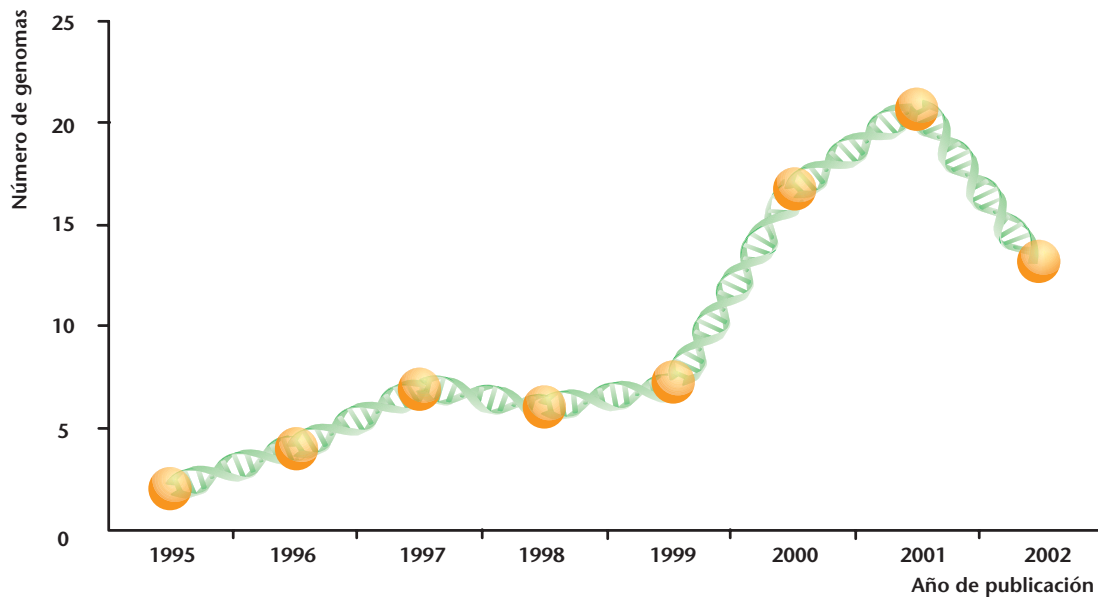
El primer organismo eucariote secuenciado fue el de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, cuyo genoma contiene 13 millones de pares de bases y fue secuenciado y publicado en 1996. Posteriormente se dieron a conocer los genomas de la mosca *Drosophila melanogaster* y el nemátodo *Caenorhabditis elegans*, así como de la planta *Arabidopsis thaliana*.

Al igual que los de la bacteria *E. Coli*, estos genomas son de gran importancia en la biología como organismos modelo para diversos estudios. Por ejemplo, la mosca ha servido para descubrir varios genes que se expresan en etapas tempranas del desarrollo embrionario; de esta forma se lograron identificar genes con la misma función en humanos. Así, estos descubrimientos han tenido implicaciones relevantes para la investigación en medicina humana. Para conocer la lista de los genomas secuenciados de forma actualizada se recomienda visitar las páginas del TIGR y el National Center for Biotechnology Information (NCBI).

El genoma humano

Como primer punto debe considerarse que existen dos borradores del genoma humano: el descrito y publicado en la revista *Nature* por parte del International Genome Sequencing Consortium –proyecto que tiene la finalidad de difundir información– y el simultáneamente publicado por la revista *Science* auspiciado por capital privado, a cargo del doctor Craig Venter, quien determinó la secuencia de las primeras bacterias de la mosca *Drosophila melanogaster*. En el primer caso, iniciado a principios de la década de 1980, se trató de secuenciar muy sistemáticamente el genoma total, lo cual tomó demasiado tiempo. En el segundo, se fragmentó el genoma y se secuenció en forma aleatoria para después ensamblar la secuencia total con la ayuda de programas de cómputo muy poderosos. Por supuesto, esto dio como ventaja el conocimiento del genoma humano en sólo un par de años. Además, en este caso se pretende vender la información generada.

Aún existen huecos en la secuencia completa del genoma humano, pero eso no evita mencionar algunos pun-



Gráfica 2: Número de genomas completos publicados hasta mayo de 2002.

tos interesantes; por ejemplo: anteriormente se pensaba que nuestro genoma podría llegar a tener hasta 100 mil genes; sin embargo, ahora sabemos que tiene entre 30 mil y 40 mil. Por otro lado, también nos hemos dado cuenta de que nuestro genoma contiene cientos de secuencias muy similares a las de bacterias, lo que podría ser resultado de un proceso conocido como transferencia horizontal.⁷ Además, se sabe que la frecuencia con la cual puede mutar o cambiar el ADN es dos veces mayor en hombres que en mujeres. Otro dato es la presencia de polimorfismos o diferencias en la secuencia nucleotídica que cada uno de nosotros tiene.

Ya que los humanos compartimos 99.9% de nuestra secuencia, el .01% nos dará una idea mucho más clara de la diversidad genética que existe entre individuos de todo el planeta. Estos polimorfismos se pueden clasificar para cartografiar la evolución de los grupos humanos y su migración por los continentes de la Tierra.

México y el proyecto genoma

En los últimos años hemos sido testigos del avance exponencial de la ciencia; de la forma como un descubrimiento sigue a otro y éste a su vez mejora el anterior. En nuestro país se están realizando los primeros esfuerzos para contribuir con el desarrollo de la ciencia genómica. Es por ello importante el otorgamiento de apoyos financieros a proyectos genómicos por parte del Conacyt a instituciones de investigación tales como el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno de la UNAM, que realiza un proyecto para conocer la secuencia completa de la bacteria *Rhizobium etli*, importante para la agricultura por ser capaz de establecer una simbiosis con plantas de frijol aportándole el nitrógeno necesario para su

7. Proceso de transferir ADN de un organismo a otro, aún entre diferentes especies.

óptimo desarrollo. De igual manera, el CINVESTAV, Unidad Irapuato, realiza proyectos de genómica funcional del maíz, otra planta valiosa dentro de nuestra dieta diaria. Sin duda, existen otras instituciones que ya realizan investigaciones genómicas y/o que están aprovechando los beneficios de esta área para diversos proyectos.

México no puede quedarse retrasado en lo relativo a tecnología y ciencia; es necesario invertir e invitar a participar económicamente a la iniciativa privada en proyectos relacionados con la genómica. Estamos seguros de que los resultados repercutirán en beneficios para todos; la decisión de avanzar y alcanzar el desarrollo que todos deseamos para nuestro país es sólo de nosotros. 🌐

Agradezco a Maricarmen Orozco Mosqueda la amable revisión y las interesantes discusiones sobre el escrito.

Bibliografía

- Venter, J. C. *et al.* 2001. "The séquense of the human genome". *Science* 191:1304-1351.
- International Human Genome Sequencing Consortium. 2001. "Initial Sequencing and Analysis of the Human Genome". *Nature* 409: 860-921.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). <http://130.14.22.107/>
- The Institute for Genomic Research (TIGR) <http://www.tigr.org/>

Gustavo Santoyo Pizano es biólogo por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y actualmente cursa el doctorado en ciencias biomédicas en el Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno en la UNAM. Área: investigaciones *in silico* sobre eventos de conversión génica en familias multigénicas de genomas secuenciados completamente.

La dorada mediocridad

Una de las recetas más efectivas en el ámbito científico es el llamado principio de la mediocridad usado sobre todo en las ciencias naturales. No pretende, a pesar de su nombre, hacer juicio alguno de valor sobre lo que se aplique; el término “mediocridad”, en el lenguaje ordinario, implica un enjuiciamiento negativo, ya que denota una falta de deseo de superarse en las acciones o el comportamiento de aquel o aquellos a quienes se aplica; pero en el mundo natural, mediocridad implica sobre todo falta de elementos que permitan destacar o distinguir una situación como algo especial o extraordinario.

El principio de mediocridad ha permitido obtener información importante acerca de la naturaleza del universo. En el caso de la astronomía, permite decidir, por ejemplo, que la situación de la Tierra en nuestro sistema solar, y a su vez la de éste en nuestra galaxia, no tienen nada de particular y que, por lo tanto, es posible esperar que en otros lugares existan otros planetas similares y otros sistemas planetarios equivalentes. Brevemente, el principio de la mediocridad señala que no vivimos ni en un lugar especial, ni en un tiempo especial, y así podemos esperar



que en el pasado, en el futuro y en las regiones más lejanas del cosmos, prevalezcan condiciones equivalentes a las que nos rodean, y rijan ahí las mismas leyes naturales con las mismas constantes físicas.

El principio de la mediocridad es tal vez el argumento más convincente que hay para seguir adelante con los programas de búsqueda de inteligencia extraterrestre. Estos programas intentan detectar, en los millones de estrellas situadas cerca de la nuestro Sol, alguna evidencia de que alguien use señales de radio de origen artificial, lo cual revelaría la existencia de alguna civilización extraterrestre avanzada. El principio de la mediocridad nos dice que nuestra existencia no tiene nada de especial y que por lo tanto debería haber infinidad de civilizaciones tecnológicas en cualquier lugar del cosmos tal como ocurre en nuestra galaxia en condiciones de habitabilidad y de disponibilidad de tiempo para que funcione el proceso evolutivo.

No obstante, aunque los programas de búsqueda han funcionado ya por más de cuarenta años, no se ha podido encontrar ningún indicio de que, en otro sitio de nuestra galaxia, la Vía Láctea, alguien esté utilizando señales electromagnéticas como las de radio para comunicarse, y ello entra en aparente contradicción con el principio de la mediocridad que permitió establecer las bases de la física contemporánea. ¿Por qué la esfera celeste no se ve pletórica de señales de radio de las millones de civilizaciones que deberían ya haber evolucionado en la Vía Láctea o en las galaxias más cercanas? La clave está en considerar con cuidado lo que implica en verdad el principio de la mediocridad. Si señalamos que en cualquier otro lugar, en donde se presenten las condiciones que rigen aquí en la Tierra, debería surgir pronto una civilización tecnológica capaz de usar el radio, el meollo del asunto está en definir bien esas condiciones.

