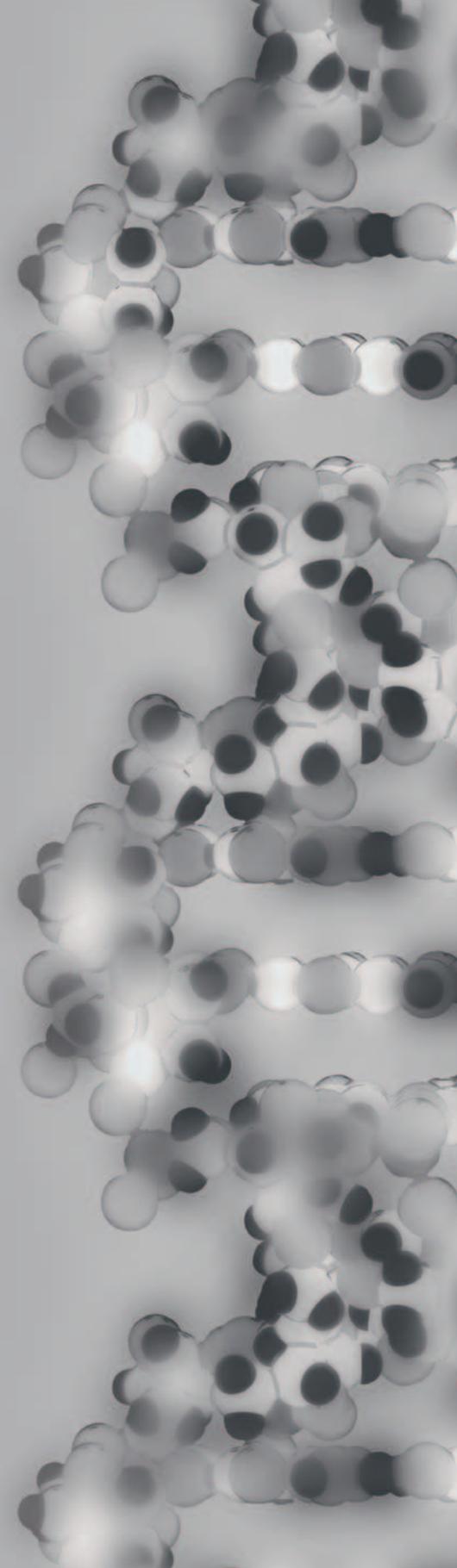


POR UN USO RESPONSABLE
DE LOS
ORGANISMOS GENÉTICAMENTE
MODIFICADOS

COMITÉ DE BIOTECNOLOGÍA

COORDINADOR
FRANCISCO GONZALO BOLÍVAR ZAPATA

ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS





POR UN USO RESPONSABLE
DE LOS
ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

COMITÉ DE BIOTECNOLOGÍA

COORDINADOR

FRANCISCO GONZALO BOLÍVAR ZAPATA



ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS





Coordinación editorial: Ana Ezcurra

Diseño: Juan Carlos Burgoa

DR © 2011, Academia Mexicana de Ciencias, AC

km 23.5 Carretera Federal México - Cuernavaca

Cipreses s/n, Col. San Andrés Totoltepec

C.P. 14400 Tlalpan, México DF, México

aic@unam.mx

www.amc.mx

ISBN 978-607-95166-3-5

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación para fines comerciales.

Portada y página 3: imagen del ácido desoxirribonucleico (ADN).

Algunas figuras y fotografías del libro *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna* (2007)

fueron reproducidas en esta publicación con el permiso de El Colegio Nacional. Las fotografías de las páginas 38(1) y 43(d) fueron cedidas por Elizabeth Ruiz. La fotografía de la página 86 es propiedad de Notimex.

El resto de las fotografías aquí presentadas fueron adquiridas del acervo electrónico thinkstockphotos.com mediante el contrato de compra celebrado entre la AMC y esta compañía.

El anexo 4 de este libro fue tomado del sitio electrónico de la Organización Mundial de la Salud con autorización de la misma.

Esta publicación fue posible gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	11
COMITÉ DE BIOTECNOLOGÍA DE LA ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS	13
I. INTRODUCCIÓN	15
II. BIOTECNOLOGÍA, GENES, PROTEÍNAS Y ORGANISMOS TRANSGÉNICOS. ORÍGENES Y JUSTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EL USO DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS	23
III. EVIDENCIAS CIENTÍFICAS QUE SUSTENTAN EL BAJO RIESGO DE LOS TRANSGÉNICOS Y SUS PRODUCTOS, POR SER ORGANISMOS GENERADOS POR PROCESOS DE TRANSFERENCIA HORIZONTAL DE ADN QUE OCURREN COTIDIANAMENTE EN LA NATURALEZA	45
IV. USO Y APLICACIÓN RESPONSABLES DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS	79
IV.1. Consideraciones generales sobre el uso responsable del conocimiento científico y la biotecnología	79
IV.2. Acuerdos internacionales y regulación en México sobre el uso de los OGM	80
IV.3. Recomendaciones y consideraciones para el uso y la aplicación responsable de los organismos transgénicos	87
IV.4. Usos ilegales y cuestionables de ciertos OGM	96

V. CONSIDERACIONES FINALES	99
ANEXO 1: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXO 2: GLOSARIO	117
ANEXO 3: LISTADO DE HECHOS Y EVENTOS RELEVANTES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA Y EL USO DE LOS SERES VIVOS Y SUS PRODUCTOS PARA CONTENDER CON NUESTRAS NECESIDADES DE ALIMENTO Y SALUD	147
ANEXO 4: DOCUMENTO ELECTRÓNICO DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD: 20 PREGUNTAS SOBRE ALIMENTOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (GM)	153
EXTRACTOS CURRICULARES DE LOS AUTORES	163

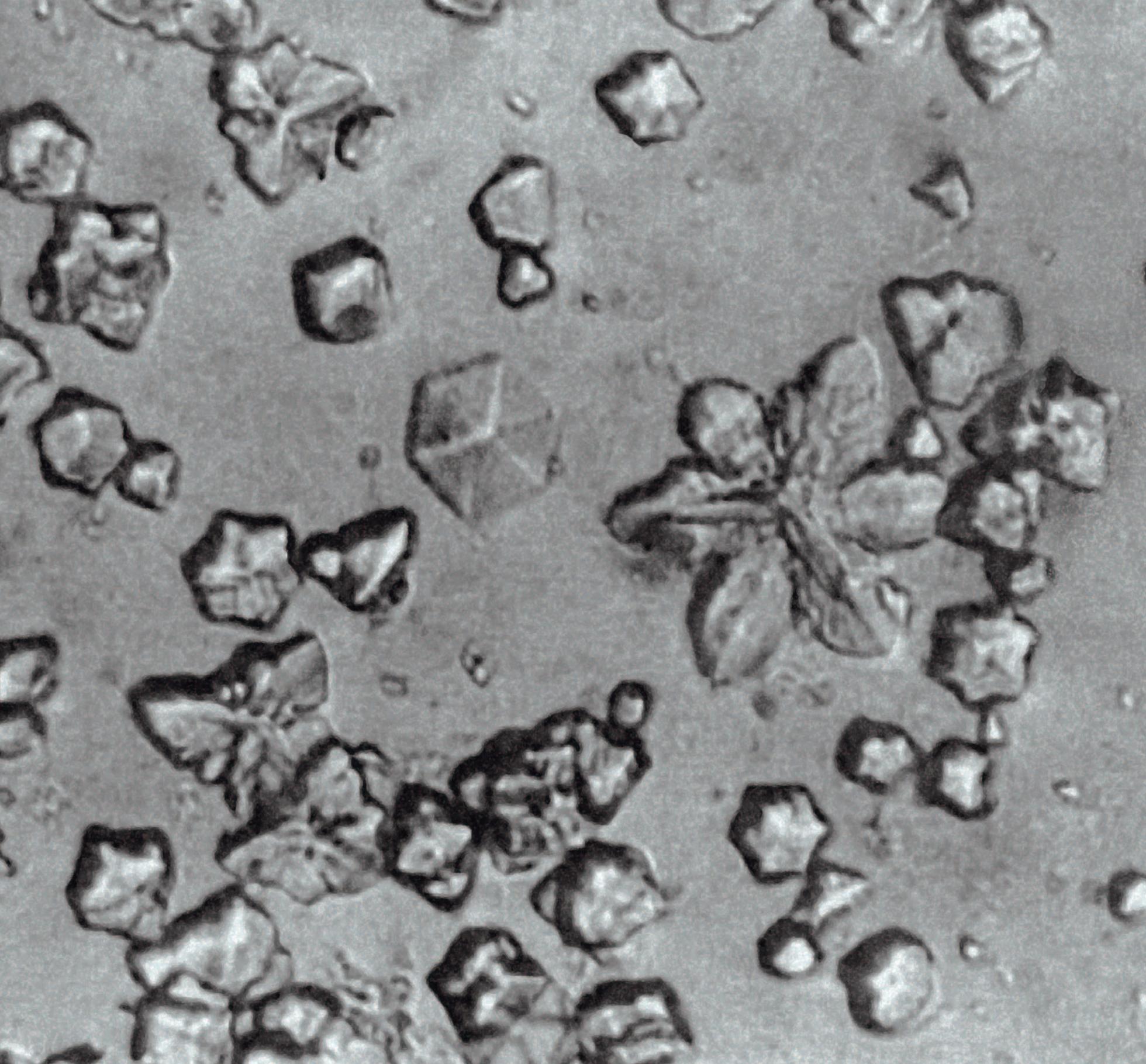
AGRADECIMIENTOS

El Comité de Biotecnología de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), agradece al Dr. Arturo Menchaca, presidente de la AMC, su interés, confianza y apoyo para la elaboración de este libro.

Asimismo, el Comité agradece el apoyo extraordinario y especial de Renata Villalba, coordinadora ejecutiva de la AMC, sin el cual no hubiera sido posible elaborar este documento.

Se reconoce también el apoyo del CONACYT a la AMC para la edición y publicación del libro.

El Comité agradece el apoyo de Manuel Sandoval, Nadia Piamonte, Paulina Bolívar y Elia Lechuga, quienes contribuyeron en la revisión de estilo, correcciones y estructura del texto. Asimismo, a Imelda Paredes por la elaboración de varias de las figuras del documento.



PRESENTACIÓN

La ciencia es una actividad humana intrínsecamente arraigada a su espíritu inquisitivo y es parte fundamental de la cultura de los pueblos. La ciencia busca generar conocimiento sobre el universo y la naturaleza, incluida la raza humana, para conocer y entendernos mejor. Hemos sido testigos de un avance extraordinario del conocimiento científico en las últimas décadas, que ha permitido de manera permanente profundizar la comprensión del universo, la naturaleza y la sociedad humana. Asimismo, este conocimiento científico es el sustento de la tecnología que se utiliza para contender con necesidades y problemas de la sociedad y del planeta. Se requiere de tecnología competitiva, responsable y sustentable para satisfacer muchas de las necesidades y problemas extraordinarios que enfrenta la humanidad y nuestra casa, el planeta Tierra.

La biotecnología es una actividad multidisciplinaria sustentada en el conocimiento de disciplinas más tradicionales, como la microbiología, la genética, la bioquímica, la ingeniería bioquímica, y de algunas más recien-

tes como la genómica y la bioinformática. A partir del conocimiento de la célula viva y su funcionamiento, mediante estas disciplinas, la biotecnología ha coadyuvado a satisfacer demandas en la solución de problemas relevantes en diversos sectores como el de la salud, el agropecuario, el industrial y el del medio ambiente.

Mediante las técnicas modernas de la ingeniería genética y de la genómica, es posible aislar o sintetizar genes de cualquier origen. Los genes son segmentos de las moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) que es el material genético de todos los seres vivos. Con estos genes es posible construir organismos genéticamente modificados (OGM) o transgénicos, con el propósito de desarrollar mejores sistemas biológicos y tecnología biológica respetuosa del medio ambiente, para la producción de medicamentos, alimentos y para la misma protección de nuestro hábitat.

En este libro, elaborado por el Comité de Biotecnología de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), integrado por 21 académicos expertos en diferentes

disciplinas —entre ellos siete premios nacionales de ciencias— se presentan las razones por las que se han desarrollado los OGM como una de las herramientas más importantes de la biotecnología moderna, para coadyuvar a la solución de diferentes problemas y demandas.

El documento presenta también un conjunto muy importante de evidencias científicas mediante las cuales este grupo de expertos sustenta que los transgénicos por ser organismos creados por procesos similares a los que ocurren cotidianamente en la naturaleza, son organismos con niveles de riesgo similares a los que existen en la biota.

Además, en el texto se presenta y analiza el marco jurídico que existe en México y que norma el uso responsable de los OGM. Este marco jurídico lo integran el Protocolo de Cartagena y la Ley de Bioseguridad de OGM.

El Comité de Biotecnología de la AMC señala que los OGM —así como sus productos— utilizados actualmente como alimentos o medicamentos, han sido sujetos a un número muy importante de análisis y evaluaciones que han demostrado que no generan daño a la salud humana o al medio ambiente. Se destaca el hecho de que la Organización Mundial de la Salud y las agencias gubernamentales responsables de la aprobación y uso de los OGM han señalado que los organismos transgénicos que se usan en la actualidad, no han generado daño y por ello se siguen utilizando en más de 50 países.

La AMC ha apoyado el trabajo de su Comité de Biotecnología, con el propósito de que la información científica que sustenta sus consideraciones se encuentre a disposición de la sociedad en general, y de los legisladores y profesionales de las Secretarías de Salud, Agricultura y Medio Ambiente, entre otras, con el fin de que las resoluciones que se tomen sobre el uso de OGM estén basadas en evidencia científica. Por estas razones este libro, así como otros textos relacionados, están disponibles en la página de la AMC, en su versión electrónica. La AMC agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el apoyo para la edición de este libro.

La biotecnología y los OGM usados responsablemente, representan una oportunidad y una herramienta muy poderosa para dar valor agregado a los productos de la biodiversidad mexicana, que es una de nuestras mayores riquezas, y para coadyuvar a resolver problemas globales y nacionales extraordinarios a los que nos enfrentamos en este siglo.

Arturo Menchaca Rocha

Presidente

Academia Mexicana de Ciencias

Francisco Gonzalo Bolívar Zapata

Coordinador

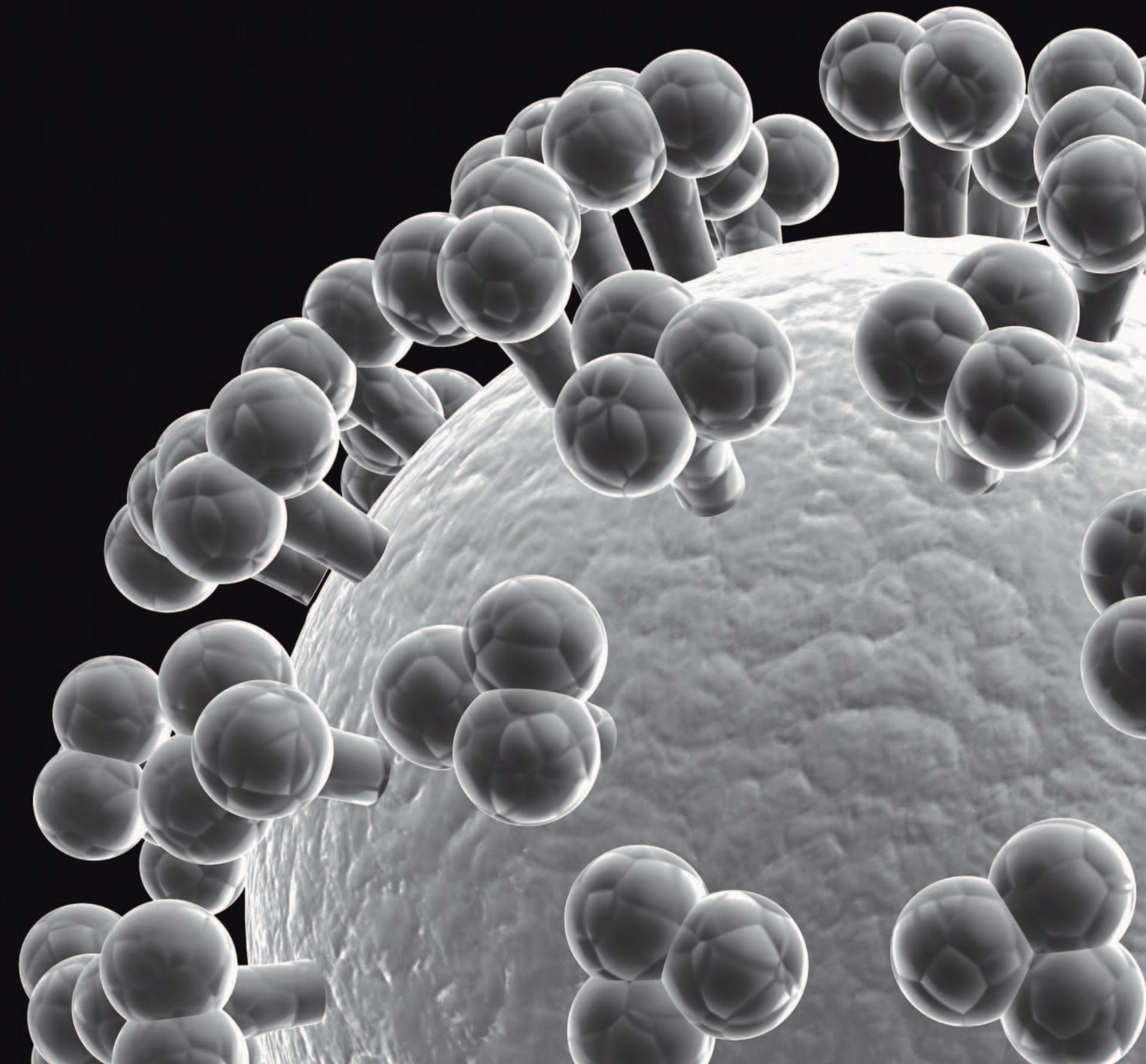
Comité de Biotecnología, AMC

COMITÉ DE BIOTECNOLOGÍA DE LA ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS

Dr. Francisco Gonzalo Bolívar Zapata (*coordinador*), Instituto de Biotecnología-UNAM.