El surgimiento de nuestra especie tomó aproximadamente cuatro mil millones de años desde que la vida apareció en el planeta. La vida en sí apareció más o menos rápidamente después del enfriamiento de la Tierra, pero todo indica que ello fue facilitado por la existencia de mareas causadas por el hecho de que tenemos una luna de gran tamaño, en comparación con el tamaño de la Tierra o bien porque existe en nuestro planeta un mecanismo llamado tectónica de placas, causante de que las placas continentales se desplacen y así surjan fisuras en el fondo del mar, donde propician una fuente de calor muy favorable al surgimiento de la vida.

La vida ya era lo suficientemente compleja como para que pudiera haber surgido una especie inteligente hace unos 300 millones de años; sin embargo, ello no sucedió sino después de presentarse varios acontecimientos fortuitos, como por ejemplo, la extinción de los dinosaurios por causa del impacto en la Tierra de un gigantesco meteorito. Si ello no hubiera ocurrido, los mamíferos no se hubieran convertido en el orden zoológico dominante.

Una serie de cambios climáticos fortuitos, y quizá difíciles de repetir, propiciaron que un cierto tipo primates, alejados del medio ambiente para el que estaban perfectamente adaptados, tuvieran que desarrollar algo llamado inteligencia para sobrevivir en condiciones muy cambiantes y hostiles.

Si el planeta hubiera mantenido las agradables condiciones que mostraba hace unos treinta millones de años, nosotros todavía viviríamos en las copas de los árboles, alimentándonos de sabrosos frutos, sin necesidad de bajar al suelo a enfrentarnos con depredadores y sin vernos obligados a cambiar nuestra dieta para incluir la proteína de la carne, lo que nos obligó a aprender a cazar con armas y herramientas.

El principio de la mediocridad, para el caso de nuestra evolución, debe entonces expresarse de esta manera: “en todos los mundos situados en una órbita adecuada alrededor de su estrella, en los cuales exista una luna que cause mareas en los océanos; donde haya además tectónica de placas, causante de que se modifiquen los continentes a lo largo del tiempo geológico; en donde regularmente desaparezcan –por causa de desastres naturales– las especies dominantes demasiado especializadas, y en donde, finalmente, surja un ser con la capacidad de manipular objetos y comunicarse entre su grupo, transmitiendo conceptos complejos, en esos planetas surgirá, tarde o temprano, una civilización tecnológica capaz de desarrollar la comunicación por radio”.

Este nuevo conjunto de condiciones hace que el número esperado de civilizaciones en la galaxia, o en el mismo universo, sea extremadamente reducido. Prácticamente, según los más severos analistas, ese número en la galaxia, y tal vez en el cosmos visible, sea, en este momento, de cero. Resulta así que sí somos algo especial, por lo que debemos tomar medidas para no arruinar nuestras perspectivas como un factor de cambio en el cosmos futuro.

Edwin Hubble y la expansión del universo

Así como Henrietta Leavitt nos proporcionó el método para estimar las distancias de las estrellas en nuestra galaxia, la Vía Láctea (*Ciencia y Desarrollo* 168), así Edwin Hubble, entre otros logros, halló la forma de estimar las distancias intergalácticas. Dicho de otra manera, con el trabajo de la astrónoma Leavitt, Harlow Shapley en 1918 pudo determinar el tamaño aproximado de la Vía Láctea, que en se suponía que constituía todo el universo. Con el método de Hubble supimos que nuestra galaxia era tan solo como un punto entre miles de galaxias con espacios enormes entre ellas y, por consiguiente, el universo resultó ser millones de veces más grande en volumen y en contenido de lo que se había supuesto.

Curiosamente Edwin Hubble, hijo de un abogado, estudió la carrera de Leyes en Oxford y se recibió en 1910; sin embargo, por influencia de sus amistades, se fue interesando en la astronomía a tal grado que pronto dejó el derecho y se fue a trabajar al observatorio de Yerkes, cerca de Chicago; poco después, al comenzar la Primera Guerra Mundial ingresó en la infantería donde alcanzó el grado de Mayor.

Al terminar ésta, tuvo la oportunidad de conocer el entonces nuevo observatorio de Monte Wilson al norte de Los Ángeles y quedó fascinado con el gran telescopio de 2.5 metros de diámetro, el más grande del mundo en aquel momento, en el que trabajaría los siguientes 25 años.

Para aprovechar la gran luminosidad del telescopio, Hubble decidió estudiar las nebulosas muy débiles con la esperanza de hallar algo nuevo en ellas y ¡vaya que lo consiguió!; cuando enfocó el instrumento a la entonces llamada nebulosa de Andrómeda, cuál no sería su sorpresa al descubrir que, en lugar de ser ésta una ovalada nubosidad de gases como la había visto en el telescopio de Yerkes, en el telescopio de Los Ángeles aparecía como una doble espiral compuesta ¡no de gases sino de diminutas estrellas...!

Inmediatamente comenzó a buscar en aquellos brazos espirales estrellas del tipo Ceféidas, que la astrónoma Leavitt había utilizado para determinar las distancias interestelares, y con no menos sorpresa las halló, pero tan débiles que al calcular sus distancias resultó que estaban a una distancia equivalente a 10 veces el diámetro de nuestra galaxia y, por lo tanto, la llamada nebulosa de Andrómeda no estaba

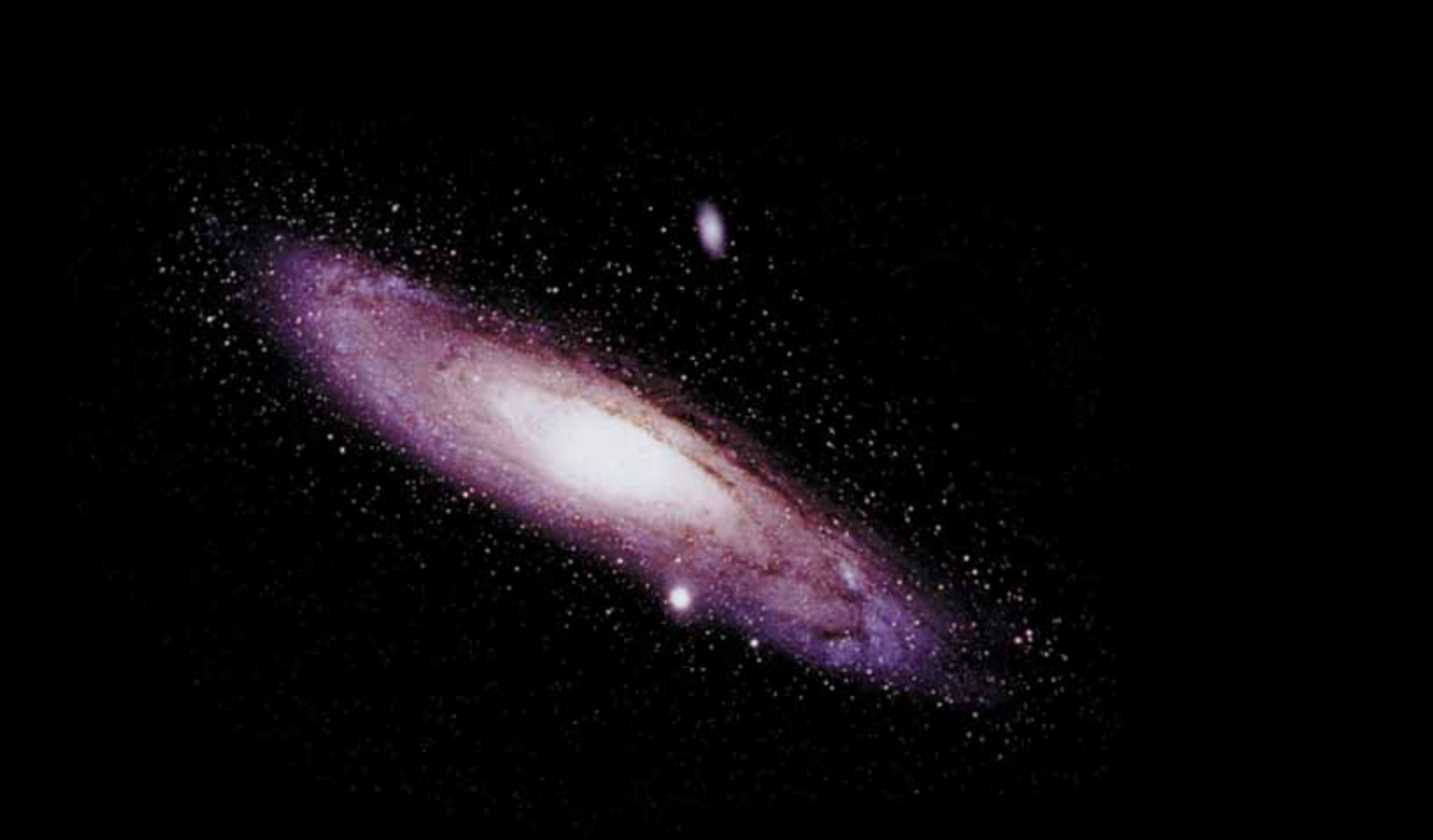
dentro de ella, sino que constituía por sí misma otra galaxia completamente independiente; el radio del universo había crecido por un factor de 10 en un momento...

Sus descubrimientos no pararon ahí; al observar otras de las llamadas nebulosas que cuidadosamente había catalogado Messier siglo y medio antes, Hubble encontró que algunas de ellas eran también galaxias, pero mucho más distantes aún que Andrómeda, con lo que el universo volvía a crecer, pero en esa ocasión cientos de veces más. Claro, lo que ahora nos toma unos minutos de lectura, a Hubble le implicó meses de intenso trabajo de observación y cientos de placas fotográficas que él y su ayudante Humanson tomaron, así como horas de cálculos matemáticos para confirmar que sus hipótesis coincidían con las observaciones.

Otro hallazgo que resultó de sus cálculos y estadísticas fue tanto o más sorprendente que sus descubrimientos anteriores: ¡Las galaxias, mientras más lejos estaban, más rápidamente se alejaban de nosotros! Todo parecía como si nuestra galaxia estuviera apestanda y todas las demás huyeran de nosotros y mientras más lejos, más deprisa... El universo estaba en expansión...