Dr. Carlos Arias Ortiz, Instituto de Biotecnología, UNAM; M. en C. Elena Arriaga Arellano, Instituto de Biotecnología, UNAM; Dr. Hugo Barrera Saldaña, Universidad Autónoma de Nuevo León; Dra. Ma. Mayra de la Torre Martínez, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo; Lic. Jorge Espinosa Fernández, Grupo de Asesoría Estratégica; Dr. Enrique Galindo Fentanes, Instituto de Biotecnología, UNAM; Dra. Amanda Gálvez Mariscal, Facultad de Química, UNAM; Dr. Adolfo Gracia Gasca, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM; Dr. Luis Herrera Estrella, Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad, CINVESTAV-Irapuato;

Dr. Alfonso Larqué Saavedra, Centro de Investigación Científica de Yucatán; Dr. Agustín López-Munguía Canales, Instituto de Biotecnología, UNAM; Dr. Adalberto Noyola Robles, Instituto de Ingeniería, UNAM; Dr. Octavio Paredes López, CINVESTAV-Irapuato; Dr. Tonatiuh Ramírez Reivich, Instituto de Biotecnología, UNAM; Dr. Sergio Revah Moiseev, UAM-Cuajimalpa; Dr. Jorge Soberón Mainero, Universidad de Kansas; Dr. Xavier Soberón Mainero, Instituto Nacional de Medicina Genómica, Secretaría de Salud e Instituto de Biotecnología, UNAM; Dr. Irineo Torres Pacheco, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro; Ing. Jaime Uribe de la Mora, Probiomed SA de CV; y Dr. Gustavo Viniegra González, UAM-Iztapalapa.



I. INTRODUCCIÓN

Desde hace poco más de 25 años, el ser humano ha utilizado los organismos genéticamente modificados (OGM) o transgénicos, y los productos que de ellos se obtienen, para coadyuvar en la solución de diversos problemas existentes en sectores fundamentales para el bienestar de la humanidad, tales como el de la salud, el de la producción de alimentos y en la recuperación de ecosistemas contaminados.

Gracias a los OGM tenemos en las farmacias más de un centenar de nuevos medicamentos biológicos como la insulina —para el tratamiento de la diabetes— o el interferón —proteína que forma parte del sistema inmunitario— así como nuevas vacunas para la prevención y el tratamiento de enfermedades, y diferentes problemáticas clínicas.

Son muchas las variedades de plantas transgénicas que se consumen como alimento y que han permitido una reducción importante de las cantidades de pesticidas químicos que se utilizan para eliminar plagas, muchos de éstos carcinogénicos y recalcitrantes. Hoy, más de 134 millones de hectáreas se cultivan con plantas

transgénicas en 27 países y los organismos transgénicos y sus productos se consumen en más de 50 países hasta ahora por más de 300 millones de habitantes.

Aunque a la fecha no existen pruebas contundentes de daño a la salud humana por el uso y consumo de los organismos vivos o sus productos que hayan sido objeto de una modificación genética empleando estas nuevas herramientas, esta tecnología como cualquier otra, puede tener riesgos. Por ello, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), concertó e instrumentó a través de sus organismos, diferentes acuerdos, documentos y marcos jurídicos para el manejo responsable de los OGM. México firmó uno de esos documentos, el Protocolo de Cartagena, que establece el marco para el manejo transfronterizo de los OGM. Con base en este compromiso, el Senado de la República en el año 2000, elaboró una iniciativa de ley de bioseguridad para el manejo de los OGM que se convirtió en Ley en 2005, cuando las dos Cámaras del Congreso la aprobaron. Estos dos mandatos constituyen el marco jurídico que tenemos en México para el manejo de los OGM.



Figura I.1. Cultivo de soya transgénica. Esta característica permite a la planta la resistencia a plagas sin el uso de pesticidas químicos.

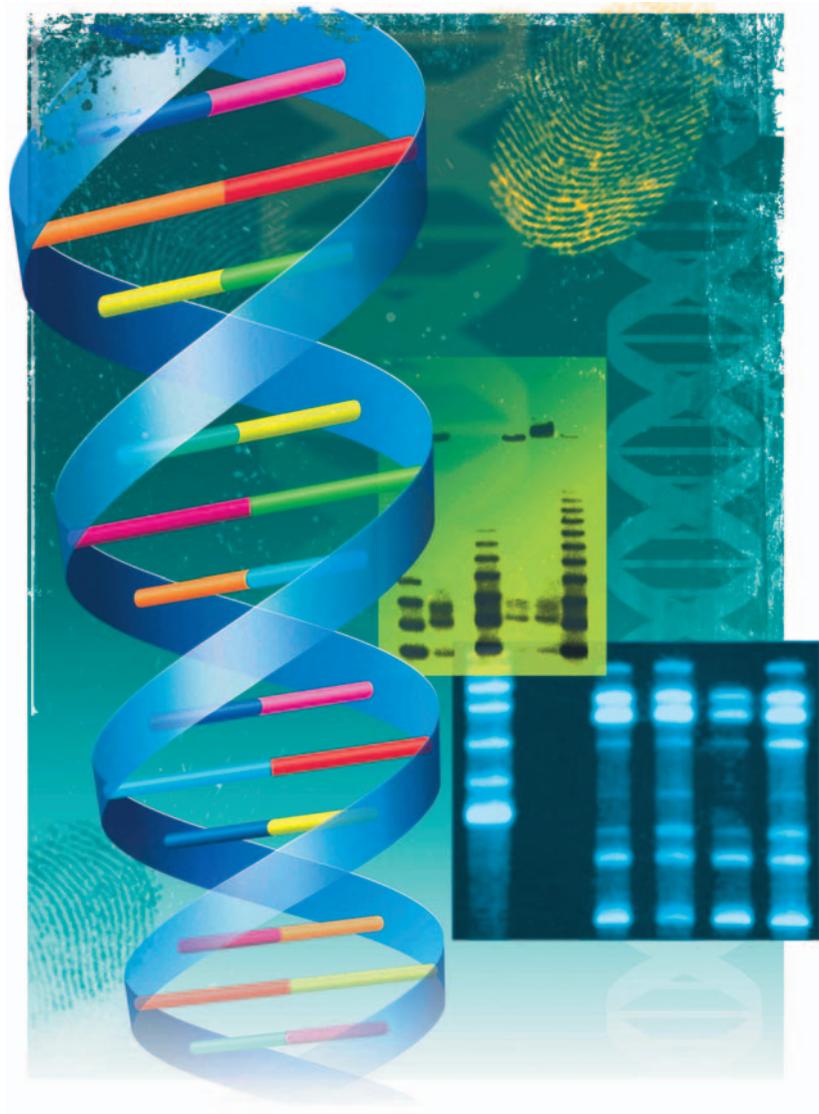


Figura 1.2. El ADN es la molécula en donde reside la información genética de todos los seres vivos. Las técnicas de ingeniería genética permiten sintetizar y aislar genes de cualquier origen y con estos genes es posible construir los organismos transgénicos.

La presente publicación fue elaborada por el Comité de Biotecnología de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), con varios propósitos.

El primero es explicar qué es la biotecnología moderna, cuál es la estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN) donde se localizan los genes, cómo se producen las proteínas a partir de los genes y cómo con la aparición de las técnicas de la ingeniería genética para manipular el ADN de las células vivas, ha sido posible modificar genéticamente diferentes organismos vivos dando lugar a los OGM o transgénicos.

El segundo es describir el impacto que han tenido los OGM en diferentes sectores para coadyuvar en la solución de diversos problemas de la sociedad moderna, relacionados con la salud, la alimentación, la industria y la contaminación del medio ambiente.

La publicación tiene también como objetivo presentar un vasto conjunto de evidencias publicadas que sustentan científicamente la consideración de que los OGM son creados por procesos similares a los que ocurren cotidianamente en la naturaleza y por ende son organismos con niveles de riesgo similares a los que existen en la biota. Las evidencias científicas —publicadas en revistas y libros— que sustentan los diferentes argumentos y consideraciones específicas presentadas y señaladas en cada sección particular de los diferentes capítulos, se enlistan al final de cada sección.

Finalmente, el Comité de Biotecnología de la AMC hace una serie de recomendaciones para un uso responsable de los OGM adicionales al marco jurídico, que en nuestro país está normado, como se ha señalado, por el Protocolo de Cartagena, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) y el reglamento de esta Ley.

Esta publicación incluye cuatro anexos: las referencias bibliográficas, el glosario, un listado de hechos y eventos relevantes relacionados con el desarrollo de la biotecnología y el documento “20 preguntas sobre los alimentos genéticamente modificados”, elaborado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En esta última publicación la OMS señala que los alimentos de origen transgénico que se utilizan a la fecha no han ocasionado daño alguno a la salud humana o al medio ambiente.

Independientemente de compartir la opinión de la OMS, el Comité de Biotecnología de la AMC asume que cualquier tecnología implica riesgos potenciales. Por ello, reitera su recomendación de que, de producirse evidencia científica sólida, contundente —sustentada de manera independiente por varios grupos de investigación— sobre posibles daños a la salud humana o al medio ambiente por el consumo de algún producto transgénico, las autoridades no deben autorizar la producción y consumo de ese producto transgénico en particular. Este ha sido el caso de plantas modificadas



Figura 1.3. Granos de maíz en los cuales han ocurrido transposiciones y rearrreglos de material genético de manera natural, que han dado lugar a los diferentes colores.

cuyo desarrollo se detuvo ante las sospechas de eventuales riesgos que las modificaciones pudieran ocasionar en la salud humana. Así sucedió con el maíz denominado Starlink en los Estados Unidos y con el caso de chícharos modificados en Australia. En ambos productos las nuevas proteínas transgénicas pretendían proteger a los cultivos de insectos pero tenían el riesgo de ocasionar alergias en consumidores sensibles, lo que ocasionó que no se autorizara su consumo y se retirara del mercado la variedad del Starlink. Algo similar ha ocurrido con ciertos fármacos en los que se ha demostrado daños a la salud humana por su uso, y las agencias gubernamentales responsables han retirado

del mercado (de las farmacias) estos medicamentos. En el caso de los productos de origen transgénico que se utilizan en medio centenar de países, sólo han sido retirados del mercado por las agencias responsables los casos mencionados.

Como lo establecen el Protocolo de Cartagena, la LBOGM y su Reglamento, es fundamental seguir realizando evaluaciones de los posibles riesgos actuales y potenciales de los OGM y sus productos, caso por caso, a fin de garantizar un uso responsable de estos organismos, en beneficio de la salud humana, de la biodiversidad y del medio ambiente.

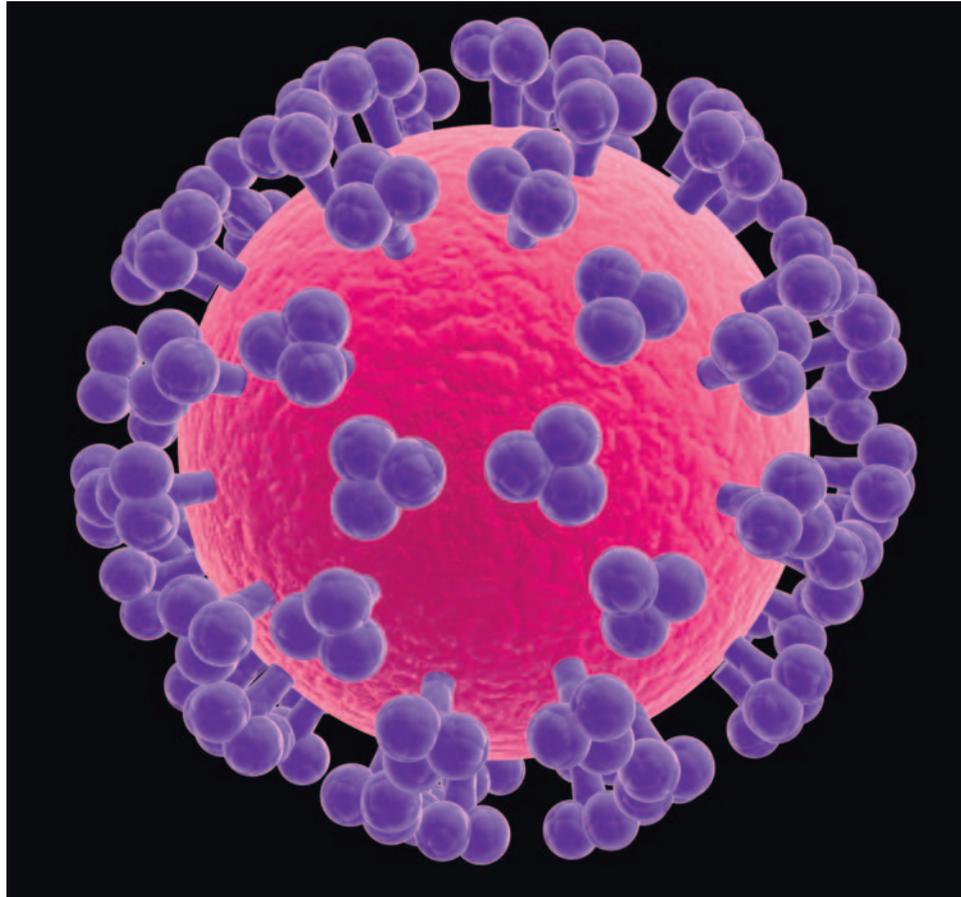
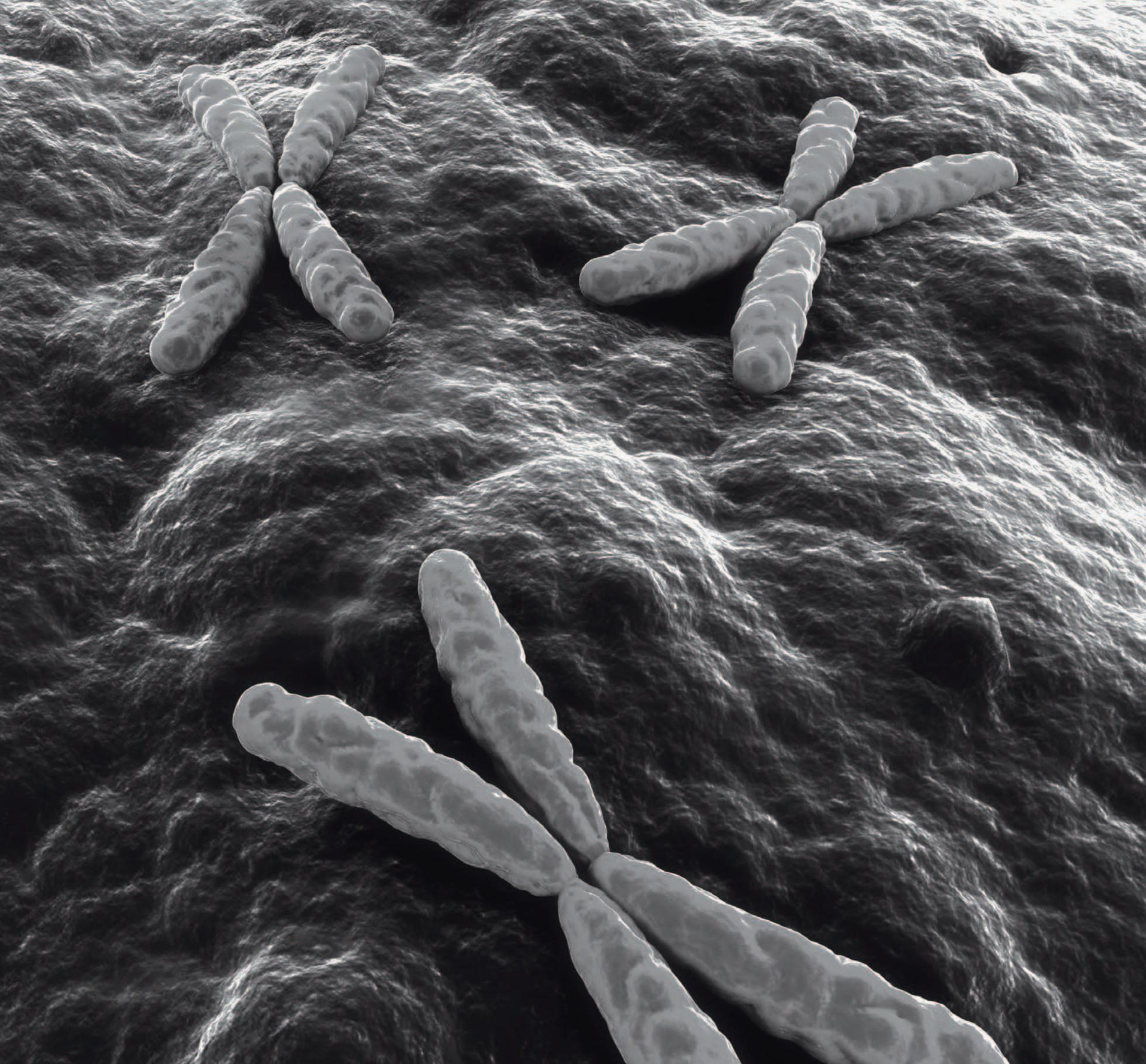


Figura 1.4. Virus VIH causante del SIDA. Los virus son vectores responsables de transferir material genético entre diferentes organismos.