Esta velocidad de alejamiento proporcional a la distancia fue lo que originó el nuevo método para estimar las distancias, no ya interestelares sino intergalácticas; ahora resultaba que según los cálculos de Hubble, la galaxia de Andrómeda medía la mitad que la nuestra y se hallaba a 800 mil Años-Luz (AL) de nosotros y que, hasta donde alcanzaba a verse en las placas fotográficas, había cientos de galaxias, algunas alejándose a velocidades que las colocaban a cientos de millones de Años-Luz de nuestra Vía Láctea y aún más; sin embargo, todavía faltaban las correcciones que el astrónomo Walter Baade, hace más de medio siglo, hiciera a los cálculos de Hubble, quien se había quedado corto por un factor de 2, con lo que, por una parte, la galaxia de Andrómeda resulta del mismo tamaño que la nuestra, y por la otra, el tamaño del universo resultó el doble de lo estimado por Hubble. De hecho, la distancia aceptada actualmente entre nuestra galaxia y la de Andrómeda es de 2.2 millones de Años-Luz.

Lo cierto es que hasta ahora, con cada nuevo telescopio más grande que el construido anteriormente, se hacen descubrimientos que demuestran que el universo tiene mayor



tamaño, de lo que también surge la necesidad de construir otro telescopio todavía más poderoso.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se terminó de construir el gran telescopio de Monte Palomar, de cinco metros de diámetro, que fue por muchos años el más grande del mundo, crédito que compartió con la Cámara Schmidt. Fue con estos instrumentos que Baade pudo rectificar los cálculos de Hubble y con ello hacer crecer al doble el tamaño del universo.

Así resulta que, en la mente del ser humano, el universo ha ido creciendo al ritmo que su inteligencia ha hecho posible interpretar lo que sus ojos observan al estudiar el firmamento. Hasta antes de W. Hershel (1781), el sistema solar terminaba para el ser humano en Saturno y el radio de dicho sistema resultaba de 80 Minutos-Luz; las estrellas, simplemente estaban muy lejos... Con el hallazgo de Urano por Hershel, su radio aumentó casi al doble y con U. Le Verrier y G. Galle (1846) al descubrir Neptuno, este radio creció hasta 4 Horas-Luz.

Volviendo atrás, gracias al trabajo genial de los matemáticos-astrónomos de los siglos XVIII y XIX, y al aumento de tamaño y precisión de sus instrumentos, se logró estimar la distancia a las estrellas más cercanas, con lo que el radio del universo pasó de las Horas-Luz a los Años-Luz.

Durante el siglo XX, los tecnólogos diseñaron grandes telescopios a la par que aplicaron la fotografía y la electrónica a su instrumentación y, con los trabajos de Leavitt y Hubble, el universo creció hasta los miles de millones de Años-Luz de radio y más aún; el universo está en expansión...

Y el ritmo de crecimiento de los telescopios terrestres continúa; a fines del siglo XX se terminaron dos grupos de telescopios gigantes: Los gemelos Keck de Mauna Kea, Hawai, con diez metros de diámetro cada uno y los 4 VLT del observatorio europeo en el Páranla, situado en el desierto de Atacama, en Chile, con cuatro telescopios de 8.2 metros de diámetro cada uno; ambos grupos diseñados para sumar la potencia de sus telescopios, dando un diámetro equivalente de 14 metros para los Keck y de 16 metros para los VLT.

En el presente, se proyectan telescopios súper gigantes que, con los desarrollos tecnológicos en proceso, consistentes en óptica adaptiva, el uso de haces de fibra óptica y las nuevas nanotecnologías, permitirán que dichos telescopios terrestres sean tan efectivos como los colocados en órbita. Con ello, además de los grandes radiotelescopios que complementan la investigación astronómica –ya que abarcan una gama de frecuencias enorme– es evidente que tendremos muchas más razones para sorprendernos de los descubrimientos futuros y que el tamaño, magnitud y dinámica del universo serán conocidos cada vez con mayor detalle y perfección.

Sin embargo, para que esto ocurra, no es suficiente con el tamaño de los instrumentos; se necesita que científicos y astrónomos tengan la inteligencia y la genialidad que dé lugar a la interpretación correcta de sus aparatos y de sus observaciones. Esperamos que en el ámbito intelectual, la magnitud de los hombres y las mujeres de ciencia crezca en proporción a la capacidad de sus instrumentos...

CIENCIA, PRENSA y VIDA COTIDIANA

...si hubiera sabido explicar en qué consiste que el chocolate dé 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 soplándola ni otras cosillas de éstas que traemos todos los días entre manos.

El Periquillo Sarmiento

Las naciones más desarrolladas en el siglo XIX encontraron que una de las mejores formas de divulgar los avances científicos y tecnológicos era la organización de exposiciones internacionales, espacios que permitían también dar a conocer los prodigios con que la naturaleza decidió distinguir a todos y cada uno de los países del mundo, así como compartir la riqueza cultural alcanzada por la inteligencia y sensibilidad de sus diversos pueblos. Otros aspectos e intereses impulsaron estos espectaculares montajes cuyo punto de partida fue la Exposición Universal de Londres en 1851. "Fruto de la revolución mecanizada, del imperio del acero y el vapor, dichas ferias eran ciudades efímeras donde el mundo exhibía la ciencia, la industria y el arte, *desde una tachuela hasta una locomotora*", así las considera Vicente Quirarte en la presentación de *Las ilusiones perdidas del General Vicente Riva Palacio (La Exposición internacional mexicana, 1880)* y otras *utopías* de Clementina Díaz y de Ovando, obra editada por el Instituto de Investigaciones Bibliográficas de la UNAM en dos magníficos volúmenes que el año pasado vieron la luz.

Muchos mexicanos de la segunda mitad del siglo XIX creyeron en el progreso y confiaron en los beneficios de la modernidad que se presumía en el viejo continente, Zarco, por ejemplo, advertía que las exposiciones eran "cosa enteramente moderna" y que con ello la sociedad había alcanzado una forma grandiosa de honrar el trabajo y el talento donde quiera que se encontrase. De este modo, la idea de montar una exposición universal en nuestro país fue discutida en diversas ocasiones, y un general que tomó la pluma y dejó la espada al restaurarse la República se convirtió en uno de los promotores más decididos: Vicente Riva Palacio recogió la propuesta de Manuel María de Zamacona y las de otros paisanos entusiasmados por el progreso de la ciencia y la tecnología para organizar una exposición universal en México y demostrar a los países vecinos la importancia de su riqueza, sin embargo y a pesar de haberse afanado cuanto pudo, tal como se puede ver en el rescate que hizo doña Clementina Díaz y de Ovando, no tuvo éxito. La Gran Exposición Universal de París de 1878 tuvo amplia difusión en la prensa nacional, el 7 de julio el periódico *La Libertad* publicó un artículo con las impresiones de "Una mexicana en París", entre las que figuran los bailes y vestidos de los aristócratas así como "el aspecto prodigioso que presentaba el palacio de la exposición, la sala del trocadero, la sucesión de maravillas, la vida tumultuaria y fascinante que se desbordaba en la Ciudad Luz." Colocamos en esta *Alaciencia* fragmentos del testimonio del compatriota L. García Ramos que apareció en *La Patria* hacia finales de octubre porque da una idea del papel que tuvo la representación mexicana.

EXTERIOR. LA EXPOSICIÓN UNIVERSAL MÉXICO Y VENEZUELA

Puede parecer singular a los que no conocen la Exposición, pero es justo y aun necesario comprender a estas dos Repúblicas en un solo y único artículo. Se encuentran en la misma sala, --la más vasta después de la que ocupa la República Argentina— y como México no ha expuesto oficialmente, según deja entender el letrero que en oro azul dice: “Algunos productos de México”, tiene el visitante la impresión de que esta República está allí como introducida y amparada por Venezuela.

El aspecto general es pintoresco; las paredes ofrecen la misma exornación que la mencionada ya en el artículo sobre Guatemala, a la que siguen México y Venezuela. En las dos puertas, la lateral y la del fondo que cae a la galería de máquinas, hay pabellones graciosamente plegados de lana azul con franjas amarillas, y verde con franjas blancas, las dos terminadas con flecos rojos.

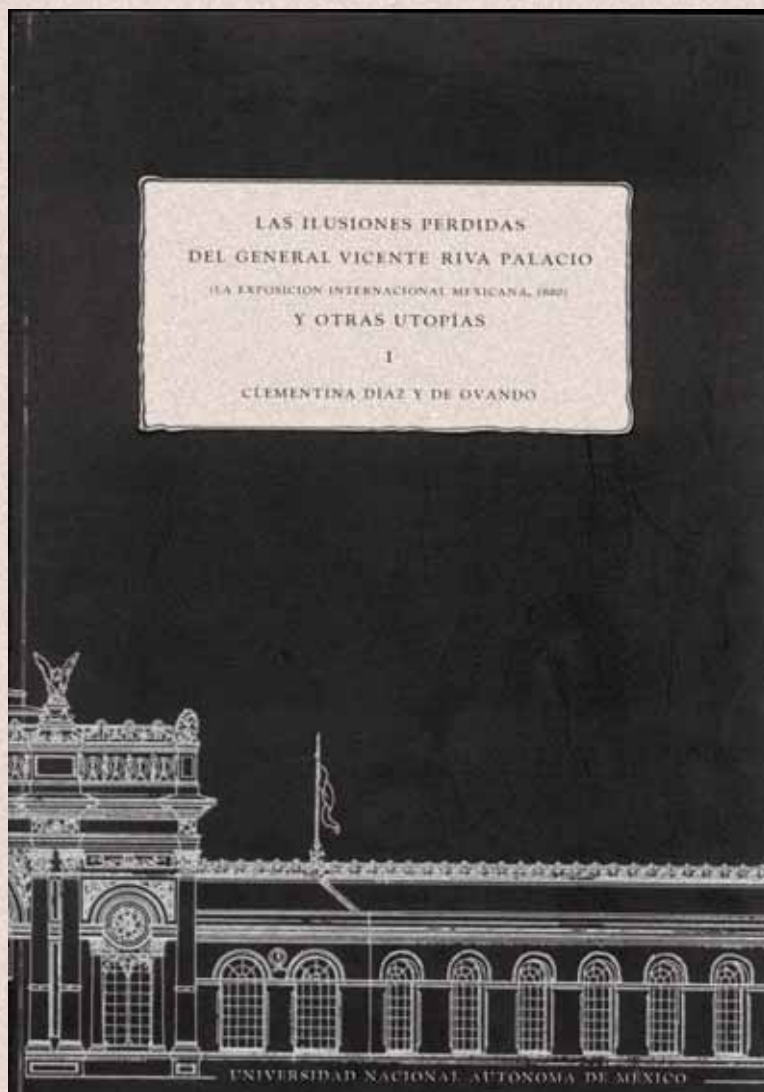
Para no repetimos y poder describir a un tiempo la disposición y los productos, no observaremos orden alguno en la enumeración de estos, y los iremos mencionando tal y como los hemos sucesivamente estudiado.

En los armarios que lindan con la sección guatemalteca, notamos en abundancia frijoles negros, café Uruapan fino, café de Pitchualco y cacao negro y moreno del mismo punto. En los armarios paralelos a éstos hay una serie de antigüedades de barro pintado y de piedra que merecería una descripción detallada, pero que no podemos darla; es lástima que algunos de estos objetos hayan llegado bastante deteriorados. [...]

La colección de ídolos presentada por el coronel Campos es muy bella, y hay algunos que remontan a antiquísima época y arrojan espléndida luz sobre la civilización primitiva mexicana; lo que más resalta, en medio de las faltas de dibujo y proporción, es una malicia singular, una vida palpitante en la expresión de las fisonomías. Mírese uno colocado a la izquierda, sentado con los brazos apoyados en las rodillas y mirando de reojo con la cabeza algo reclinada sobre el hombro derecho. Hay detrás un documento de escritura antigua, pero el reflejo de cristal no nos ha permitido apreciarlo. [...]

En el centro del salón, en piezas cubiertas con lana de un rojo encendido, vemos tipos de los principales cafés:

de Córdoba, Huatusco, Orizaba, etc. La colección de maderas del estado de Michoacán, que comprende 74 clases, forman una columna, estando pegadas las muestras a un árbol central: esta agradable disposición ofrece un solo inconveniente, y es que no pueden juzgarse las que se encuentran en la parte superior; en general son buenas. Ya que de maderas hablamos, señalemos las de *linaloe*, que despide un aroma *sui generis* de rosa y azar, y será sin duda aprovechada hoy más por la ebanistería francesa para esos delicados muebles de señora, que con tanto gusto elabora.



El cáñamo, la grana y la fibra vegetal textil de Ixtle, son, sin duda de los productos más usuales de la agricultura mexicana, a juzgar por su abundancia.

Hacia el fondo, se admira un tapiz mexicano del siglo XVII, de un valor de 30,000 francos y que debe tener muchos aficionados. El fondo es azul, y la greca, como los caprichosos bordados de seda que lo cubren, alternan en tonos blancos, amarillos, rojos y grises de dos matices, que son suaves y alegres a la vista. Sin entrar en un estudio técnico de esta maravilla, que nos llevaría demasiado lejos,

digamos que es de una magnificencia real y de una elegancia distinguida. [...]

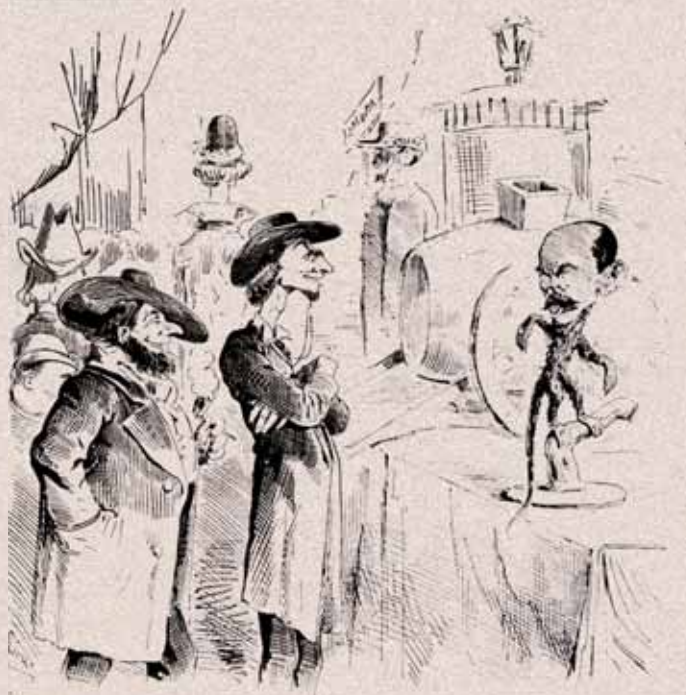
El *Atlas Pintoresco de la República mexicana*, mandado por el ingeniero nacional don Antonio García Cubas y ejecutado por él a la mano es un trabajo importante ya que alabamos con placer y sin reservas. Está dividido en diez cuadros o cartas que son: carta política, teniendo en torno a los palacios nacionales y retratos de personajes célebres; carta etnográfica, con los tipos de las diversas razas; carta eclesiástica, con las iglesias, entre ellas el precioso Sagrario de México, y la extraordinaria "Soledad" de Oaxaca; en fin, cartas de vías de comunicación de instrucción pública; carta orográfica, hidrográfica, agrícola, minera, histórica y arqueológica. Citemos al lado las hermosas muestras cromolitográficas entre las que descuella un panorama del Valle de México.

En los armarios que ocupan la pared de la derecha hay múltiples objetos; entre los de ónix no anotaremos más que un mortero de color amarillo oscuro con vetas blancas, de un blanco lechoso, que es precioso. Un cofrecillo de madera con incrustaciones de cuarenta clases, hecho a la mano presenta un mérito tal y una dificultad vencida, que sólo viéndole puede comprenderse, y ha debido satisfacer a su autor, don Agustín Ayala, por exigente que sea, como nos satisface a nosotros.

En fin, muestras de agave; ramié natural y bañado dos, tres y seis veces, teñido de azul y rojo; pieles de cabritos para guantería, curtidas y por curtir; pañuelos y lencería bordada, encajes y reducidos objetos de plata filigranada.

Tal es la brillante exposición de México, y si se reflexiona que no tenemos aquí más que "algunos productos", que la exposición se debe a la iniciativa individual, que necesariamente deben faltar objetos, tanto naturales como manufacturados, adquiriremos el convencimiento, o por mejor decir nos confirmaremos en nuestra creencia de que, son las continuas guerras civiles que han desolado a la hermosa nación, estaría hoy a una altura envidiable en industria y comercio como lo está y siempre lo estuvo bajo el punto de las riquezas naturales. La feracidad de su suelo, sus manantiales de grandeza, la reconocida y clara inteligencia de sus hijos, todo promete a México un porvenir espléndido, por poco que se mantenga la era de la paz y bonanza que parece haber inaugurado su actual presidente, el general Porfirio Díaz.

L. García Ramos



Los excursionistas de Chicago, embobados ante nuestras especialidades.



¡Eureka! Descubrimientos científicos que cambiaron al mundo

Guadalupe Gutiérrez H.

En *¡Eureka! Descubrimientos que cambiaron al mundo*, Leslie Alan Horvitz presenta amena y sencillamente un anecdotario de los descubrimientos de 12 científicos a los que la inspiración “golpeó como un rayo” después de haberse preparado durante mucho tiempo.

Tal fue el caso de Alexander Fleming, quien a su regreso de vacaciones y por un descuido en su laboratorio, descubrió la penicilina, o el de Charles Townes, inventor del láser, cuyo propósito era amplificar la potencia de las microondas.

Asimismo, narra el sueño que llevó a encontrar la estructura de los compuestos de carbono y la historia del científico que, buscando en los “cubos de basura” de sus colegas, ideó la geometría fractal.

Teorías polémicas para su tiempo: deriva continental, relatividad y el origen de las especies, son analizadas según el contexto histórico.

Por medio de disgregaciones, mezclando la búsqueda en la vida y formación de los científicos con un excelente manejo del contexto histórico, logra darle un toque de suspenso a las historias e incita al lector a reflexionar sobre tópicos que le parecieran infrecuentes y ajenos.

“Si uno va a ser inventor también debe tener cabeza para los negocios”, recomienda el autor mientras ilustra la dura carrera por el éxito en casos como el de la doble hélice y la lucha por las patentes de la televisión.

El escritor independiente, coautor y editor de numerosos libros sobre ciencia e his-

toria de la ciencia, tales como *Level 4: Virus Hunters of the CDC* (con Joseph Mc Cormick y Susan Fisher-Hoch), *The Quotable Scientist* y *Understanding Depression* (con J. Raymond DePaulo), privilegia en esta obra lo que a menudo se desconoce: el lado humano de los hallazgos científicos.

ALAN Horvitz, Leslie *¡Eureka! Descubrimientos científicos que cambiaron al mundo*, Barcelona, 2003, Paidós, 254 págs.



Diccionario crítico de las letras mexicanas en el siglo XIX

Guadalupe Curiel D.*

El *Diccionario crítico de las letras mexicanas en el siglo XIX* es el libro más reciente de uno de los críticos literarios de mayor prestigio en nuestro país: Emmanuel Carballo. La aparición de este diccionario nos invita a hacer la revisión de algunos trabajos que han sido impulsados por la misma inquietud que movió a su autor: favorecer el conocimiento de las letras nacionales y el estudio y rescate de las fuentes impresas que quedaron como testimonio de los afanes de quienes contribuyeron durante el siglo XIX a la construcción de un proyecto de nación y a la formación de una cultura propia. No hablo, sin embargo, de textos propiamente historiográficos como *La expresión nacional* de José Luis Martínez, o la *Historia de la literatura mexicana* de Carlos González Peña; me refiero a obras de consulta, como la de Carballo, que contribuyen a la formación de la historia de nuestra literatura centrando su atención en los escritores y sus producciones.