II. BIOTECNOLOGÍA, GENES, PROTEÍNAS Y ORGANISMOS TRANSGÉNICOS. ORÍGENES Y JUSTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EL USO DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

Los humanos hemos utilizado a otros seres vivos para satisfacer nuestra necesidad de alimento, salud y vivienda, y en este proceso hemos dañado y abusado del planeta y de su biodiversidad. Además, muchos de los recursos naturales se agotan, la productividad agropecuaria es insuficiente y el explosivo crecimiento de la población mundial impone, año tras año, la necesidad de más alimentos y más medicamentos. De ahí la relevancia que tiene, y tendrá a futuro, el desarrollo de la biotecnología conjuntamente con otras tecnologías, como parte de una respuesta responsable a esta problemática.

La biotecnología es una multidisciplina cuyo sustento es el conocimiento generado en diversas disciplinas que permite el estudio integral, la modificación y la utilización de los seres vivos del planeta —microorganismos, plantas y animales— (ver figura II.1). A partir de lo anterior, la biotecnología busca hacer uso responsable y sustentable de la biodiversidad, mediante el desarrollo de tecnología eficaz, limpia y competitiva para facilitar la solución de problemas importantes en

materias de salud, producción agropecuaria e industrial y remediación al daño del medio ambiente.

En el anexo 3 se muestra un listado cronológico de los ejemplos más importantes del uso de los seres vivos mediante procesos biotecnológicos, con el fin de satisfacer nuestras necesidades de alimentación y salud. En ese anexo se incluyen también algunos de los acontecimientos científicos relevantes relacionados con la célula viva y la biotecnología (*Watson et al. 1996, Bolívar et al. 2002, 2003 y 2007, Hayden 2011, Bio 2011*).

- En 1953, James Watson y Francis Crick descubrieron la estructura de doble hélice del ADN que es la molécula biológica en la cual reside la información genética en todos los seres vivos. El ADN es una doble hélice formada por dos polímeros antiparalelos y complementarios (ver figura II.2). Cada uno de estos dos polímeros o hélices está a su vez integrado por la unión de millones de monómeros que son como las cuentas (monómeros) de un collar (polímero). Hay sólo cuatro

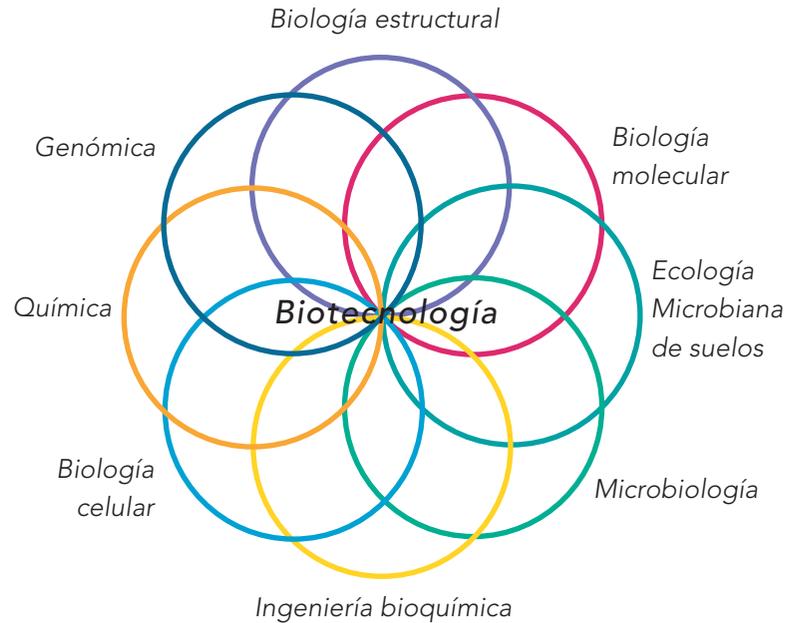


Figura II.1. La biotecnología es una actividad multidisciplinaria, ya que está sustentada en diversas disciplinas

tipos de monómeros o letras genéticas en el ADN de todos los seres vivos, los cuales son llamados nucleótidos y éstos se encuentran localizados a 3.4 \AA del siguiente monómero en el polímero que forma cada una de las dos hélices (un Å es la diezmillonésima parte de un metro). Además, en todo tipo de ADN, a un nucleótido con la base Adenina (A) le corresponde siempre, en el nucleótido de la hebra o hélice complementaria, uno con la base Timina (T) y a todo nucleótido con la base Guanina (G) corresponde un nucleótido con la base Citosina (C) en la hebra complementaria. Éstas son reglas universales para todos los ADN en

todos los seres vivos. La diferencia fundamental entre todos los ADN es la secuencia de estos cuatro tipos de nucleótidos con sus bases, A, T, G y C en cada letra de cada molécula de ADN, en las cuales hay varios millones de nucleótidos, de la misma manera en que sólo existen 27 letras en el alfabeto para formar todas las palabras, y es la secuencia diferente de estas letras en las palabras lo que da un significado distinto para cada una de ellas. La estructura de doble hélice permite su duplicación (replicación) y gracias a ello la transferencia de material genético replicado a las células hijas.

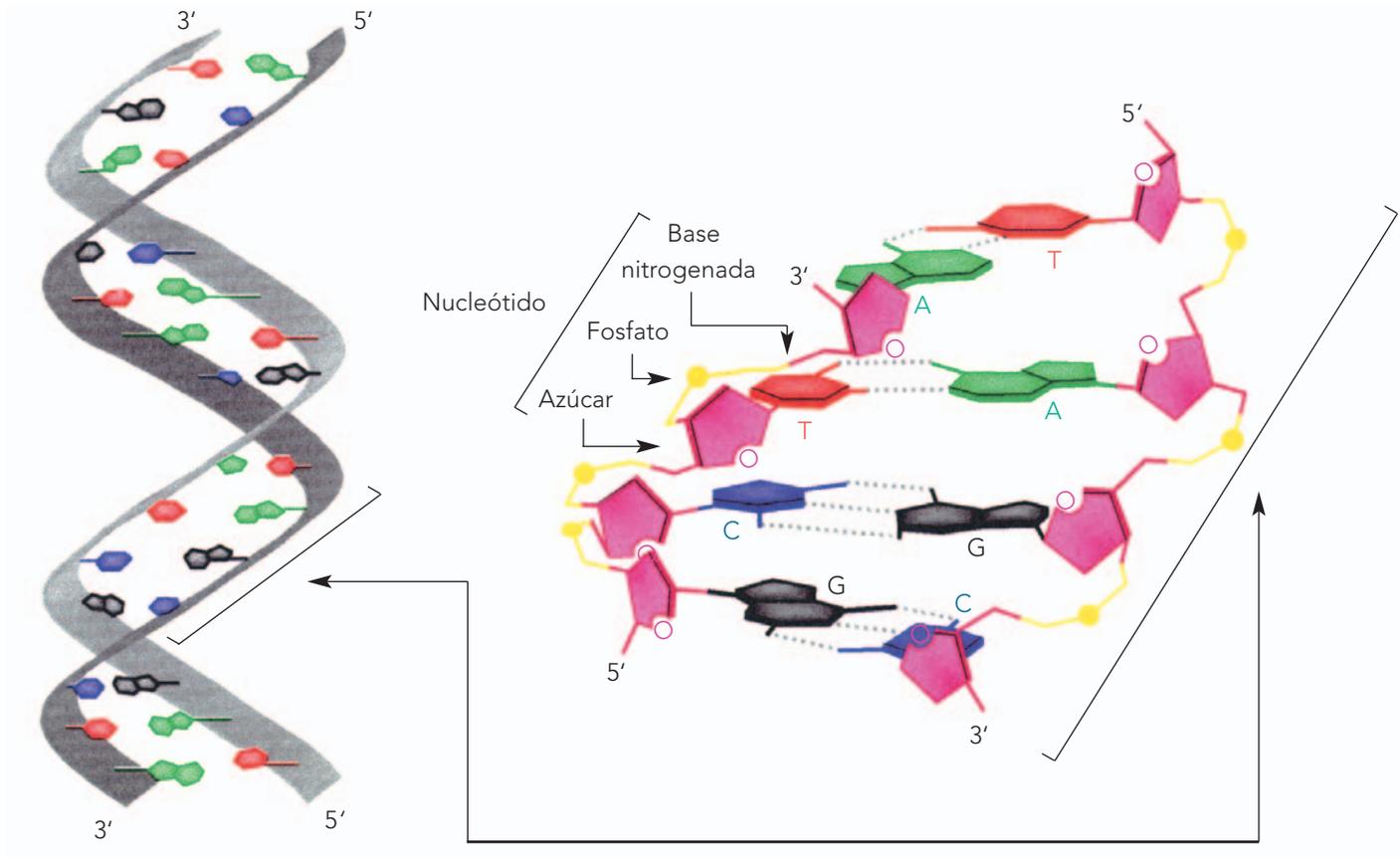


Figura II.2. Estructura del ADN integrado por dos hélices complementarias.

Cada una de estas dos hélices o hebras están integradas por cuatro tipos de nucleótidos (A,G,C,T). Cada nucleótido está formado por una azúcar desoxirribosa (en morado), un grupo fosfato (en amarillo) y una base púrica (G [en negro] o A [en verde]) o pirimídica (C [en azul] o T [en rojo]).

Su estructura de doble hélice que es la misma en todos los seres vivos, permite su replicación.

El ADN forma parte de los cromosomas que son estructuras que se localizan en el núcleo de las células y los genes son segmentos de las moléculas de ADN que forman parte de los cromosomas (ver figuras II.3 y II.4). La mayoría de ellos codifican para una proteína específica de ese gene y el resto de los genes codifican para moléculas de ácido ribonucleico (ARN) que no se

traducen, es decir, que su información no se convierte en proteínas (ver figuras II.5, II.6 y II.7).

La célula copia o transcribe la información de los genes en moléculas de ARN. Tal y como puede verse en la figura II.5, el fenómeno de la transcripción del ADN se lleva a cabo por la enzima ARN polimerasa, la cual separa las dos hebras del ADN y usando una de éstas como

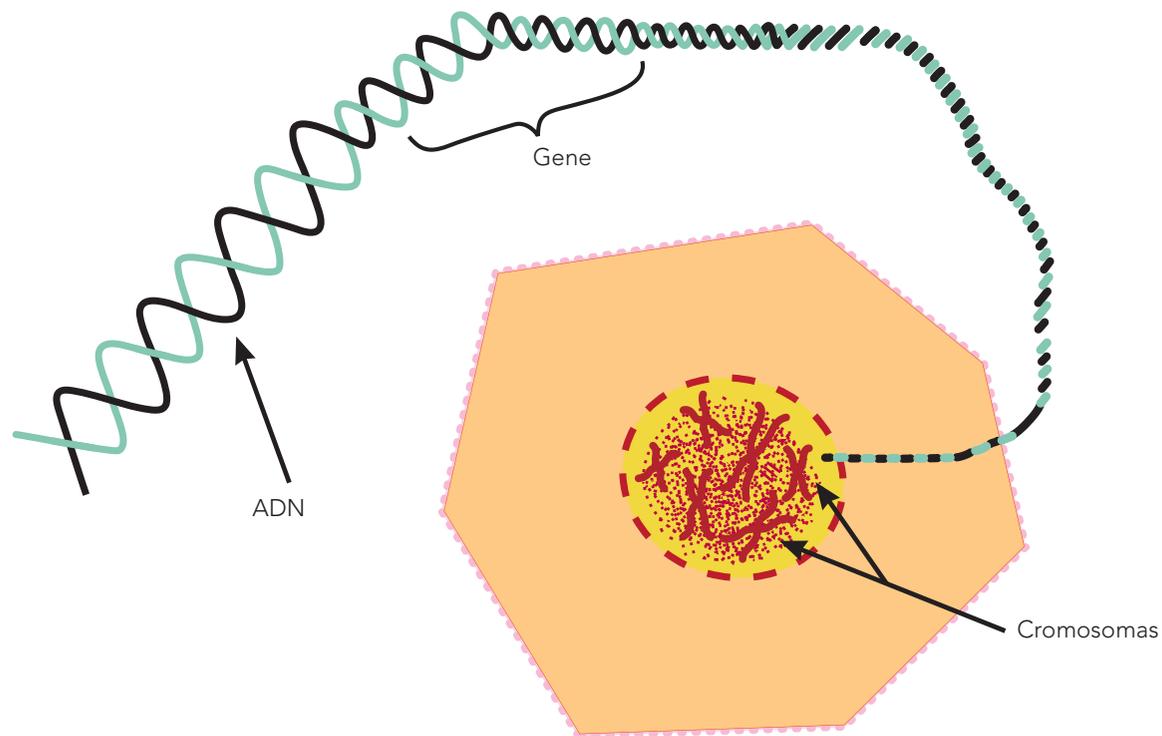


Figura II.3. Composición y organización de los genes en los cromosomas. Los cromosomas son estructuras celulares que se encuentran localizados en el núcleo de la célula y están formados por proteínas y ADN, y los genes son segmentos específicos de esta cinta genética llamada ADN. Cada especie de organismo vivo tiene un número específico y diferente de cromosomas con relación a los demás seres vivos.

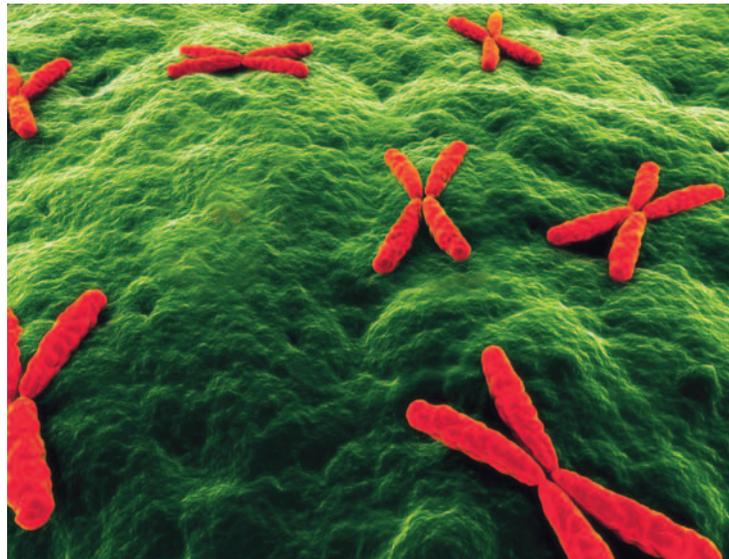


Figura II.4. Cromosomas en el proceso de replicación.

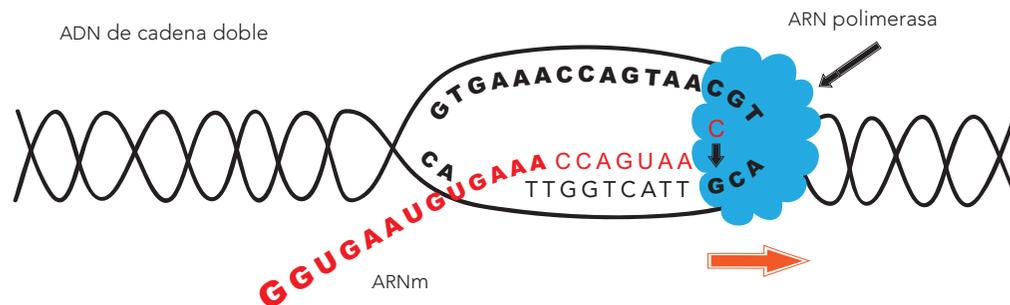


Figura II.5. El fenómeno de la transcripción del ADN permite la síntesis del ARN a partir de los genes.

molde se sintetizan las moléculas de ARN mensajero que en la figura se muestra como una cinta roja. Así se copian en ARN regiones específicas del ADN que incluyen los genes. Las moléculas de ARN son polímeros lineales de centenas de cuatro diferentes nucleótidos: A,G,

C y U, en donde la diferencia primaria con el ADN es que el uracilo (U) es utilizado en lugar de la timina (T) que se usa durante la síntesis del ADN. Las moléculas de ARN mensajero que llevan la información de los genes son las intermediarias en la síntesis de las proteínas.