Antes de continuar, conviene remitirnos al *Diccionario de bibliología y otras ciencias afines* (1993), de José Martínez de Sousa, que define como obra de consulta o referencia a “aquella que puede ser utilizada para la resolución de cualquier tipo de duda o para la localización y comprobación de datos de todo orden o de un orden determinado”; y como *diccionario*, en su tercera acepción, a una “obra que ofrece por orden alfabético nombres, hechos, noticias, etc., referentes a un orden de conocimientos”.

Para Borges, el mundo de los diccionarios y enciclopedias forma “el más deleitable de los géneros literarios”, género que por cierto está muy bien representado en algunos importantes trabajos que llevan el sello de la UNAM. Se trata, por ejemplo, del *Diccionario de escritores mexicanos*, de Aurora M. Ocampo y Ernesto Prado; del *Diccionario de escritores mexicanos siglo XX: desde las generaciones del Ateneo y novelistas de la Revolución hasta nuestros días*, que también coordina la maestra Ocampo, o del volumen *Ateneo de la juventud*, de Fernando Curiel, cuyo propósito es facilitar la consulta ateneísta de la A a la Z. Al Instituto de Investigaciones Bibliográficas debemos, por su parte, la publicación de *La biobibliografía de Jalisco; la biobibliografía de los escritores de Chiapas; la edición de Biblos. Boletín semanal de información bibliográfica y su Galería de escritores mexicanos contemporáneos*, y más recientemente, la del *Diccionario de seudónimos, anagramas y otros alias usados por escritores mexicanos y extranjeros que han publicado en México*.

Este recuento es apenas una pequeña muestra de ese “Orbe fascinante”, como lo llama Fernando Curiel, de las obras de consulta y/o referencia, pero nos da una idea del ámbito al que se circunscribe el presente diccionario. El libro de Emmanuel se distingue de estas y otras obras similares porque se ocupa únicamente de los escritores deci-

monónicos, cuya producción literaria tiene una característica muy especial: la mayor parte de ella vio la luz en el que fue durante el siglo XIX el medio de difusión por excelencia: la prensa. De ahí la han rescatado los especialistas para estudiarla y publicarla.

Sin embargo, el valor de este volumen va más allá de su carácter de obra de referencia, así que me gustaría describir algunas de las que considero sus mayores cualidades. En *Historia de las letras mexicanas en el siglo XIX* (1991), antecedente tapatío del diccionario, Carballo sistematiza la producción literaria decimonónica por géneros: poesía, cuento, novela, ensayo, etc.; dentro de cada género, por corrientes literarias; y presenta, subordinados a unos y otras, a los escritores. El *Diccionario crítico de las letras* es un libro reescrito como obra enciclopédica en la que ya no rigen los géneros ni las corrientes, ahora brillan con luz propia los escritores. No sobra mencionar en este punto que Carballo rescata 237 autores de aquella centuria.

Por otra parte, entre los géneros más conocidos y socorridos por los escritores decimonónicos, como la poesía, el cuento o la novela, que al igual que los autores están debidamente alfabetizados en el diccionario, Carballo concede un lugar importante a la oratoria (sagrada, política, forense o académica), tan olvidada en nuestros manuales de literatura, y nos recuerda que “fue una de las modalidades favoritas del siglo XIX”.

El *Diccionario* es además una composición polifónica. Me explico: en este volumen la voz crítica de Emmanuel Carballo armoniza con los timbres de escritores como Ignacio Manuel Altamirano, Manuel Gutiérrez Nájera, Luis G. Urbina, Francisco Monterde, José Luis Martínez, Carlos Monsiváis y José Emilio Pacheco, por citar algunos nombres. Así, el autor rescata las referencias de los críticos decimonónicos y de los críticos

de su tiempo sobre la obra de los escritores estudiados, y nos ofrece además una historia de la crítica literaria del siglo XIX.

Y si la crítica es una eterna lucha entre lo objetivo y lo subjetivo, en este libro se sitúan objetivamente en su contexto los escritores más afamados del siglo antepasado junto con autores poco conocidos, aunque no menos importantes. En este recuento de las letras mexicanas llama la atención el rescate de Miguel Hidalgo, José María Morelos y Benito Juárez como oradores políticos, personajes generalmente ignorados en la historia de nuestra literatura. Destaca, asimismo, la presencia de extranjeros que produjeron y publicaron en nuestro país, como el cubano José María Heredia y el español José Zorrilla, que tanta influencia ejerció en algunos literatos mexicanos.

Un mérito más del *Diccionario* es el par de apéndices que lo acompañan: el primero recoge las referencias de 47 revistas literarias de la ciudad de México y 85 del interior del país, entre las que se encuentran algunas de las más importantes del siglo, como *El Iris* (1826), *El Museo yucateco* (1841-1842), *El Ensayo literario* (1850-1852), *El Renacimiento* (1869), *La Revista de Mérida* (1869-1870), *La Ilustración potosina* (1869-1870), *Revista azul* (1894-1896) y *Revista moderna* (1898-1911), entre muchas otras; y el segundo es una bibliografía especializada, que el autor clasifica de acuerdo con los géneros literarios descritos en su obra.

Como puede verse, muchas son las bondades que esta obra nos ofrece, pero la más importante de todas es, desde mi punto de vista, la de facilitar la investigación sobre la génesis y el desarrollo de la literatura en nuestro convulsionado siglo XIX. Literatura que da cuenta de los acontecimientos políticos y sociales, de las costumbres, de los festejos, del estado de la educación y del conocimiento, así como de los avances en la

industria y el comercio, entre otros importantes asuntos de la época.

Carballo, Emmanuel. *Diccionario crítico de las letras mexicanas en el siglo XIX*. Con la colaboración de Jesús Gómez Morán y Norma Elizabeth Salazar Hernández. Océano / Conaculta, México: 2001. 291 p. (Intemporales).

* Instituto de Investigaciones Bibliográficas



Organización vascular de las angiospermas: una nueva visión

Guillermo Ángeles*

Tradicionalmente, la anatomía de las plantas se ha estudiado en cortes histológicos, que dan un aspecto bidimensional del arreglo de los tejidos. Sin embargo, para entender el funcionamiento de las estructuras vegetales no basta con una visión plana, sino que se requiere una visión tridimensional (3D) que ayude a comprender la intrincada red de vasos que se yuxtaponen y bifurcan al ascender desde las raíces al tallo, o al pasar del tallo a una rama, o de una rama al peciolo de la hoja, etcétera.

Los sistemas vasculares de las plantas son bastante complejos. Tienen dos componentes: el floema, por donde circulan los productos derivados de la fotosíntesis (azúcares), y el xilema, por donde circulan el agua y los minerales disueltos en ella. Dependiendo de la especie y del tamaño de la planta, los sistemas vasculares alcanzan longitudes considerables, pues interconectan las raíces con los tallos, éstos con las ramas y a éstas con las hojas. Al pasar a los órga-

nos de reproducción, los tejidos vasculares aumentan su complejidad y disminuyen su tamaño.

Con la invención del microscopio electrónico de barrido se empezó a visualizar la estructura 3D de los vasos de las plantas, al poder ver parcialmente en su interior. Sin embargo, este método tiene sus limitantes, ya que los demás tipos celulares que acompañan a los tejidos vasculares (fibras y parénquima) impiden la visión de toda la extensión del sistema.

Accidentalmente, mientras estudiaban con el microscopio electrónico de barrido la efectividad de un adhesivo en la fabricación de triplay, los japoneses Saki, Goto y Kakuno (1975) descubrieron que era posible obtener micro moldes del interior de vasos y traqueidas (células de la madera de las coníferas, especializadas en el transporte de agua) de la madera. Fujii (1993) y Mauseth y Fujii (1994) mejoraron el método utilizando poliéster para hacer los moldes. Con esta técnica pudieron incluso hacer micromoldes de espacios intercelulares.

Al estudiar un problema fisiológico en los rosales, Jean-Pierre André, del Instituto Nacional de Investigación Agronómica en Antibes, Francia, llevó la técnica de micro moldeado a un nivel de perfección. Después de probar con varios materiales encontró que el polisiloxano (resina empleada por dentistas para hacer moldes de dentaduras completas) daba excelentes resultados, pues mantiene su fluidez por bastante tiempo, lo que permite que viaje por los conductos vasculares a grandes distancias. La fidelidad de los moldes de polisiloxano es tan alta, que tiene una resolución de 0.1 a 0.2 micrómetros. A lo largo de diez años de intenso trabajo, André hizo importantes aportaciones al estudio de sistemas vasculares complejos.

El libro que aquí se reseña es un compendio de este monumental trabajo.

Está dividido en dos partes. La primera se centra en el campo de aplicación del micro moldeado, en el que se presentan generalidades de la estructura y el funcionamiento del xilema, y las variaciones que tiene este tejido en origen y desarrollo en los diferentes grupos de plantas vasculares. Incluye también un tratamiento somero del floema y del parénquima, así como de canales y espacios intercelulares. Aunque el título del trabajo hace referencia a los sistemas vasculares de las angiospermas, en realidad es un estudio más extenso, pues presenta también ejemplos de los tejidos vasculares de las gimnospermas y de helechos. Además, no se limita a los sistemas vasculares, pues también presenta moldes de canales resiníferos y de los espacios intercelulares de los tallos de *Vigna radiata*, así como del interior de hojas.

La segunda parte presenta una descripción detallada de la técnica del micro moldeado. En ella, se describe el tratamiento previo que se le debe dar a los tejidos que se quieren incluir, así como las propiedades químicas del silicón empleado y de las reacciones químicas que se lleva a cabo durante la reticulación del silicón. Posteriormente se describe la técnica de digestión química que se le debe dar a los tejidos embebidos en el silicón para liberar los moldes. Finalmente, esta segunda parte describe, con lujo de detalle, las herramientas que se requieren para manipular los moldes de vasos, verdadero espagueti cuando se observa bajo el microscopio de disección.

Cuando se cuenta con un microscopio electrónico de barrido para examinar los moldes de tejido vegetal, el espectáculo que se presenta ante nuestros ojos es realmente incomparable. Como se comenta en la introducción del libro, escrita nada menos que por Anne-Marie Catesson, una de las más importantes anatomistas vegetales de

nuestra época, especialista en la estructura y el funcionamiento del *cámbium* vascular, este libro se recomienda no solamente a los botánicos especialistas en anatomía vegetal. Es casi seguro que los artistas apreciarán las increíbles estructuras tridimensionales que se manifiestan por medio de esta sencilla técnica. En los moldes de vasos, la Dra. Catesson encontró similitudes con tentáculos de pulpo, patas de cangrejo, columnas de templo egipcio, etcétera. De hecho, Jean-Pierre me confesó que cuando le presentó por primera vez moldes de vaso a Anne-Marie Catesson, notó lagrimas en sus ojos. Si los moldes de vaso la lograron conmovir de este modo pese a estar tan familiarizada con la estructura de los vegetales, ¿qué sentirán los no iniciados en los encantos de la anatomía vegetal!

Fui de los últimos visitantes del laboratorio de Jean-Pierre André antes de que él se retirara. En las tres semanas que pasé en su laboratorio, pude aprender mucho de su técnica. Me asombró el hecho que Jean-Pierre no es botánico, sino ingeniero químico. Se interesó en la estructura vegetal a partir de que se le presentó el problema de determinar la causa por la cual los tallos de las rosas se doblan, justo por abajo del receptáculo, después de unos días en el florero. Jean-Pierre literalmente se introdujo en los tejidos vasculares de las plantas y no se salió de ellos hasta el día de su retiro, en 2002. Ahora se encuentra dedicado enteramente a su otra pasión: pintar los bellos paisajes de la Provenza.

André, Jean-Pierre. *Organisation vasculaire des angiospermes: une vision nouvelle*. INRA. Paris: 2002. ISBN2-7380-0995-6

* Guillermo Ángeles labora en el Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques del Instituto de Ecología, A. C. alvarez@ecología.edu.mx

Marzo y abril de 2004

Cada año los cielos de marzo nos muestran, si lo observamos entre las 21 y las 22 horas, las mismas constelaciones; no así la posición de los planetas en la bóveda celeste, dado que éstos cambian de posición constantemente respecto a dichas constelaciones. (La palabra planeta viene del griego y significa errante).

En marzo tenemos sobre nuestras cabezas, a la hora mencionada, a Cáncer, con Leo al este y Gemini al oeste de ella. Cáncer es una constelación poco conspicua; sin embargo, Leo y Gemini son muy notorias por contar con estrellas muy brillantes; en Leo y justo sobre la eclíptica está Régulus, estrella azul de primera magnitud (mag.+ 1.3) y distante de nosotros 84 Años-Luz. Gemini cuenta con Castor y Pollux, dos estrellas, aunque similares en brillo, totalmente distintas entre sí; Castor más bien blanca y de magnitud + 1.6 distante 45 Años-Luz de nosotros y Pollux anaranjada, ligeramente más brillante (mag.+ 1.2) y a 35 Años-Luz de nuestro Sistema Solar.



Curiosamente, resulta que en estos meses, los dos planetas más grandes del Sistema se encuentran: Júpiter en Leo y Saturno en Gemini, por lo que conviene no dejar pasar la oportunidad de verlos a simple vista (se reconocen porque no titilan como todas las estrellas) o con cualquier telescopio.

Para abril, las constelaciones se habrán desplazado hacia el oeste; entonces Leo estará directamente sobre nuestras cabezas y Virgo al este de Leo, con su estrella principal Spica, estrella muy azul (su temperatura superficial es de 22 mil kelvin), a una distancia de 220 años-Luz y exactamente de primera magnitud (mag. + 1.0).

Efemérides

Marte en el oeste visible al anochecer y Venus, el objeto más brillante en el cielo, después del Sol y la Luna, también en el oeste, como lucero vespertino y alcanzando a Marte a fines del bimestre.

Este año 2004 es bisesto y por lo tanto de 366 días, así que a febrero le tocó tener 29; ¿Cuándo cumplen años los nacidos ese día...?

Marzo

El 4 de marzo Júpiter está en oposición; esto es, lo más cerca de la Tierra, a 658 millones de kilómetros de nosotros.

El día 20, a las 0 horas con 49 minutos, ocurre el Equinoccio de Primavera; es la fecha en que el día y la noche tienen la misma duración en ambos hemisferios, o dicho de otro modo, la fecha en que el Sol ilumina ambos polos de la Tierra al mismo tiempo.

El 29 de marzo Mercurio y Venus se hallan en su máxima elongación este, respectivamente a 18.9 y 46.0 grados del Sol; excelente oportunidad para observar al primero en el oeste, poco después de la puesta del Sol.

Abril

El día 4, Venus está a menos de un grado de las Pleiades o las Siete Cabrillas.

El 17, Mercurio está en conjunción inferior y “solamente” a 86 millones de kilómetros de nosotros.

El día 19, ocurre un eclipse parcial de Sol, visible cerca de la Antártica pero no en América.

El 24 de abril se celebra el Día Mundial de la Astronomía





Lluvia de estrellas

La lluvia de estrellas más importante en este bimestre corresponde a las Líridas, cuya radiante está al suroeste de Vega, la principal estrella de la constelación Lyra. Son estrellas fugaces producto de la desintegración parcial del cometa Thatcher que pasó por aquí en 1861 y cuyo período es de 415 años, por lo que lo verán nuestros descendientes en el año 2276...

Sus velocidades son medianas, 48 km/s, y su máximo ocurre del 21 al 22 de abril, y por lo regular dejan estelas brillantes de hasta varios segundos de duración. Este es un buen año para observarlas, dado que la Luna, apenas creciente, no va a causar interferencia. ☾

Coordenadas de los planetas (al 30 de Marzo)

	Ascensión Recta	Declinación
Urano	22 horas 22' 13"	-11 grados 44' 20"
Neptuno	21 horas 21' 07"	-16 grados 16' 33"
Plutón	17 horas 28' 08"	-14 grados 23' 30"

	Apogeo día/hora	Perigeo día/hora	Llena día/hora	Menguante día/hora	Nueva día/hora	Creciente día/hora
Marzo	12/22	27/01	6/17	13/18	20/01	28/18
Abril	8/22	24/20	5/07	12/00	19/09	27/13





Ing. Jaime Parada Ávila (Conacyt), Mario Laborín (NAFIN) durante la firma del convenio.

Miembros de la Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología firman la Declaración de Vallarta

En el marco de la Segunda Reunión Ordinaria de la Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología, los representantes los Consejos Estatales de Ciencia y Tecnología de la República Mexicana reconocieron que nuestro país requiere establecer y consolidar una política de estado de largo plazo en materia científica y tecnológica, que involucre la participación consciente y el compromiso del conjunto de los ciudadanos y los tres niveles de gobierno. También asumieron que el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología requiere de transformaciones estructurales que le permitan fortalecer de manera democrática y equitativa las capacidades nacionales, estatales y municipales en materia de ciencia y tecnología.

El desarrollo armónico de los sistemas estatales y federal de ciencia y tecnología debe generarse a partir del reconocimiento de los distintos niveles y necesidades de desarrollo, consolidando las fortalezas y generando áreas de oportunidad en donde se identifiquen debilidades.

Con la firma de la llamada “Declaración de Vallarta”, los asistentes se comprometieron

a propiciar la creación de las Comisiones Legislativas de Ciencia y Tecnología en cada Congreso estatal; la promoción de reformas para la creación o, en su caso, adecuación de un marco jurídico apropiado que incluya al menos las leyes estatales de ciencia y tecnología; la creación, el fortalecimiento y la consolidación de consejos u organismos estatales con autonomía y capacidad para propiciar y asegurar la vinculación y coordinación de los esfuerzos estatales con las diversas secretarías y sectores de los estados en esta materia, y la consideración del gasto en ciencia y tecnología de las entidades federativas dentro de los Ramos 33 y 38 y en los demás instrumentos de programación aplicables del presupuesto nacional, en proporciones similares a las destinadas al presupuesto federal, sin menoscabo de las actuales fuentes y fondos de financiamiento en vigor.

Además, buscarán la creación de un rubro presupuestal específico con una asignación dentro del presupuesto anual correspondiente; la formulación o actualización de los programas de ciencia y tecnología que, en el marco de los respectivos Sistemas Estatales de Planeación Democrática, identifiquen necesidades y prioridades de desarrollo, propicien políticas y estrategias y definan acciones para el fortalecimiento de las capacidades locales de ciencia y tecnología, y el establecimiento y consolidación de mecanismos de información, seguimiento y evaluación de los programas y acciones de ciencia y tecnología que garanticen la rendición de cuentas, así como la medición de su impacto en la sociedad y el desarrollo económico de la entidad.

Los integrantes de la Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología, se mostraron confiados en que mediante el cumplimiento de estas afirmaciones y acciones estratégicas, se alcanzará un cambio estructural que permitirá enfrentar con energía y decisión

los retos y desafíos que nos impone la construcción de un nuevo país, más justo y equitativo, con bienestar y desarrollo, con justicia y democracia, uno que referido al pacto federal, haga realidad el sueño de un país sustentado en una sociedad del conocimiento, unido, fuerte y moderno.

IMPI y Conacyt apoyarán la creación de patentes mexicanas

Con el propósito de proteger el conocimiento generado por los investigadores mexicanos, dar asesoría a los científicos que ya terminaron sus proyectos e ir generando una cultura de propiedad industrial, el Ing. Jaime Parada Ávila, director general del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), firmó un convenio de colaboración con el Lic. Jorge Amigo Castañeda, director general del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

Con este acuerdo, cuya vigencia es de dos años, se buscará proteger la propiedad intelectual e industrial de los trabajos que ya realiza el Consejo a través de los 40 Fondos de Investigación (Mixtos y Sectoriales) en operación, pero sobre todo de aquéllos que



Ing. Jaime Parada Ávila (Conacyt) y Lic. Jorge Amigo Castañeda (IMPI) durante la firma del convenio de apoyo para la creación de patentes mexicanas.

serán apoyados en el programa AVANCE, generador de nuevos negocios, pues es de vital importancia proteger debidamente los desarrollos científicos y tecnológicos a través de patentes, secretos industriales, y otras figuras consideradas en la Ley de Derechos de Autor. Las acciones a seguir abarcarán la capacitación y formación de especialistas, y el acceso a la base de datos sobre patentes registradas en el IMPI.