Aminoácidos

Alanina	Ala	A	Leucina	Leu	L
Arginina	Arg	R	Lisina	Lys	K
Asparagina	Asn	N	Metionina	Met	M
Ac. aspártico	Asp	C	Prolina	Pro	P
Cisteína	Cys	D	Serina	Ser	S
Fenilalanina	Phe	F	Tirosina	Tyr	Y
Glicina	Gly	G	Treonina	Thr	T
Ac. glutámico	Gln	Q	Triptófano	Trp	W
Glutamina	Glu	E	Valina	Val	V
Histidina	His	H	Terminación		
Isoleucina	Ile	I	de la traducción	fin	

Nucleótidos

Guanina	G
Adenina	A
Timina	T
Citosina	C

NUCLEÓTIDO EN SEGUNDA POSICIÓN

		G	A	T	C		
NUCLEÓTIDO EN PRIMERA POSICIÓN	G	GGG } GGA } GGT } GGC }	GAG } GAA } GAT } GAC }	GTG } GTA } GTT } GTC }	GCG } GCA } GCT } GCC }	G A T C	NUCLEÓTIDO EN TERCERA POSICIÓN
	A	AGG } AGA } AGT } AGC }	AAG } AAA } AAT } AAC }	ATG } ATA } ATT } ATC }	ACG } ACA } ACT } ACC }	G A T C	
	T	TGG } TGA } TGT } TGC }	TAG } TAA } TAT } TAC }	TTG } TTA } TTT } TTC }	TCG } TCA } TCT } TCC }	G A T C	
	C	CGG } CGA } CGT } CGC }	CAG } CAA } CAT } CAC }	CTG } CTA } CTT } CTC }	CCG } CCA } CCT } CCC }	G A T C	

Figura II.6. El código genético es universal.

Su información es utilizada en los ribosomas para traducirse en proteínas (ver figura II.7).

Todos los seres vivos utilizamos el mismo código genético para convertir y traducir o leer la información codificada en ácidos nucleicos (ADN y ARN) en las secuencias de aminoácidos que constituyen las proteínas (ver figura II.6). El código genético es universal, es decir, es el mismo en todos los seres vivos y se utiliza de la misma forma en todas las células. Este código permite a la célula traducir en proteínas la información genética almacenada en los genes mediante la lectura en bloques de tres nucleótidos (tripletes o codones) de la información genética presente en el ARN mensajero. Las proteínas son polímeros o largos collares biológicos de centenas de aminoácidos en las cuales cada aminoácido (o cuenta del collar) es un monómero (ver figura II.7). Son 20 diferentes aminoácidos con los que cuenta la célula para integrar las más de cien mil proteínas del cuerpo humano. Se puede hacer una analogía entre las letras del alfabeto, que serían los aminoácidos, y las palabras que serían las proteínas; el orden de las letras es responsable del significado de las palabras, de la misma manera que el orden de los aminoácidos en la proteína es responsable de su significado o función biológica.

Cada uno de los 20 diferentes aminoácidos está codificado por un triplete o codón de tres nucleótidos a nivel del ARN mensajero. El ARN mensajero es pues, una molécula con información formada por una secuen-

cia de nucleótidos. Esta información es traducida o convertida en proteínas al ser leídos estos nucleótidos, de tres en tres, por los ribosomas tal y como se muestra en la figura II. 7.

En un código genético de cuatro letras (A,G,C,T) organizado en tripletes, existen 64 diferentes codones y la figura II.6 muestra estas 64 combinaciones. Puede observarse que existen aminoácidos codificados por seis diferentes tripletes como leucina (Leu) y aminoácidos como triptofano (Trp) que sólo está codificado por un triplete (TGG). Existe un codón ATG que codifica para la metionina que es el aminoácido con el que inician la mayor parte de las proteínas. Existen también tres codones TGA, TAA, TAG, que son tripletes que al leerse en los ribosomas son responsables de que finalice el proceso de traducción; esto es, se termina en este tipo de triplete la síntesis de una molécula de proteína y ésta se libera de los ribosomas (ver figura II.7).

Como se ha señalado, las proteínas son polímeros de 20 diferentes aminoácidos y son las herramientas biológicas moleculares que utiliza la célula viva para llevar a cabo la mayoría de sus funciones. Ejemplos de proteínas son la insulina, el colágeno y la tripsina, que son moléculas biológicas que llevan a cabo funciones específicas muy importantes en nuestro cuerpo.

Como puede verse en la figura II.7, la síntesis de las proteínas ocurre a nivel de los ribosomas. El ARN mensajero, que en la figura se muestra como una cinta

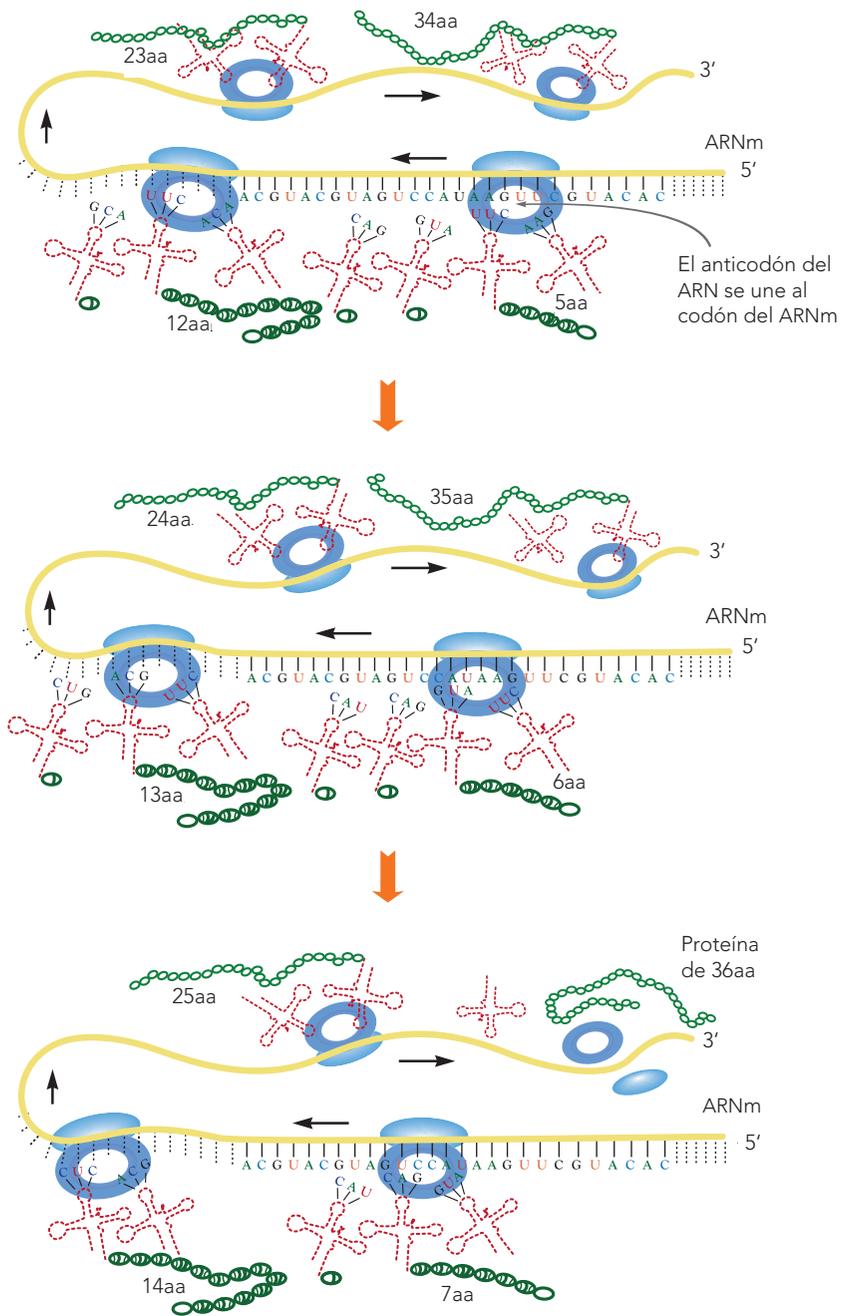


Figura II.7. Síntesis de proteínas: el ARN mensajero y su traducción en los ribosomas permite la síntesis de estos polímeros biológicos que son las proteínas.

amarilla, es el intermediario de la síntesis de proteínas (que se muestran como collares con cuentas verdes). El ARN mensajero al ser copia del ADN, lleva la información de los genes a los ribosomas, donde es traducida en proteínas. Las cadenas de aminoácidos o proteínas, son sintetizadas cuando los ribosomas (estructuras azules) se mueven leyendo, como una cabeza lectora de cintas, sobre las moléculas de ARN mensajero. Una sola molécula de ARN mensajero normalmente es utilizada para sintetizar varias moléculas de la misma proteína, al leerse simultáneamente por varios ribosomas, como los cuatro que se muestran en la figura y sintetizan cuatro cadenas de la misma proteína en este ejemplo.

Durante el proceso de lectura del ARN mensajero por los ribosomas, los codones del mensajero se asocian con los anticodones complementarios de los ARN de transferencia (estructuras rojas) que se encuentran "cargados" con los aminoácidos respectivos de acuerdo con el código genético (ver figura II.6). Inmediatamente después, ocurre un fenómeno de transferencia del aminoácido nuevo que llega y que así es incorporado a la cadena de proteína naciente, compuesta por varios aminoácidos previamente unidos entre sí. En la primera sección (superior) de la figura II.7, se muestra a los cuatro ribosomas en los cuales ya se ha iniciado la síntesis de las proteínas y se han formado cuatro pequeñas proteínas con 5, 12, 23 y 34 residuos de aminoácidos (aa) cada una, que se ven como cuentas ver-

des de los collares. En la segunda sección de la figura se muestra cómo ha ocurrido el crecimiento de los collares de aminoácidos en las proteínas; en todas ellas el tamaño del collar ha crecido en un aminoácido adicional (6, 13, 24 y 35aa). Finalmente, en la tercera sección de la figura, el proceso de crecimiento de la cadena ha permitido la incorporación de un aminoácido adicional en todas las cadenas de proteínas nacientes (7, 14, 25, 36aa). De esta manera se lleva a cabo la elongación o crecimiento de los polímeros o collares biológicos y con ello la síntesis de proteínas completas (en este ejemplo 36 aminoácidos), la cual se libera del ribosoma al terminarse la lectura del mensajero, tal y como se muestra en la última sección de la figura, liberándose también el ribosoma que participó en la lectura del ARN mensajero.

Los humanos somos organismos compuestos por varios trillones de células (pluricelulares) y tenemos alrededor de 21,000 genes en nuestros 23 pares de cromosomas en cada una de nuestras células. Tenemos alrededor de cien mil proteínas diferentes codificadas por estos genes para llevar a cabo la mayoría de nuestras funciones biológicas. Las bacterias, organismos compuestos por una sola célula (unicelulares) tienen un solo cromosoma con alrededor de 4,000 genes que codifican para 4,000 proteínas con las que viven y funcionan estos organismos (Avery et al. 1944, Watson y Crick 1953, Watson et al. 1988 y 1996, Bolívar 2007, Hayden 2011).

- En 1973, y debido a la aparición de las técnicas de la ingeniería genética, llamadas también de ADN recombinante (ADNr), la biotecnología alcanza una nueva dimensión. Gracias a estas metodologías, es posible aislar genes específicos de un organismo, amplificarlos e introducirlos (transferirlos) a otro, y generar así los organismos transgénicos u organismos genéticamente modificados (OGM).

En la figura II.8 se muestra un esquema general para la construcción de las plantas y animales transgénicos. El primer paso (A) es aislar o sintetizar químicamente el gene de cualquier origen —transgén— (excepto de la célula receptora), que se va a utilizar para construir el OGM. En la figura el ADN que lleva este transgén se muestra en color rojo. A través de diferentes procedimientos, como la

electroporación, la transformación o la biobalística, el fragmento de ADN heterólogo o transgene de cualquier origen, es introducido (B) a la célula receptora atravesando la membrana de la célula (C), y luego, la membrana del núcleo de la célula. Mediante este proceso, el transgene, ya en el interior del núcleo de la célula receptora (D) puede ser reconocido por la maquinaria celular para incorporarlo como parte de su material genético. Este proceso (E) ocurre mediante la recombinación genética entre el transgene y el ADN de un cromosoma de la célula receptora. Así, se incorpora el transgene como un nuevo segmento del ADN cromosomal, indistinguible del material genético de la célula. Posteriormente, mediante el proceso de multiplicación celular (F) que da origen a las

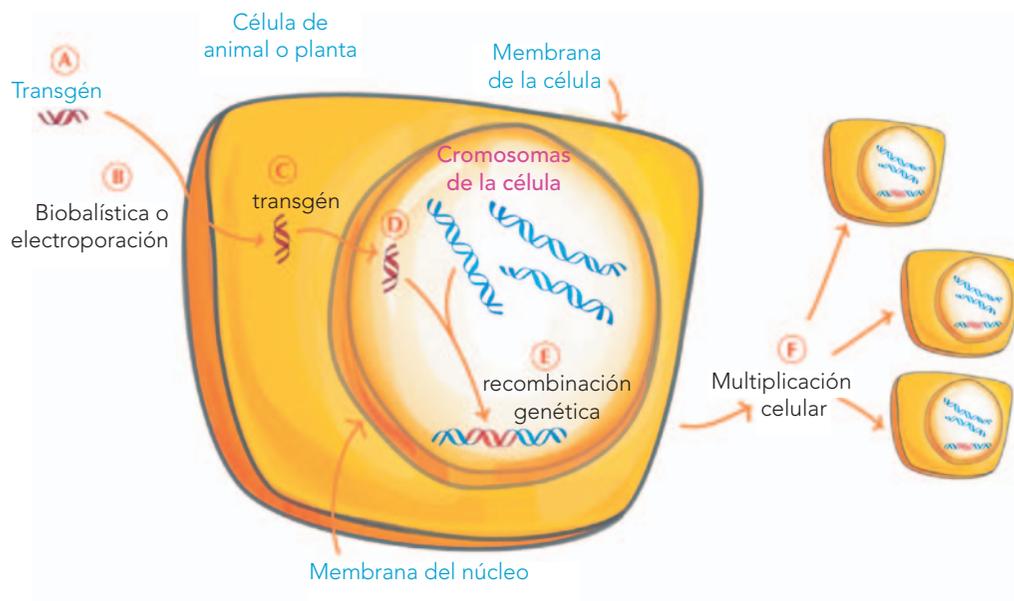


Figura II.8. Esquema general para la construcción de células de animales y de plantas transgénicas.

células hijas idénticas a la célula receptora original, se estabiliza y se transmite la presencia del transgene en la descendencia de la célula original. A partir de las células hijas se puede luego generar el organismo completo.

En la figura II.9 se muestra el procedimiento mayormente utilizado para crear bacterias transgénicas. En este caso, se utiliza un vector o plásmido —que es una molécula pequeña de ADN— para unirle o incorporarle

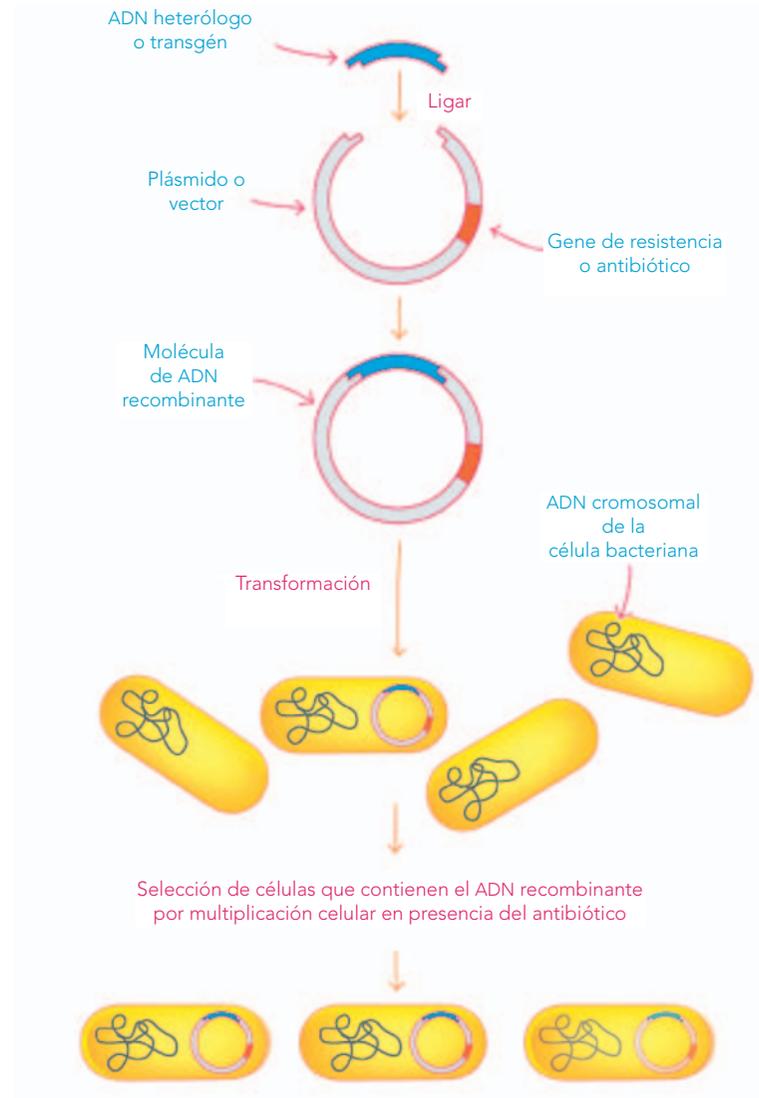


Figura II.9. Esquema general utilizado para construir bacterias transgénicas.

un fragmento de ADN de cualquier origen (transgén o ADN heterólogo) y formar así una molécula de ADN recombinante que lleva el transgene como parte de ella. El plásmido contiene también un gene que confiere resistencia a un antibiótico. Esta molécula de ADN recombinante —que lleva ADN del plásmido y ADN del transgene— puede ser luego incorporada a la célula receptora mediante el fenómeno de transformación. Posteriormente, las células que llevan esta molécula se seleccionan y crecen en presencia del antibiótico, gracias al gene de resistencia presente en el plásmido, dando lugar a un conjunto de células hijas donde todas ellas llevan el transgén como parte de la molécula recombinante (Kornberg 1960, Smith y Wilcox 1970, Jackson et al. 1972, Cohen et al. 1973, Sánchez et al. 1975, Heyneker et al. 1976, Bolívar et al. 1977 y 2007, Korana 1979, Goeddel et al. 1979, Itakura y Riggs 1980, Herrera-Estrella et al. 1983, Mullis y Falona 1987, Watson et al. 1988 y 1996, Tagahian y Nickoloff 1995, Lengeler et al. 1999, Yao et al. 2002, Prudhomme et al. 2006, Barrera 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007).

- Los organismos transgénicos se diseñan y construyen con el propósito de generar una nueva capacidad del organismo receptor, misma que reside en el material genético transferido o transgene (ver figura II.10). El objetivo de una biotecnología moderna sustentable es llevar a cabo modificaciones genéticas en diferentes

organismos de la biodiversidad que permitan construir OGM que coadyuven en la solución de problemas en diferentes sectores, con la certeza de que estos organismos son seres vivos que se crean por procesos que ocurren cotidianamente en la naturaleza. Por lo anterior, los OGM tienen un menor riesgo e impacto en el medio ambiente, en la biodiversidad y en la salud humana y animal que tecnologías basadas en productos de síntesis química ajenos al medio ambiente, algunos de ellos causantes de daño a la salud y de carácter recalcitrante (Itakura et al. 1977, Goeddel et al. 1979, Watson et al. 1988 y 1996, Estruch et al. 1999, Nuccio et al. 2000, Yao et al. 2000, Brink et al. 2000, Larrick y Thomas 2001, Daar et al. 2002, López-Munguía et al. 2002, Herrera-Estrella et al. 2002, Arias y Muñoz 2002, Barrera 2002, Noyola et al. 2002, Gracia 2002, Bosch 2002, Bolívar et al. 2002 y 2007, Purohit 2003, Sinagawa-García et al. 2004, Ollivier y Magot 2005, Barrera 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, López-Munguía 2007, Ramírez y Uribe 2007, Arias 2007, Osuna y Paredes 2007, Gracia 2007, Ayala-Rodríguez et al. 2009, James 2009, Gilbert 2010, Bio 2011).

- El primer objetivo que motivó la modificación de células para obtener transgénicos fue la producción de proteínas idénticas a las humanas, para contender con problemas de la salud, mismas que han sido comercializadas desde hace casi más de 30 años. Existen en las



Figura II.10. Los organismos transgénicos y sus productos se utilizan en la producción de alimentos, medicamentos y vestido.

farmacias de México y del mundo, medicamentos de origen transgénico, llamados también recombinantes como la insulina, la hormona del crecimiento, los interferones, los anticoagulantes de la sangre (plasminógeno), los anticuerpos humanizados, entre otros productos, que se utilizan para tratar y prevenir enfermedades, incluidas las genéticas y las infecciosas causadas por organismos patógenos como virus y bacterias (ver figuras II.11 y II.12). Estos nuevos productos biológicos se producen comercialmente con organismos transgénicos y a la fecha no hay reporte de daño a la salud humana

por el uso de estos medicamentos, ni ambientales por el manejo industrial de microorganismos de origen recombinante (ver figura II.13). Sin los OGM no sería posible atender las necesidades de la población enferma de diabetes, anemia, cáncer, entre otras muchas enfermedades, ya que el abasto estaría limitado, no sólo por la baja concentración de estas proteínas en la sangre y tejidos humanos, sino por la complejidad ética derivada de un mercado basado en materia prima de esta naturaleza. Más aún, los organismos transgénicos que producen estas proteínas idénticas a las humanas no pueden



Figura II.11. Productos para la salud a la venta en farmacias de México, basados en proteínas recombinantes de origen transgénico de la compañía mexicana Probiomed S.A.

Figura II.12. Cristales de insulina humana producidos por microorganismos transgénicos en el Instituto de Biotecnología de la UNAM.

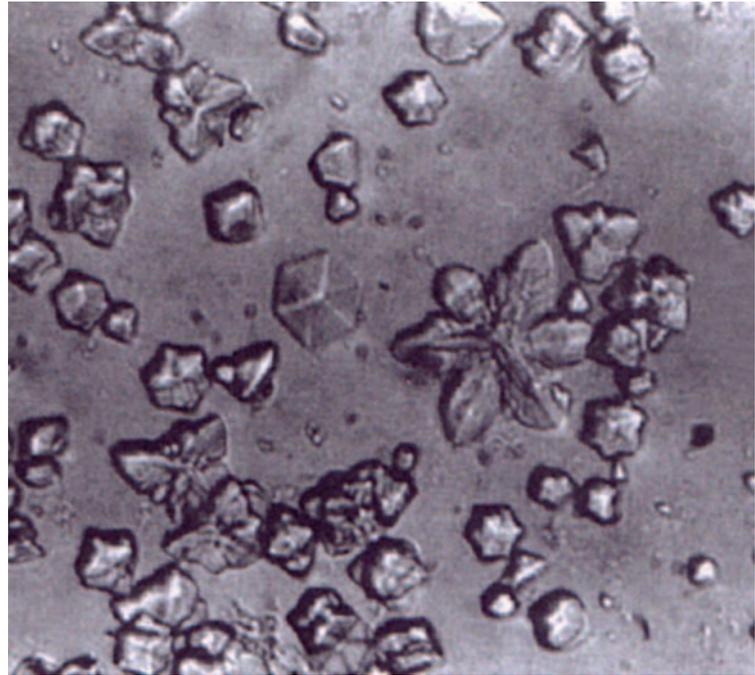


Figura II.13. Proceso para la producción de medicamentos biotecnológicos.





Figura II.14. Los organismos transgénicos y sus productos se utilizan en la producción de muchos alimentos como cerveza, quesos, leche deslactosada y jugos.

actualmente ser sustituidos por ninguna otra tecnología. Desde 1981, la utilización de estas proteínas idénticas a las humanas de origen transgénico como biomedicamentos, ha contribuido significativamente a mantener y mejorar la salud humana y a contender con enfermedades terribles, como la diabetes y el cáncer (Itakura et al. 1977, Goeddel et al. 1979, Pennica et al. 1983, Watson et al. 1988 y 1996, Copsey y Delnatte 1990, Winter y Milstein 1991, Brink et al. 2000, Arias y Muñoz 2002, Daar et al. 2002, Barrera 2007, Ramírez y Uribe 2007, Bolívar et al. 2007, Bio 2011).

- En la producción de alimentos el uso de proteínas de origen transgénico con actividad enzimática también ha tenido un impacto importante. Un ejemplo es la utilización de la quimosina recombinante en la producción de quesos (en Estados Unidos se utiliza para la elaboración de aproximadamente 70% de los quesos). Otras enzimas de origen transgénico, como las amilasas, son utilizadas en la hidrólisis de almidón; las pectinasas para la clarificación de jugos; las glucosa-oxidasas y catalasas para la deshidratación de huevo; las lipasas, para la maduración de quesos y la transformación de aceites; las glucosa-isomerasas para la producción de jarabes fructosados; las glucanasas, en producción de cerveza; las lactasas, para degradar la lactosa de la leche, entre las más importantes (ver figura 14). Asimismo, las proteasas recombinantes son utilizadas en la elaboración de

detergentes biodegradables. Si bien en la mayor parte de estos casos se emplean las proteínas de origen transgénico purificadas, existen aplicaciones, como la industria cervecera, en las que se emplea el microorganismo completo con una nueva actividad enzimática derivada de la modificación (Brink et al. 2000, Padilla y López-Munguía 2002, López-Munguía 2002, Kapuscinski et al. 2003, Por qué Biotecnología 2006, López-Munguía 2007, Barrera 2007, Bolívar et al. 2007, Bio 2011).

- Las plantas transgénicas se comercializan desde 1996. Quince años después las plantas que hoy se utilizan comercialmente no han ocasionado efectos nocivos a la salud humana o a la biodiversidad, más allá de los que ocasiona la agricultura en general. La aprobación de toda planta transgénica como alimento requiere de un protocolo de análisis para demostrar su inocuidad. Como lo establece el Protocolo de Cartagena y la LBOGM, la evaluación del riesgo debe considerar las características del OGM, en particular el nuevo gen y la proteína para la que codifica, el análisis de todos los productos del metabolismo, y por ende de la composición de la planta, así como los efectos no intencionales de la modificación. Entre otras pruebas, se requiere la demostración de inocuidad mediante pruebas con diferentes animales de experimentación, tanto de las proteínas de origen transgénico, como del alimento en su conjunto (en el que las proteínas constituyen una

cantidad mínima). Se reconoce que existen algunas publicaciones recientes en las que se señalan posibles efectos negativos y de toxicidad en animales por el consumo de algunos cultivos transgénicos. Sin embargo, dichas publicaciones no son concluyentes, ni han sido reproducidas por otros grupos de manera independiente. Por lo anterior, ni la OMS ni las varias agencias gubernamentales responsables en el mundo de la aprobación y manejo de los OGM en diferentes países, han considerado que los resultados publicados sobre estudios de toxicidad en algunos animales amerite retirar del mercado alguna de las plantas transgénicas que actualmente se consumen. Si eventualmente para algunos de ellos se demostrara de manera reiterada, concluyente e independientemente por varios grupos de investigación efecto de toxicidad, habría que retirar ese producto transgénico del mercado.

Es importante resaltar que el uso de los cultivos transgénicos ha permitido reducir la utilización de pesticidas químicos, muchos de los cuales son productos recalcitrantes, lo que se ha traducido en un menor impacto en el ambiente. Además, algunos de los pesticidas químicos tienen también efectos carcinogénicos. El maíz, el arroz y la soya transgénicos se consumen en muchos países, y cada vez es mayor el número de hectáreas que se cultivan con plantas transgénicas. En 1996 se sembraron 1.7 millones de hectáreas. Para 2007 se reportaron 114.3 millones de hectáreas y más de 134

millones en 2009, sembradas con diferentes variedades de OGM en 27 países. En la actualidad se cultivan nueve diferentes especies de plantas transgénicas: arroz, maíz, soya, canola, calabaza, papa, alfalfa, betabel y algodón (ver figura II.15) (Potrykus 1989, Struck et al. 1997, Nuccio et al. 1999, Yao et al. 2000, Herrera-Estrella et al. 2002, Noyola et al. 2002, Herrera-Estrella et al. 2003, Purohit 2003, Chen et al. 2003 y 2004, Rascón-Cruz et al. 2004, APBN 2004, Zhu et al. 2004, Hammond et al. 2004, Zhuo et al. 2004, Green et al. 2004, Rhee et al. 2005, Trigo y Capp 2006, OMS 2006, Valdez-Ortiz et al. 2007, Poulsen et al. 2007a y 2007b, Malley et al. 2007, Domingo 2007, Bolívar et al. 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Sakamoto et al. 2007 y 2008, Schroder et al. 2007, Seralini et al. 2007 y 2009, MacKenzie et al. 2007, McNaughton et al. 2008, He et al. 2008 y 2009, Healy et al. 2008, Delaney et al. 2008, James 2008 y 2009, CIBIOGEM 2008, Magaña-Gómez et al. 2008, Appenzeller et al. 2009a y 2009b, Mathesius et al. 2009, Ayala-Rodríguez et al. 2009, Domon et al. 2009, Herouet-Guicheney et al. 2009, Tutel'ian et al. 2009, Juberg et al. 2009, DeVendomois et al. 2009, Bio 2011, Domingo y Bordonaba 2011).

- Se ha estimado que para el año 2050 la población humana mundial crecerá de casi 7,000 millones de personas que somos actualmente a 9,000 millones, por lo que los problemas que habrá de enfrentar la humanidad serán cada vez más graves: pérdida de



Figura II.15. Diferentes plantas que se cultivan en sus variedades transgénicas: alfalfa, maíz, soya, canola y calabaza.

productividad agrícola; deterioro de los suelos; escasez de agua; agotamiento de las fuentes de energía; calentamiento global; contaminación; nuevas plagas y enfermedades; disminución de áreas verdes y pérdida de biodiversidad, entre otros (ver figura II.16). La biotecnología representa una herramienta poderosa que permite plantear escenarios diferentes para ayudar a contender con estas calamidades. Organismos con nuevas propiedades, como nuevas variedades de plantas transgénicas capaces de crecer con menores cantidades de agua, permitirán a los países que están desarrollando biotecnología, contender con varios de estos y otros problemas locales y mundiales. La implementación de una reglamentación adecuada ayudará a orien-

tar el desarrollo de OGM hacia aquellos que resuelvan la problemática de cada país, con un menor impacto ambiental y con un uso adecuado y sustentable de sus recursos naturales. Bloquear la biotecnología, y en particular en México que es un país megadiverso, aislaría a la nación de una oportunidad que presentan la ciencia y la tecnología biológica para coadyuvar a corregir el rumbo (*Estruch et al. 1997, The Biotech Revolution 1998, Nuccio et al. 1999, Yao et al. 2000, Larrick y Thomas 2001, Potrykus 2001, Herrera-Estrella et al. 2002, López-Munguía et al. 2002, Noyola et al. 2002, Barrera 2002, Bolívar et al. 2002 y 2007, Rascón-Cruz et al 2004, Green et al. 2004, Ollivier y Magot 2005, James 2009, Tang et al 2009, Gilbert 2010, Bio 2011*).



a



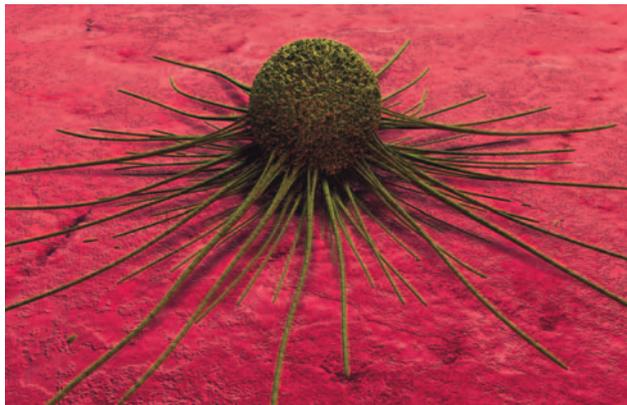
b



c

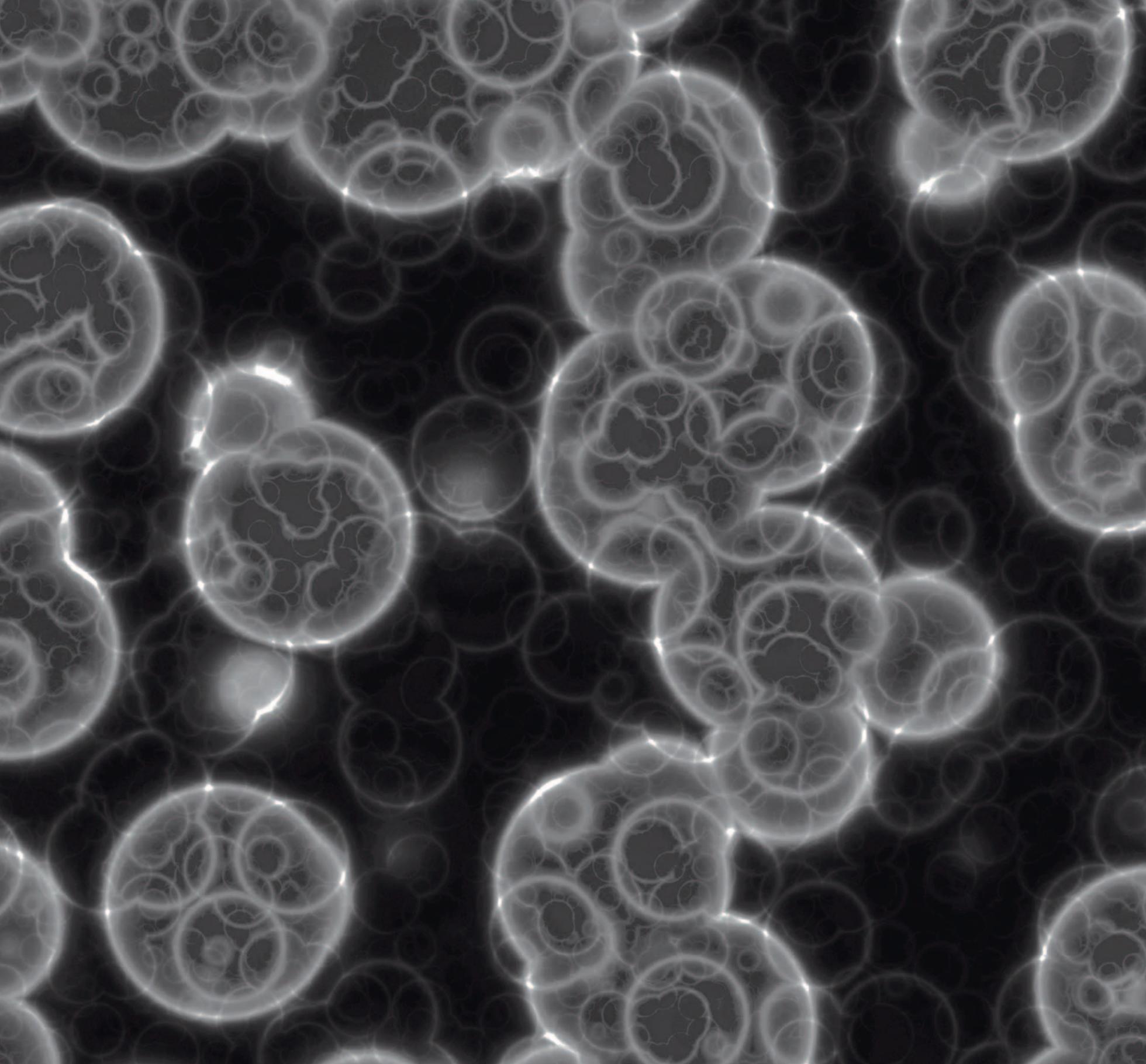


d



e

Figura Il.16. Problemas relevantes:
a) y b) plagas en cultivos de papa y jitomate, c) gusano en granos de maíz, d) contaminación de ecosistemas y e) célula cancerosa.