El Ingeniero Parada apuntó que se necesita generar una cultura de protección al conocimiento, si bien ya se ha realizado una importante labor en este sentido con el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), aún se requiere de un gran trabajo para que cada vez más investigadores patenten sus descubrimientos antes de hacerlos públicos en congresos o revistas Internacionales.

Al hacer uso de la palabra, el Licenciado Jorge Amigo Castañeda explicó que para el IMPI firmar un acuerdo de colaboración con el Conacyt representa un gran éxito para la ciencia mexicana, debido a que ahora se podrán apoyar más proyectos y, sobre todo, protegerlos, ya que es muy frustrante analizar proyectos conjuntamente con las universidades, platicar con sus investigadores, redactar las patentes y, encontrar que al final no se tienen los recursos para presentar la solicitud, con lo que se corre el riesgo de que el investigador se canse y se vaya al extranjero.

Suscriben Conacyt y Nafinsa convenios en apoyo a Pymes

En la residencia oficial de Los Pinos, Mario Laborín y Jaime Parada, respectivamente directores generales de Nacional Financiera y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, suscribieron dos convenios de colaboración para apoyar a pequeñas y medianas empresas (Pymes) en el ámbito de la tecnología.



Lic. Sergio Alberto Estrada (gobernador del estado de Morelos) durante la Segunda Reunión Ordinaria de Ciencia y Tecnología, realizándose a la vez la firma de la "Declaración de Vallarta".

El primer convenio tiene como objetivo establecer instrumentos de financiamiento e inversión orientados a la creación, el fortalecimiento y la expansión de las Pymes a partir de desarrollos científicos y tecnológicos. Así, se establecerá un esquema de garantías que facilite el acceso al crédito bancario para impulsar proyectos en materia tecnológica, para lo cual el Conacyt aportará recursos por 30 millones de pesos y Nacional Financiera canalizará créditos hasta por 300 millones de pesos.

Con este esquema de financiamiento se busca apoyar proyectos principalmente en diez áreas estratégicas: tecnologías de información, salud, desarrollo agropecuario y pesca, alimentación, materiales avanzados, medio ambiente, energía, diseño y manufactura, electrónica y telecomunicaciones, y vivienda y construcción.

De igual modo, ambas dependencias celebraron un segundo convenio complementario que permitirá la aportación de casi diez millones de dólares a un fideicomiso para la realización de estudios destinados al desarrollo de proyectos productivos que estén basados en investigación científica, estimulando la vinculación entre la empresa y el sector académico.

Para ello, Nacional Financiera aplicará un esquema denominado "Ángeles Inversionistas", el cual contempla la participación de más de 400 consejeros consultivos de la institución en el país, quienes en coordinación con universidades y grupos de emprendedores, evaluarán la viabilidad de los proyectos con el objetivo de estimular el uso de tecnología y procurar obtener inversiones adicionales.

Renuevan convenio el Conacyt y la Universidad de Alberta

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la Universidad de Alberta (Canadá) renovaron su convenio de colaboración, en el cual se establece un programa compartido de becas en apoyo a estudiantes mexicanos en esa institución educativa.

El ingeniero Jaime Parada Ávila, director general del Conacyt, y el doctor Roderick D. Fraser, presidente de la Universidad de Alberta, aceptaron cofinanciar anualmente a 50 investigadores, hasta 2006, para estudios de posgrado en la institución canadiense en las áreas de ciencias, administración, agricultura, silvicultura y economía local, antropología, economía, ciencias políticas, historia y clásicos, lingüística, psicología, sociología, derecho, enfermería e ingeniería.

La Universidad de Alberta proporcionará el 50 por ciento del costo total de la colegiatura en maestría o doctorado, en tanto que el Conacyt cubrirá el 50 por ciento restante, así como los costos de manutención y seguro médico.

Ambos titulares coincidieron en que, gracias a este acuerdo, en un par de años se habrán construido lazos más fuertes entre Canadá y México, pues ambas naciones buscan mejorar la productividad y los procesos de la investigación científica y tecnológica.

Residuos agroindustriales eliminan contaminantes del suelo

Residuos como el grano de café de calidad baja, el bagazo de caña y cáscaras de naranja son utilizados por la doctora Refugio Rodríguez y su equipo del CINVESTAV, en el Instituto Politécnico Nacional, para eliminar contaminantes orgánicos en el suelo.

El proceso consta de la adición de cantidades relativamente bajas de los residuos a diversos tipos de suelos contaminados con compuestos orgánicos tóxicos, principalmente, akareles (aceites de transformador), pesticidas (pentaclorofenol, DDT), fungicidas (creosota) e hidrocarburos polinucleoaromáticos.

La degradación de estos compuestos se lleva a cabo a través de enzimas como manganeso peroxidasa y lacasa. Recientemente se descubrió en el laboratorio de la doctora Rodríguez que éstas son producidas por hongos ligninolíticos, comestibles (setas o champiñones).

El proyecto se aplicará en el campo para la eliminación de pesticidas e hidrocarburos en Oaxaca. Se espera realizarlo también en Tlaxcala.



Vino tinto y chocolate, dañinos para quienes padecen migraña

Las bebidas alcohólicas (principalmente el vino tinto), el chocolate, los olores fuertes y el estrés pueden activar el reloj biológico de las personas que padecen migraña. El mismo efecto tienen los sitios con mucha altura sobre el nivel del mar, o aquellos donde existen grandes concentraciones de contaminación y calor. El investigador del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, señaló que de los ocho millones de personas que padecen migraña, 80 por ciento están en edad productiva (entre 20 y 50 años), y las mujeres son tres veces más propensas.



Sistema satelital vigilará el territorio nacional

El presidente Vicente Fox inauguró el sistema satelital ERMESX, uno de los 15 en el ámbito mundial, el cual servirá para vigilar el territorio y apoyar la agricultura mexicana, la pesca, las comunicaciones, la situación ecológica y la prevención de desastres naturales, entre otras posibilidades.

Este instrumento para la observación de la Tierra se debe a la alianza estratégica entre las Secretarías de Marina y Agricultura. Está basado en una constelación de tres satélites que permiten tomar imágenes diarias sobre cualquier punto del territorio nacional, con gran detalle, precisión y claridad.

“El sistema posibilita verificar la evolución de los cultivos en distintas regiones del país. Además, con este sistema vamos a poder detectar con rapidez y precisión los desastres naturales y sus efectos; vamos a actuar con mayor prontitud y eficacia frente a estos desastres”, informó Vicente Fox.



Refresco para bajar de peso

El Centro Incubador de Empresas de Base Tecnológica del Instituto Politécnico Nacional y un grupo de médicos cirujanos homeópatas desarrollaron una bebida baja en calorías y sales, auxiliar en el control de peso y que actúa como un agente termogénico y lipolítico.

La presentación de este refresco incluye los sabores: limón, manzana, uva, grosella, tamarindo, piña y toronja. En su elaboración “utilizamos todo un sistema de higiene, agua tratada con carbón activado, luz UV y filtros, entre otras medidas”, explicó el doctor Bolio.

La bebida actúa en el metabolismo de las grasas y los carbohidratos; es decir, remueve el tejido corporal, quema la grasa y reduce el exceso de azúcar.

Los doctores Héctor Bolio, Rubén Miranda, Óscar Fuentes y Jareni Gómez, consolidaron la empresa Homeopática Científica Industrial y después de un año de investigación crearon, con la misma fórmula, una serie de productos: gelatina, glóbulos, gel reafirmante y ahora, el refresco; cada uno con indicaciones particulares.

Entre los efectos que presentan los pacientes después de tres semanas, según el especialista, están: mayor saciedad ante la ingesta de alimentos, aumento en la sudoración, sed y, por consiguiente, aumento en la ingesta de agua; mejores evacuaciones intestinales, disminución de colesterol y triglicéridos, así como disminución de talla y peso corporal.



Nutritiva mermelada de tuna con maracuyá

Debido a la problemática de los productores de tuna y nopal, a pesar de que México es el primer productor mundial, investigadores de la UNAM crearon una mermelada de tuna combinada con maracuyá, alta en carbohidratos y con bajo contenido de pectinas y acidez.

El producto desarrollado en el laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán tiene buena consistencia, color amarillo verdoso, sabor agrídulce y olor agradable.



A la tuna se le atribuyen propiedades biliares, contra la diarrea y la diabetes (México), diuréticas (Perú y Ecuador), y contra la tos ferina y problemas bronquiales (Bolivia y Chile). Por su parte, el maracuyá es recomendado como tranquilizante, fuente de vitamina C y para bajar la presión arterial, según informó la investigadora Leticia Villareal, líder del proyecto, quien agregó que éste se inició para apoyar a productores del estado de Hidalgo y se pretende desarrollar una mayor variedad de productos tanto con tuna como con maracuyá. Actualmente se está en proceso de adquirir los derechos de la tecnología.



Dra. Mayra de la Torre, Premio TWAS 2003 en Ingeniería

Por 25 años de trabajo en el desarrollo de procesos para producción de levaduras, bioinsecticidas y productos biológicos para el control de enfermedades de las plantas ocasionadas por hongos, la doctora Mayra de la Torre, del CINVESTAV, recibirá en Trieste, Italia, el premio TWAS 2003 en Ingeniería.

La tecnología desarrollada por la doctora de la Torre es utilizada por cuatro empresas en México. Ocho de los productos fabricados a partir de ésta están actualmente en el mercado, siete en el país y uno en diversas partes del mundo. A ella se atribuye el único insecticida producido en México: BT-SIN.

La también ganadora del Premio Nacional de Ciencias y Artes 1988, comentó “la biotecnología es importante para transformar un conocimiento científico en tecnología y como ciencia, para entender el comportamiento de los organismos y su interacción con el medio ambiente”.

Causas de trastornos alimentarios en la niñez

El riesgo de presentar trastornos alimentarios durante la adolescencia, como la anorexia nerviosa (rechazo a mantener un peso normal), bulimia nerviosa (excesos alimenticios con vómito posterior) e ingestión recurrente y mucho más rápida (trastornos por atracón), aumenta hasta 18 veces en individuos que de niños están insatisfechos con su cuerpo, según la psicóloga Verónica Vázquez Velázquez, del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

Las principales causas de dichos trastornos son ambientales, culturales y biológicas. El tratamiento para evitar estas afecciones es caro, dura años y debe ser integral.