III. EVIDENCIAS CIENTÍFICAS QUE SUSTENTAN EL BAJO RIESGO DE LOS TRANSGÉNICOS Y SUS PRODUCTOS, POR SER ORGANISMOS GENERADOS POR PROCESOS DE TRANSFERENCIA HORIZONTAL DE ADN QUE OCURREN COTIDIANAMENTE EN LA NATURALEZA

Existe evidencia científica sólida en las que se soporta la inocuidad y ausencia de daño a la salud humana y a la biodiversidad de los transgénicos utilizados hoy en día y las razones para considerarlos, además, como la alternativa tecnológica más natural y de menor riesgo e impacto al medio ambiente.

La información y las consideraciones que se presentan a continuación aportan elementos relevantes sobre el bajo riesgo del uso de los OGM por ser organismos creados por procesos de transferencia horizontal de ADN y reorganización del genoma, eventos que ocurren cotidianamente en la naturaleza al margen de los organismos transgénicos. Lo anterior, en virtud de que el ADN de todos los seres vivos y el de los virus tiene la misma estructura general, y eso permite la recombinación de materiales genéticos de diferentes orígenes en el interior de las células de manera natural. Esta información, que está sustentada científicamente, es necesaria para la evaluación de los transgénicos que se pretendan utilizar.

- La teoría de la evolución de Charles Darwin señala que todos los seres vivos provenimos de un mismo precursor común (ver figura III.1). Esta propuesta ha sido fortalecida y consolidada con muchas evidencias científicas a lo largo de los años y entre ellas la generada a partir de la determinación de las secuencias nucleotídicas (secuenciación) de los genomas de diferentes organismos —incluido el humano— que han permitido demostrar que todos los seres vivos compartimos material genético, incluidos muchos genes. De hecho, el genoma de la raza humana es similar en 98% al del chimpancé, 90% al del ratón, 40% al de la mosca, 30% al de las plantas y 20% al de la levadura (ver figura III.2). También tenemos como parte de nuestro ADN genes de origen bacteriano, incluidos los localizados en las mitocondrias que son organelos de nuestras células.

Son ya tantas y tan contundentes las evidencias que sustentan la teoría de la evolución de las especies que para muchos investigadores, y entre ellos Richard Dawkins, la evolución es ya un hecho y no una teoría, que ha ocurrido y ocurre de la misma manera que son



Figura III.1. Evolución de las especies. La evidencia señala que todos los seres vivos derivan de un precursor biológico común.

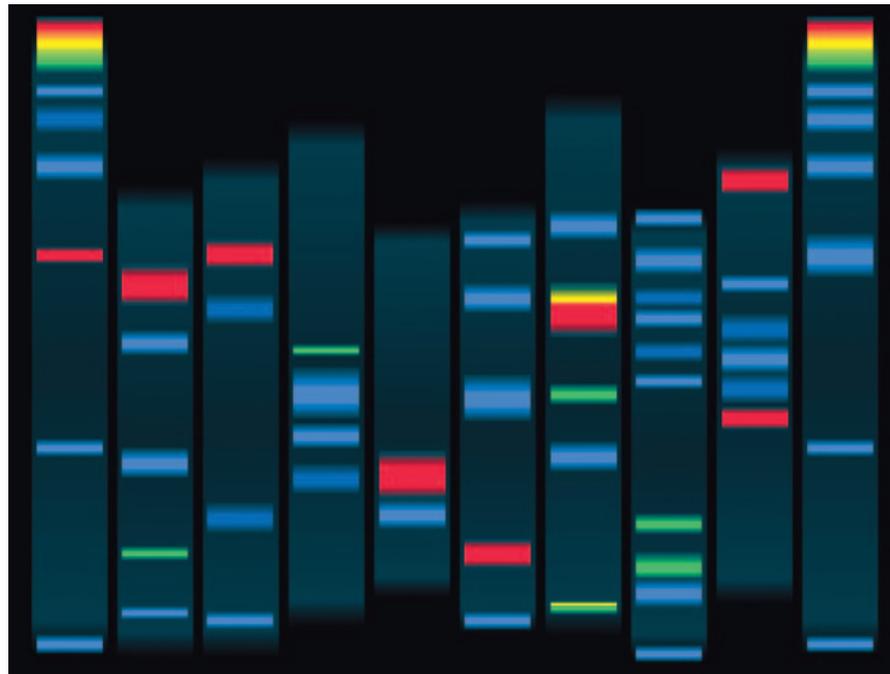


Figura III.2. Técnica para determinar la secuencia de nucleótidos que conforman el ADN en los genomas de los seres vivos.



Figura III.3. Estructura bidimensional del ADN. El material genético tiene la misma estructura general en todos los seres vivos y también en los virus.

hechos el que la Tierra gira alrededor del Sol y las plantas fijan la energía de los rayos del Sol. Además conforme a la teoría de la selección natural y a otras evidencias de asociación entre organismos, hoy podemos entender la evolución como un proceso de evolución adaptativa, que tiene como resultado generar organismos mejor capacitados (*Darwin y Wallace 1859, Darwin 1859, Johanson y Edey 1981, Watson et al. 1988 y 1996, Brown 1999, Andersson et al. 2001, Venter et al. 2001, Young y Deis 2004, Herrel et al. 2004, Margulis y Sagan 2005, Carroll 2006, Bolívar 2007, Bolívar et al. 2007, Dawkins 2009, Coyne 2009, Hayden 2011*).

- Con excepción de los virus de ARN, el material genético constituido por ADN tiene la misma estructura general tanto en los virus, como en todos los seres vivos, sean éstos bacterias (organismos procariones que no tienen núcleo) o plantas y animales (organismos eucariotes), que tienen un núcleo en sus células donde reside el ADN en los cromosomas (ver figuras III.3 y III.4).

La estructura universal del ADN hace posible, de manera natural, transferir, incorporar, estabilizar y recombinar genes de un organismo con material genético de otros. La célula viva reconoce el material genético de otro origen que puede adquirir por diferentes vías —infección viral o transferencia horizontal— y en muchos casos lo incorpora, lo duplica y lo utiliza como propio y como parte de su genoma después de un fenómeno de recombinación genética que reorganiza el genoma (*Avery et al. 1944, Watson y Crick 1953, Watson et al. 1988 y 1996, Brown 1999, Margulis y Sagan 2005, Bolívar et al. 2007*).

- La transferencia horizontal de material genético es un fenómeno que ocurre diariamente en la naturaleza en todas las especies de los seres vivos, siendo los virus los principales responsables de este fenómeno.

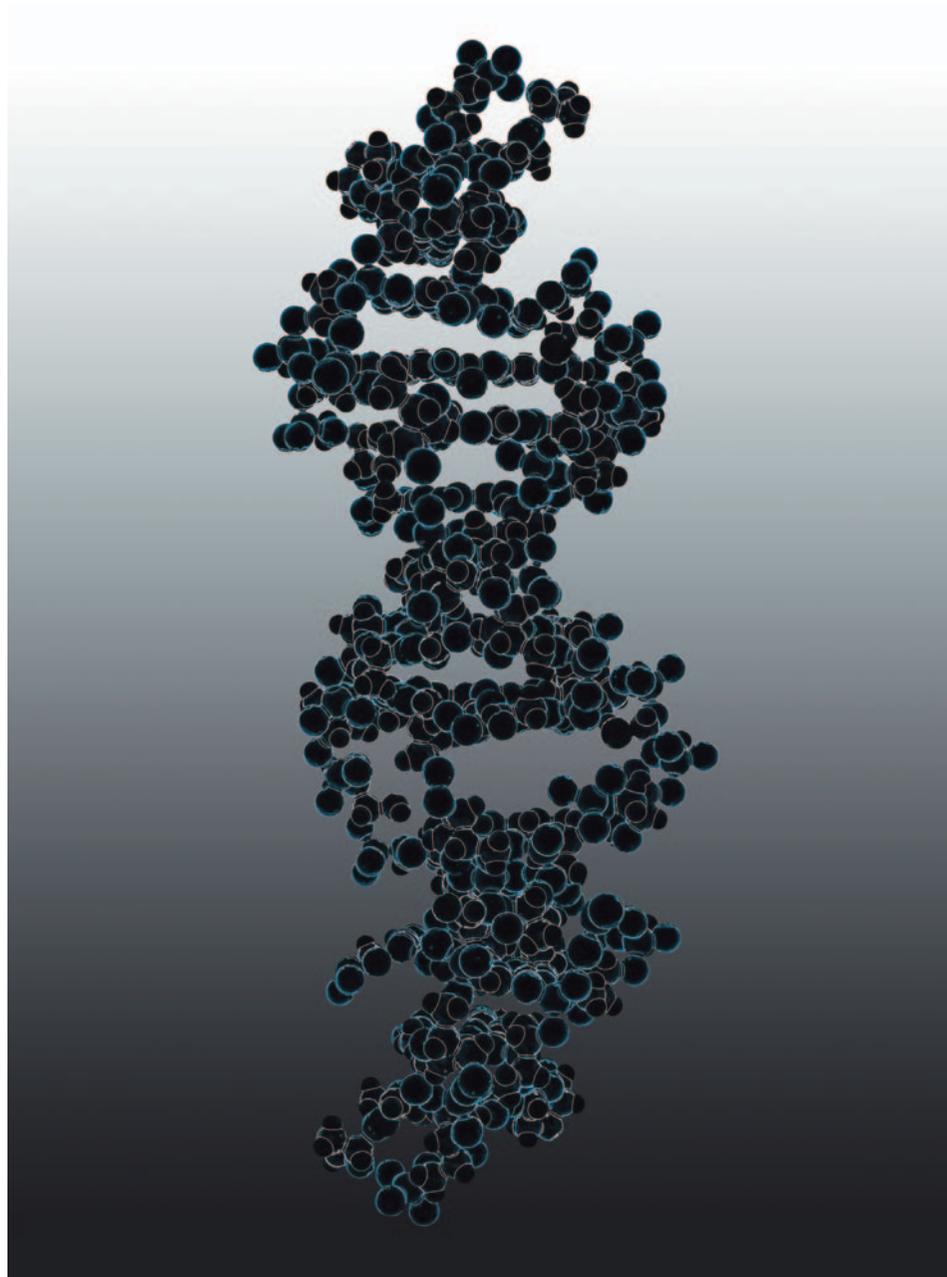


Figura III.4. Estructura tridimensional del ADN.

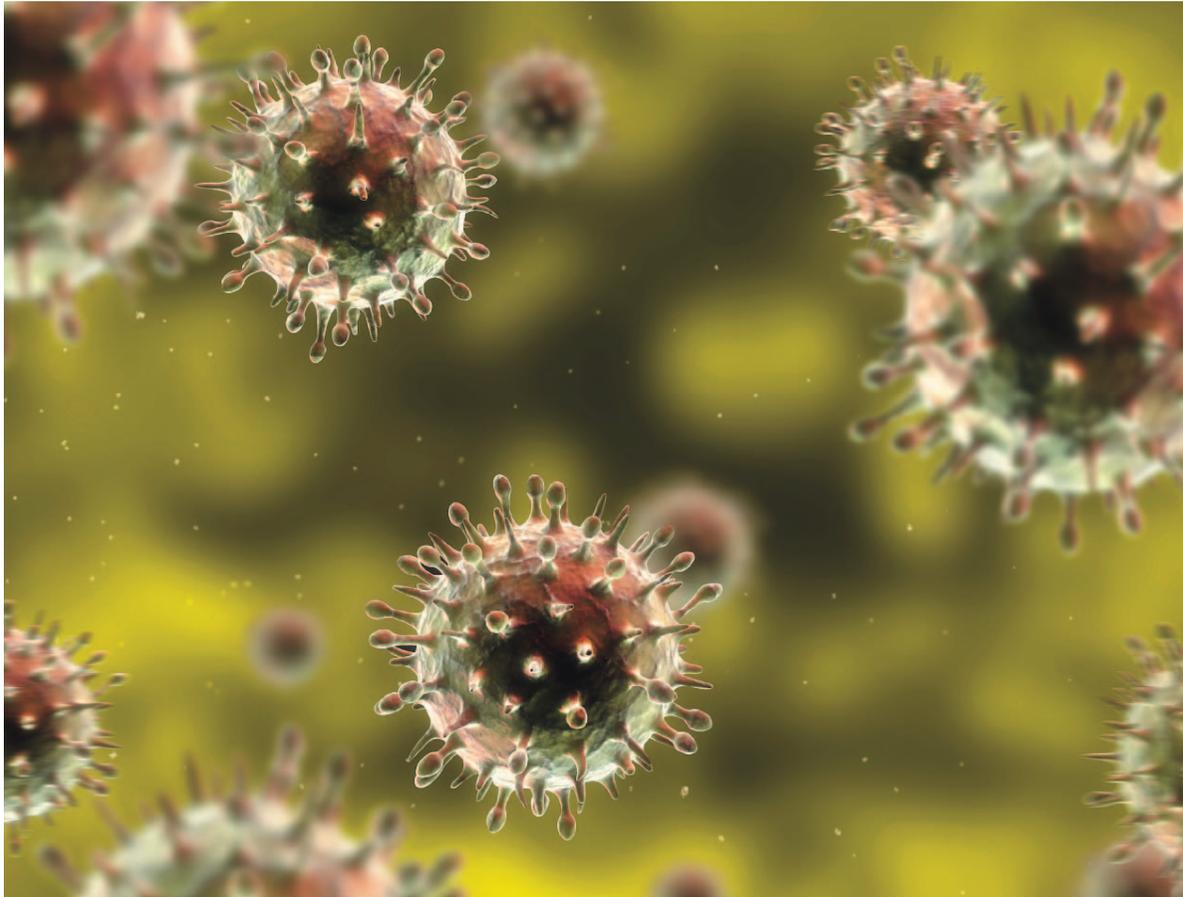


Figura III.5. Virus de la influenza.

Cuando un virus (ver figura III.5) infecta a una célula, su material genético propio (viral) se incorpora al interior de la célula y de esta manera ocurre el fenómeno de transferencia horizontal del ADN viral a la célula infectada (ver figura III.6). Al llevarse a cabo la inyección de este material genético viral a la célula, existen varias alternativas respecto de lo que ocurrirá al material genético proveniente del virus, dependiendo del tipo de virus que se trate. La más común es que el material genético viral se apodere de la maquinaria de la célula infectada utilizándola para copiar muchas veces el genoma del virus. A partir de este proceso se sintetizan las proteínas que forman parte de las partículas virales que se generan, es decir, de los nuevos virus. Posteriormente, la célula es destruida y se expulsan múltiples copias del virus recién formadas. Un ejemplo de este tipo de virus es el la influenza A(H1N1) que tiene ARN como material genético y que además se ha demostrado que es capaz de infectar al menos a tres huéspedes animales: los humanos, los porcinos y las aves (gripe aviar).