El peso y la figura, para quienes presentan este tipo de padecimientos, son determinantes al momento de calificar su forma de ser, su personalidad y sus capacidades o incapacidades para relacionarse con los demás.



Suscríbese a *Ciencia y Desarrollo*

antes del 31 de mayo y obtendrá **7** números por el precio de **6**

cienciaydesarrollo@conacyt.mx

Venta de verduras con etiqueta *inteligente*

En Japón se venden coles y nabos con un circuito integrado o chip de 0.4 milímetros cuadrados y una antena transmisora para que los consumidores puedan rastrearlos en la cadena de distribución a través de un escáner.

El experimento fue llevado a cabo por un consorcio llamado T-Engine Forum, plataforma informática dedicada al procesamiento de datos a alta velocidad y al desarrollo de chips y programas para aparatos digitales de uso doméstico. También participan empresas como Fujitsu, NEC y Pin Change.



Benéfica para diabéticos, raíz dulce de planta peruana

El yacón, raíz de una planta con finos girasoles amarillos que se siembra en Perú, previene el cáncer y la osteoporosis y, a pesar de ser dulce, es benéfica para los diabéticos.

Esta raíz tiene una cáscara oscura y parece una papa alargada. Contiene poca proteína, poca grasa, grandes cantidades de potasio y antioxidantes. Según los científicos, ayuda a la absorción del calcio y de las vitaminas en el cuerpo sin aumentar las concentraciones de glucosa.

Cerveza antienvjecimiento

Una cerveza alemana contiene vitaminas y minerales que se supone desaceleran el proceso de envejecimiento. La compañía cervecera Neuzeller Kloster planea lanzarla a la venta este año en supermercados y farmacias.

No se brindaron mayores detalles sobre los ingredientes, excepto que contiene productos agregados que contribuyen a promover la buena salud.

En Alemania se beben al año unos 138 litros de cerveza per cápita, lo que convierte a sus ciudadanos en los mayores consumidores de esta bebida en el mundo. Este sector genera más de 65 mil puestos de trabajo.



ONU, campaña contra la mala alimentación

La Organización Mundial de la Salud (OMS), organismo de la Organización de Naciones Unidas (ONU), presentará un borrador a sus estados miembros donde insta a trabajar conjuntamente para modificar los hábitos alimenticios. Asimismo, pronosticó que el número de casos de diabetes 2 (adquirida), aumentará de 117 a 370 millones en el 2030.

Alarmados porque de los 56.5 millones de muertes prevenibles en el mundo, la mitad corresponden a enfermedades cardiovasculares, diabetes y ciertos tipos de cáncer, los directivos de la OMS lanzarán esta iniciativa en la primavera boreal de 2004.

Según el organismo, la nutrición inadecuada y las enfermedades infecciosas siguen siendo las principales causas de la mala salud en las naciones pobres, mientras que en otras lo son las dietas inadecuadas aunadas a la escasa actividad física de niños y adolescentes.



Consumir cítricos previene cáncer

Consumir cítricos, principalmente la naranja, podría reducir el riesgo de padecer cáncer de boca, laringe y estómago. Una ración adicional al día, además de las cinco raciones diarias de fruta y verdura recomendadas, también podría disminuir el riesgo de derrames cerebrales en 19 por ciento, según un nuevo estudio elaborado en Australia.

La investigadora Katrine Baghurst explicó que los cítricos protegen al cuerpo gracias a sus propiedades antioxidantes, que refuerzan el sistema inmunológico por medio de la inhibición del crecimiento de tumores y la normalización de las células cancerosas. Por ello, también podrían reducir el riesgo de obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares.



Museo que vincula la ciencia con la vida diaria

El vínculo entre los avances científicos y su impacto en la vida diaria será el objetivo del museo de Ciencia *Marian Koshland* que abrirá en Washington la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos.

El contenido de las exhibiciones (Las maravillas de la ciencia, cambio climático y secuenciación del ADN) provendrá de reportes de la Academia Nacional de Ciencias, la Academia Nacional de Ingeniería, el Instituto de Medicina y el Consejo Nacional de Investigación de ese país.

“El museo transmitirá a los visitantes lo maravilloso de la ciencia a través de colecciones que demostrarán cómo la ciencia impacta en nuestras vidas en un nivel muy personal”, expresó Daniel Koshland, fundador del *Marian Koshland*.



Incremento de cultivos transgénicos

El área mundial de cultivos transgénicos se incrementó de 1.7 a 58.7 millones de hectáreas de 1996 a 2002, lo que representa 2.5 veces el área terrestre del Reino Unido, aseguró en entrevista para la revista *Conversus* el vicepresidente de la Academia Mexicana de Ciencias, doctor Octavio Paredes.

Además del maíz y la soya, los cultivos más importantes de organismos genéticamente modificados (OGM) comestibles son canola (colza o mostaza), linaza, tomate, remolacha, papa, arroz, papaya y calabaza, señaló el también investigador del CINVESTAV.

“A grandes rasgos, se estima que en el desarrollo de un producto transgénico, desde el momento en que inicia la investigación hasta que se comercializa el producto, pueden transcurrir de seis a diez años y el costo en algunos casos asciende a unos 250 millones de dólares”, mencionó el doctor Paredes.



Para autores: recomendaciones

¿Qué esperamos?

Ciencia y Desarrollo es una revista de divulgación, su objetivo principal es comunicar el conocimiento de manera clara y precisa al público no especializado, pero interesado en acrecentar su comprensión acerca del mundo y su perfil cultural a través de elementos propios de la investigación en ciencia, tecnología y áreas humanísticas y sociales. Por ello, en ella se incluyen ensayos, artículos, reportajes, entrevistas, reseñas bibliográficas y noticias acerca del acontecer cultural, entendido como un sistema donde ciencia, arte, humanidades y sociedad se integran, principalmente en nuestro país.

Es dentro de este marco que invitamos a los académicos, investigadores, profesores, divulgadores y expertos a participar con colaboraciones acerca de las siguientes áreas de conocimiento:

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

¿Cómo?

Las colaboraciones recibidas tendrán dos tipos de evaluación: una de contenido, a cargo de expertos en el tema planteado, y otra estructural, a cargo de expertos en cuestiones editoriales y redacción. Entre los criterios a considerarse de entrada están: interés del tema para el público general; rigor en la investigación y en la exposición de los resultados, y lenguaje comprensible para todo público, por lo que se hace énfasis en presentar una redacción clara y precisa. Además, se deberán cumplir las siguientes recomendaciones

a) Cuartillas tamaño carta, con tipografía Arial en 12 puntos y a doble espacio, con un mínimo de 6,000 caracteres y un máximo de 14,000, con espacios, incluidas referencias,

cuadros y bibliografía. En el caso de las reseñas, deberán tener un máximo de 5,500 caracteres, con espacio. Anexar el archivo electrónico correspondiente realizado en programa Word.

b) Para comunicar enfáticamente, el título del artículo deberá ser corto y atractivo, rompiendo en ello con el formato de título acostumbrado para presentar trabajos de investigación. Debe pensarse en atraer por principio la atención del lector. Debe aparecer registrado en la carátula, junto con el nombre del autor, o los autores, el de sus instituciones y departamentos de adscripción o el de su profesión, y las direcciones postales y electrónicas y números telefónicos o de fax donde se le o les pueda localizar.

c) Además, deberá enviarse un resumen curricular de cada autor con no más de 10 líneas. Los datos importantes a aparecer en él son: nombre; grado académico o experiencia profesional reciente; nombres completos de las instituciones, y siglas a continuación, entre paréntesis, de las instituciones; en caso de tener publicaciones, título completo de la más reciente con año de publicación; distinciones y proyectos importantes; mencionando los apoyos de CONACYT si se han dado, y si existe, relación con el SNI. Si desean que se publique su correo electrónico, favor de expresarlo.

d) Con el fin de divulgar el conocimiento del tema tratado, se solicita a los autores pensar de entrada su texto no sólo como información vertida a lo largo de las cuartillas, sino como una opción explicativa, de divulgación. Para ello se recomienda realizar un esquema previo, donde el autor puede concretizar sus ideas de manera clara antes de escribir. Se sugiere desarrollar el texto a través de pequeñas secciones indicadas con subtítulos, igual de atractivos que el título general. En cada sección se tratará de manera precisa una parte del todo integral.

e) Los autores deberán aclarar los términos técnicos usados, de manera inmediata tras su primera mención dentro del texto, al igual que las abreviaturas. Las citas deberán llevar la referencia inmediatamente después la traducción, entre paréntesis. No se indi-

cará con número para lectura en pie de página o al final.

f) Sólo se usarán fórmulas y ecuaciones en caso de ser indispensables y se deberán aclarar de la manera más didáctica posible.

g) La inclusión de gráficas o cuadros se realizará sólo en aquellos casos en los que la presentación de datos sea de particular importancia para el enriquecimiento, la comprensión o la ilustración del texto. Deberán presentarse con título independiente, también concreto y enfático, y texto descriptivo y/o explicativo.

h) 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 píxeles por pulgada en un tamaño mínimo de media carta. No insertarlos en el texto.

i) En una hoja aparte, deberán enviarse los pies de fotografía. Estos no deberán rebasar una línea y deben incluir la información básica para aclarar la imagen. También se incluirán los créditos respectivos.

j) En otra hoja anexa, el autor deberá incluir tres ideas básicas que, tampoco de más de una línea, que considere deben acompañar al texto. Estos son los llamados "balazos".

k) En cuanto a las fichas bibliográficas, deben contener los siguientes datos: autores, título del artículo, nombre de la revista o libro, empresa editorial, lugar, año de la publicación y serie o colección, con su número correspondiente.

¿Dónde?

Los artículos serán recibidos en:
Ciencia y Desarrollo
Av. Insurgentes 1582, 4to. piso
Col. Crédito constructor
03940 México, D.F.
cienciaydesarrollo@conacyt.mx