Este fenómeno de zoonosis pareciera ocurrir mucho más frecuentemente de lo que imaginamos y podemos detectar, dada la capacidad de los virus de infectar diferentes organismos. Además, diferentes animales pueden ser infectados también simultáneamente por diversos virus provenientes de varios orígenes. Este tipo de fenómeno incrementa la frecuencia de nuevos

rearrreglos y recombinaciones del material genético de los virus, como ocurre con el virus de la influenza.

Otro tipo de virus que infectan las bacterias, llamados transductantes, son capaces de generar al mismo tiempo, nuevos virus y partículas llamadas pseudovirales, que incluyen ADN de la bacteria infectada, en vez de material genético del virus. Así, mediante estas partículas que son funcionales ya que pueden infectar a otras bacterias, se transfiere horizontalmente material genético bacteriano que llevan estas pseudopartículas virales a otras bacterias.

Otros tipos de virus que existen tanto en las bacterias como en células de animales y plantas, son aquellos capaces de incorporar sus genomas como parte del material genético de las células infectadas. En el caso de las bacterias, a este tipo de virus se les conoce como lisogénicos y pueden incorporar su genoma de ADN viral en diferentes sitios o *locus* del cromosoma bacteriano. En el caso de los organismos eucariotes como plantas y animales, existen virus llamados retrovirus, como el VIH-SIDA, cuyo genoma está constituido por ARN y que es capaz, después de infectar a la célula receptora, de transcribir (copiar) su genoma de ARN en ADN —mediante el proceso de transcripción reversa— y posteriormente integrar una copia de su genoma de ADN en diferentes sitios de los cromosomas de las células eucariotes infectadas, mediante el proceso de recombinación genética (ver figura III.7). En ambos

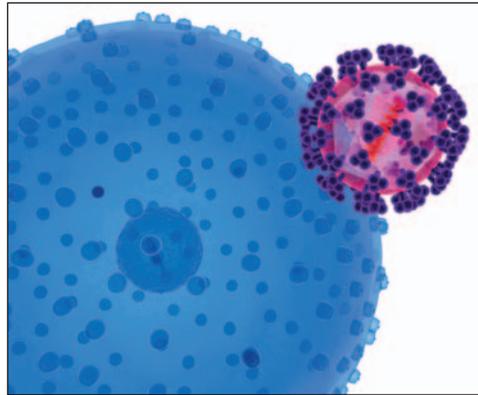


Figura III.6. Esquema de un retrovirus infectando a una célula.

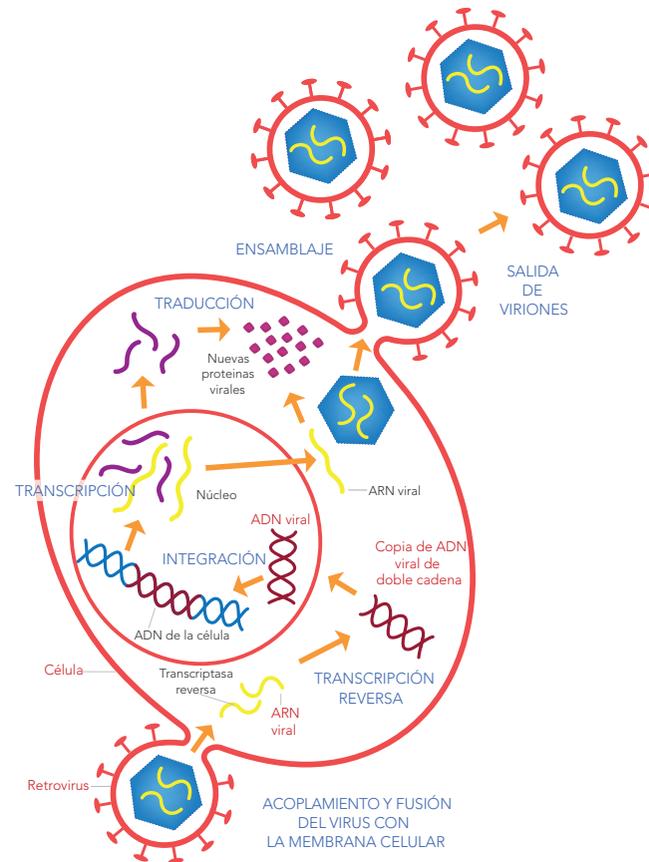


Figura III.7. Esquema de la infección viral por un retrovirus a una célula eucariote, mediante el cual el ARN viral se copia en ADN que luego se integra en el ADN de algún cromosoma de la célula infectada.

casos, tanto en bacterias (procariotes) como en células de animales y plantas (eucariotes) estos virus (lisogénicos y retrovirales), tienen la capacidad de reorganizar y modificar el genoma de las células infectadas. Finalmente, evidencia reciente señala que otro tipo de virus diferentes a los retrovirus como los bornavirus y los ebolavirus, pudieran estar también capacitados para modificar el genoma animal.

De esta forma y mediante procesos naturales, los seres vivos incrementan, modifican y reorganizan sus genomas en las células infectadas por virus. Cada día se acumula más evidencia que indica que este fenómeno de transferencia horizontal por infección viral ha jugado un papel importante —conjuntamente con otros mecanismos como se verá más adelante— en la evolución de las especies y en la estructuración y reorganización de los genomas. Como se ha señalado, la razón de lo anterior es que el ADN —que llega a la célula a través de la infección viral— tiene la misma estructura, tanto en los organismos vivos como en el caso de los virus lisogénicos en las bacterias así como el que se genera por el proceso de transcripción reversa del material genético de los retrovirus que tienen ARN como genoma. Por ello, las células pueden recombinar y reorganizar su propio ADN con el genoma de origen viral y con el de cualquier otro origen.

El fenómeno de la transferencia horizontal de material genético ocurre permanentemente en el reino

microbiano, donde las bacterias reciben e incorporan material genético que incluye a los plásmidos, gracias al llamado “fenómeno de transformación”. Este mecanismo permite que material genético heterólogo pueda transportarse a través de las membranas de las células y estabilizarse.

Normalmente, para estabilizarse, el ADN de otro origen se incorpora como parte del genoma de la célula receptora mediante el fenómeno de recombinación genética. Este material genético puede provenir de cualquiera de los diferentes organismos que habitan el suelo, incluidos los que mueren. De hecho, se sabe que la bacteria *S. pneumoniae* —causante de neumonía— al ser sometida a tratamiento con antibióticos sufre un estrés, que a su vez induce un incremento en su capacidad de transformación por ADN (ver figura III.8). Probablemente, a través de este fenómeno, incrementa su capacidad para adquirir genes de otros organismos, como aquellos relacionados con la resistencia a los antibióticos que producen otros microorganismos. Esta información claramente señala que existen organismos que tienen mecanismos que permiten incrementar su capacidad de transformación por ADN, lo cual habla de que la transformación con ADN lineal puede ser un fenómeno no sólo pasivo, sino activo. Otro ejemplo de una bacteria muy importante es *Escherichia coli*. Diferentes cepas o variantes de esta bacteria son comensales naturales y habitan sin generar problemas el



Figura III.8. Cultivos de bacteria patógena en cajas de Petri capaz de incrementar su capacidad de ser transformada por ADN lineal.

intestino de varios mamíferos incluyendo los humanos. Sin embargo, hay cepas patógenas de *E. coli* que pueden generar problemas importantes, causando diarreas intestinales y daño serio en otros órganos como el riñón. Se ha demostrado de manera concluyente que la transferencia horizontal de ADN en ésta y otras bacterias patógenas es el proceso responsable de la generación de muchas variedades patógenas. Recientemente una nueva cepa patógena de esta bacteria

—originalmente catalogada como la cepa de *E. coli* EH104:H4— para humanos fue descrita en Europa, causando la infección de muchos individuos en un periodo muy corto, varios de los cuales fallecieron. Esta variedad causa simultáneamente diarrea intestinal con sangre y el síndrome en riñón “urémico-hemolítico”, responsable de sangrado en los riñones. Como ya se señaló, es muy probable que esta nueva variedad sea el resultado de la incorporación en una bacteria patógena

ya existente de ADN de otra bacteria patógena, que así modificó e incrementó sus capacidades para causar daño. En este caso de cepas de *Escherichia coli* (ver figura III.9) que son muy cercanas filogenéticamente, la incorporación horizontal del ADN puede darse a través de la transformación con material genético liberado al medio, o mediante un proceso de conjugación que también ocurre en las bacterias. Datos preliminares a nivel de la secuencia del genoma de la nueva variante, señalan que su genoma está constituido principalmente por ADN de la cepa EAEC 55989 de *E. coli* (Enterotoxigénica *Escherichia coli*) además de material genético de otro tipo de *E. coli* llamada EHEC (Enterohemorrágica *Escherichia coli*) que produce la toxina tipo "Shiga", causante de la diarrea intestinal y en algunos casos infección de los riñones causando la hemorragia en estos órganos. Alternativamente la nueva variedad pudiera haber estado ya presente como una variante de EAEC que adquirió al menos el gene que codifica para esta toxina "Shiga".

Se ha demostrado también que de manera natural, existe transferencia horizontal de material genético de microorganismos a plantas, como en el caso de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* y el tabaco. Las bacterias (ver figuras III.9 y III.10) son organismos que se utilizan como modelo en el laboratorio ya que son fácilmente transformables por ADN lineal o circular, del mismo origen o de otros y como organismos impor-

tales para su estudio por los problemas que pueden causar en particular en el área de la salud humana, animal y vegetal.

Los procesos de transformación por ADN permiten incrementar y reorganizar el genoma de la célula viva receptora, lo que amplía sus capacidades y funciones (Lwoff 1953, Sánchez et al. 1973, Jackson et al. 1973, Cohen et al. 1973, Herrera-Estrella et al. 1983, Michel y Dubon 1986, Colleaux et al. 1986, Watson et al. 1988 y 1996, Mazodier et al. 1991, Mazodier y Davis 1991, Ptashne 1992, Joset y Guespin 1993, Arber 1993, Tagahian y Nickoloff 1995, Matic et al. 1995, Campbell 1996, Voytas 1996, Kaper et al. 1997, Aravind et al. 1998, Doolittle 1998, Lengeler et al. 1999, Brown 1999, Denamur et al. 2000, Hacker y Koper 2000, Madigan et al. 2000, Emini 2002, Schubert et al. 2002 y 2009, Herrera-Estrella et al. 2002, Brussow et al. 2004, Chen y Dulong 2004, Margulis y Sagan 2005, Prudhomme et al. 2006, Barrera 2007, Bolívar et al. 2007, Bolívar 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Treangen et al. 2008, Touchon et al. 2009, Arias et al. 2009, Dawkins 2009, Garten et al. 2009, Belyi et al. 2010, Horie et al. 2010, Enserink 2011, Kupferschmidt 2011).

- Como se ha señalado, existe evidencia de que el genoma de organismos superiores ha evolucionado naturalmente y ha incrementado parte de su material genético a través de infecciones virales y probablemente de material genético proveniente de microorganismos

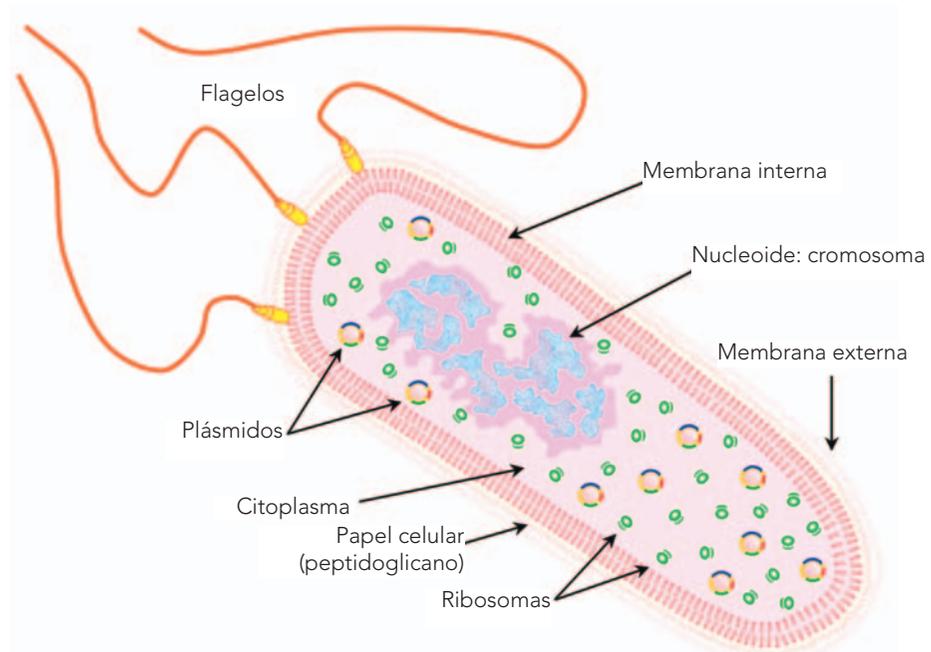


Figura III.9. Esquema de una célula bacteriana como *Escherichia coli* y sus componentes.



Figura III.10. Bacterias, organismos unicelulares vistas al microscopio.

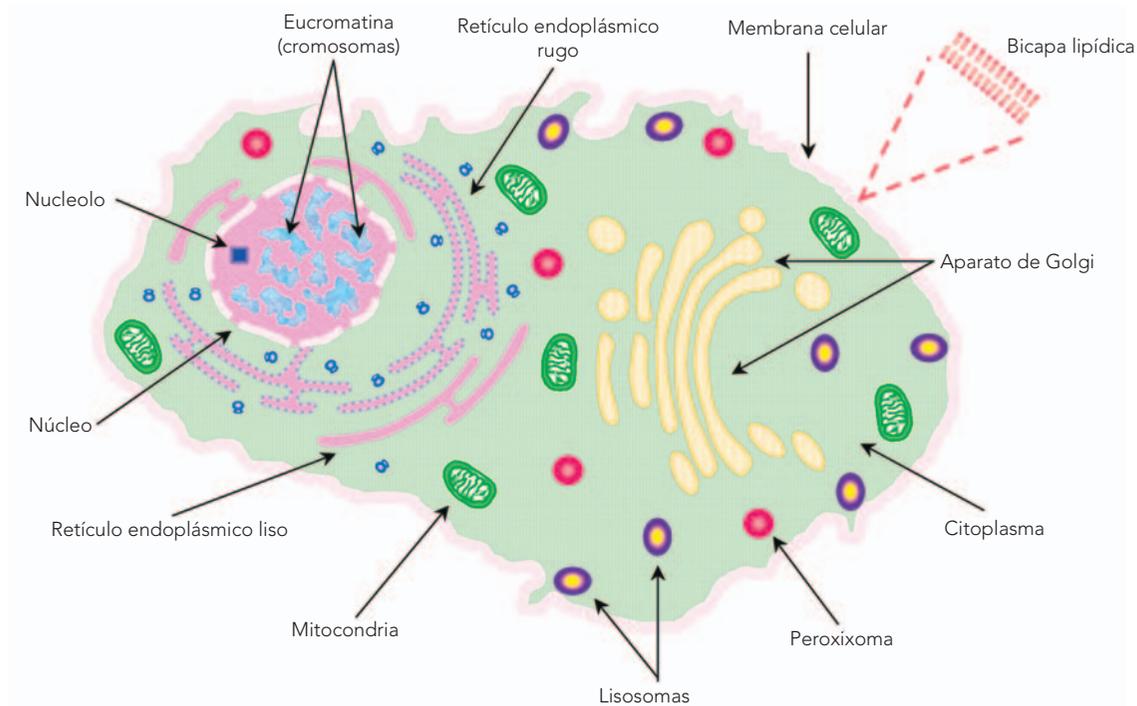


Figura III.11. Esquema de una célula animal y sus componentes, entre los cuales se encuentran las mitocondrias.

que hayan infectado a nuestros antepasados, y así se reorganiza el genoma de las células receptoras.

En este sentido es clara la información que sustenta la incorporación del material genético en etapas tempranas de la evolución de las células de animales y vegetales, a través de la infección por precursores de los actuales organelos celulares, que son similares a las bacterias, como pareciera ser el caso de la mitocondria (organelo celular responsable de la síntesis de energía biológica como ATP) y del cloroplasto (responsable de la síntesis de clorofila y de la fotosíntesis en las plantas),

(ver figuras III.11, III.12 y III.14). Estos organelos cuentan con material genético que, como en el caso de los cromosomas de las bacterias, es circular, además de contar con ribosomas propios en los que se llevan a cabo la síntesis de sus proteínas, que son muy parecidos a los de las bacterias.

Es posible que los precursores de estos organelos se hayan incorporado de manera natural a los precursores de las células superiores, primero a través de una infección y luego mediante una asociación permanente, generando una endosimbiosis por representar ventajas para

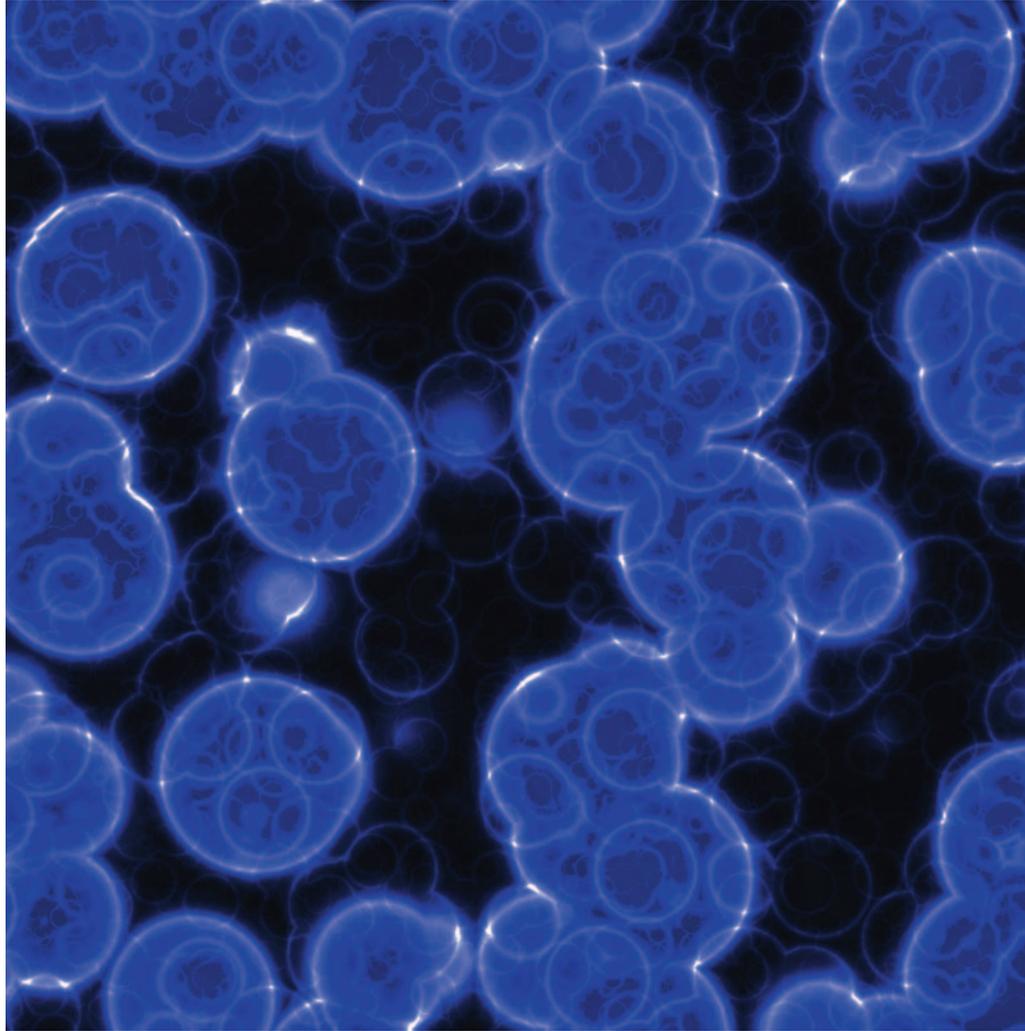


Figura III.12. Células de origen animal vistas al microscopio.

ambos organismos originales (evolución adaptativa). De hecho en 1927, Ivan Wallin propuso que la endosimbiosis en la que participan bacterias pudiera ser uno de los procesos naturales que sustentan el origen y la evolución de las especies. Hay muchos estudios que demuestran que las bacterias y las mitocondrias son organismos muy similares que comparten muchas características (Darwin 1859, Hogg 1861, Wallin 1927, Nass 1969, Smith 1979, Yang et al. 1985, Watson et al. 1988 y 1996, Gupta y Golding 1996, Osusky et al. 1997, Doolittle 1998, An-

dersson et al. 1998, Brown 1999, Lengeler et al. 1999, Venter et al. 2001, Bordenstein 2003, Herrel et al. 2004, Margulis y Sagan 2005, Carroll 2006, Coyne 2009, Dawkins 2009, Horie et al. 2010, Belyi et al. 2010).

- En el caso de las plantas (ver figura III.13), es importante señalar que los cromosomas vegetales contienen un gran número de genes provenientes de las bacterias fotosintéticas, que dieron origen a los cloroplastos durante la evolución (ver figura III.14). Estos organismos



Figura III.13. Cultivos de la planta *Arabidopsis thaliana* utilizada como modelo vegetal.

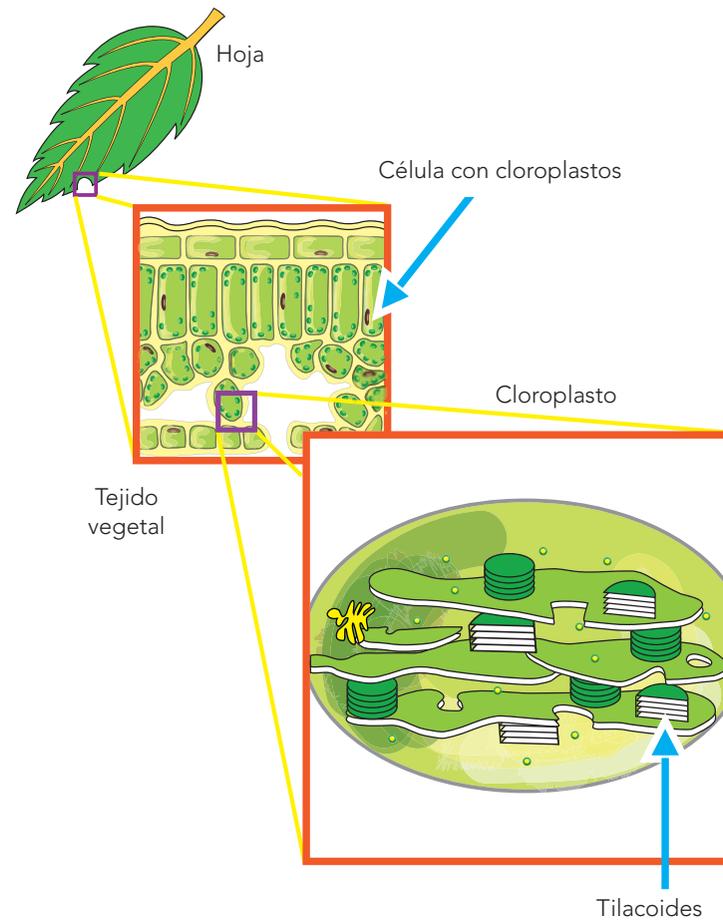


Figura III.14. Esquema de una célula vegetal y sus componentes, incluyendo los cloroplastos.

han vivido y viven en estrecho contacto en los suelos de la Tierra, y ello facilita el fenómeno de la transferencia horizontal. Lo anterior quedó verificado de manera contundente con la determinación de la secuencia (secuenciación de los nucleótidos) de los genomas de la planta *Arabidopsis*, el arroz y el maíz.

La incorporación de material genético de diferentes orígenes, incluido el caso de la evidente incorporación de las mitocondrias en las células precursoras de las células animales y plantas, pareciera indicar que además de los cambios en sus propios genes por mutaciones, la célula viva adquiere, de manera natural,

nuevas capacidades y ventajas mediante la incorporación de otros materiales genéticos de diferentes orígenes adquiridos originalmente por endosimbiosis y también por transferencia horizontal. De lo anterior se concluye que el fenómeno de la transferencia horizontal de ADN es uno de los mecanismos naturales involucrados en la evolución de las especies, ya que permite a la célula adquirir nuevas capacidades para contender con diferentes necesidades (Wallin 1927, Watson et al. 1988, Brown 1999, Goff et al. 2000, Andersson et al. 2001, Venter et al. 2001, *The Arabidopsis Genome Initiative* 2002, Herrel et al. 2004, Margulis y Sagan 2005, Carroll 2006, Bolívar 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Bolívar et al. 2007, Coyne 2009, Dawkins 2009, Vielle-Calzada et al. 2009, Schnable et al. 2009, Murat et al. 2010, Swanson-Wagner et al. 2010, Krom y Ramakrishna 2010, Jiang et al. 2011).

- En nuestro genoma, y en el de todos los organismos vivos, existen los transposones que son un tipo de material genético repetido —parte de éste probablemente de orígenes bacteriano y viral— que representa al menos 30% del genoma humano. En el maíz, los transposones constituyen 85% de su genoma .

Los transposones son secuencias de ADN que pueden translocar o reubicar su posición en el genoma, es decir, pueden “brincar” de un lugar genético (*locus*) a otro, inclusive entre cromosomas, por lo que han jugado y siguen jugando un papel importante en la reorgani-

zación y probablemente en la evolución del genoma. En el maíz, los granos de colores diferentes en una mazorca son resultado de este tipo de fenómeno que ocurre en un mismo individuo (ver figuras III.15 y III.16).

Otro tipo de material repetido en nuestro genoma y en el de todos los organismos superiores, incluidas las plantas, es el llamado retroviral. Los retrovirus, como ya fue mencionado, son un tipo de virus cuyo genoma es de ARN. Este tipo de material repetido, que en nuestro genoma constituye 8% del total, como ha sido señalado, se estabilizó probablemente en el genoma humano y en el de nuestros precursores biológicos, mediante mecanismos de infección y la posterior incorporación en nuestros cromosomas de genomas virales de retrovirus como el VIH-SIDA. Este tipo de transferencia horizontal ha influido e influye de manera natural y cotidianamente en la dinámica y reorganización del genoma de la célula viva (McClintock 1957 y 1987, Maeda y Smithies 1986, Watson et al. 1988, Federoff 1989, Berg y Howe 1989, Purugganhanand y Wesler 1992, Griffiths et al. 1993, McDonald 1995, Voytas 1996, Watson et al. 1996, Brown 1999, Goff et al. 2000, Venter et al. 2001, Andersson et al. 2001, *The Arabidopsis Genome Initiative* 2002, El-Sayed et al. 2005, Herrera-Estrella et al. 2002, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Bolívar et al. 2007, Vielle-Calzada et al. 2009, Schnable et al. 2009, Murat et al. 2010, Swanson-Wagner et al. 2010, Krom y Ramakrishna 2010, Belyi et al. 2010, Horie et al. 2010, Jiang et al. 2011).

- En este mismo contexto de la reorganización del genoma como un fenómeno natural y cotidiano, hay evidencia de que en organismos genética y fisiológicamente cercanos, como los tripanosomas (parásitos importantes de organismos superiores), ha habido una gran reorganización de los genes y los cromosomas. En estos organismos, los cromosomas se reorganizan y

cambian número, tamaño y también la posición de los genes. Se modifica el número de cromosomas, pero se mantiene la mayor parte de los genes relevantes en diferentes posiciones. En bacterias la recombinación y la reorganización del genoma es el fenómeno más importante, por arriba de la mutación, en la evolución de ciertas bacterias como *Escherichia coli*, que habita

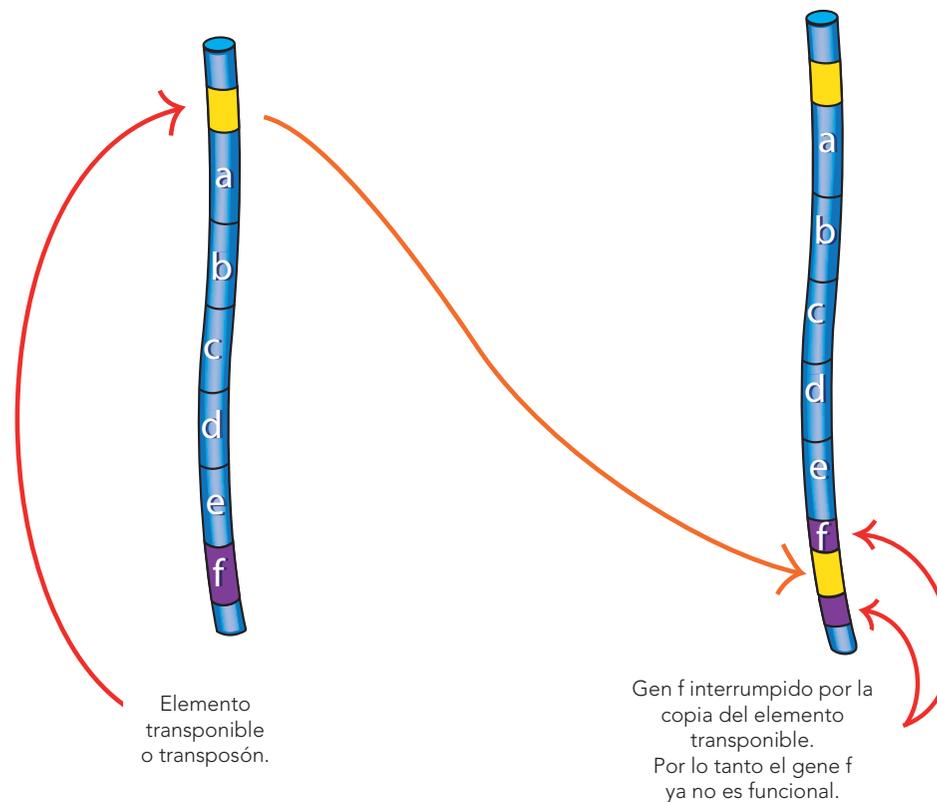


Figura III.15. Reorganización de material genético mediante el fenómeno de la transposición en el cual un fragmento de ADN (el transosón o elemento transponible) se reubica de lugar en el genoma integrándose en otro locus genético. Al hacerlo, puede interrumpir e inactivar un gene, como se muestra en la figura.



Figura III.16. Mazorca en la cual se notan granos de diferentes colores, resultado de la reubicación de transposones en el ADN de esos granos.

en nuestro intestino junto a muchas otras diferentes bacterias.

La determinación de las secuencias de los nucleótidos de los genomas de levadura y de *Arabidopsis* mostró que durante su evolución, aparentemente, ocurrió una duplicación completa de su genoma seguido por pérdida, modificación y duplicación de genes, así como la presencia de fragmentos del genoma del cloroplasto en el núcleo. Recientemente, se han reportado también en plantas evidencias sobre rearrreglos de material genético por diversos mecanismos.

Estas evidencias claramente indican que los genomas de los eucariotes y entre ellos las plantas, son altamente dinámicos y que se modifican continuamente. Lo anterior y ejemplos en muchos otros organismos indican la capacidad de reorganización del genoma de la célula viva, sin detrimento de su capacidad funcional como ser vivo (*Hozim y Tonewaga 1976, Watson et al. 1988, Lewin 1994, Wolfe y Shields 1997, Lengeler et al. 1999, Brown 1999, The Arabidopsis Genome Initiative 2002, Herrera-Estrella et al. 2002, Kellis et al. 2004, El-Sayed et al. 2005, Ivens et al. 2005, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Touchon et al. 2009, Vielle-Calzada et al. 2009, Schnable et al. 2009, Murat et al. 2010, Swanson-Wagner et al. 2010, Krom y Ramakrishna 2010, Jiang et al. 2011*).

- Como ha sido señalado, cuando se modifica un organismo vivo para dar lugar a un organismo genética-

mente modificado o transgénico independientemente de los métodos utilizados (transformación, biobalística o electroporación que *per se* no afectan el genoma de la célula receptora) se introduce, a través del fenómeno de transferencia horizontal del ADN, material genético específico (transgene) a una célula (ver figuras III.17, III.18 y III.19). Posteriormente mediante el fenómeno de recombinación genética, el transgene es incorporado como un segmento del material genético de la célula receptora en alguno de sus cromosomas (ver figuras II.8, II.9 y III.7). Si en este evento —que es, *de facto*, una reorganización del genoma— se afectara una función codificada en el cromosoma que resultara vital para la célula, ese organismo transgénico en particular no sobreviviría. El mismo tipo de evento podría suceder en el caso de una reorganización natural del genoma cuando es infectado por un retrovirus —el VIH causante del SIDA por ejemplo— (ver figura III.7), o afectado por un transposón (ver figuras III.15 y III.16) que cambia su posición, ya que debido a estos fenómenos pudiera ocurrir la inserción de su material genético en un *locus* esencial y que por ello, la célula receptora en la que ocurriera el arreglo, no sobreviviría.

En síntesis, este tipo de evento pudiera ocurrir no sólo por el uso de genes aislados e incorporados por ingeniería genética (transgenes), sino también de manera natural ya que es un proceso que pudiera ser causado por una infección viral o por transposiciones de

ADN, como las que ocurren con frecuencia en el maíz (ver figura III.16). Este fenómeno pudiera causar la muerte del individuo receptor en el que ocurriera el rearreglo, pero no una catástrofe ecológica. Luego, la incorporación y reorganización de material genético en un genoma es un proceso natural que ocurre todos los días en la naturaleza, independientemente de los trans-

génicos porque el ADN, sin importar su origen, por tener la misma estructura general, se transfiere y recombina con el material genético de la célula receptora, de manera natural.

De lo anterior se concluye que el proceso de modificación de organismos vivos para generar los OGM o transgénicos es un proceso equivalente al proceso

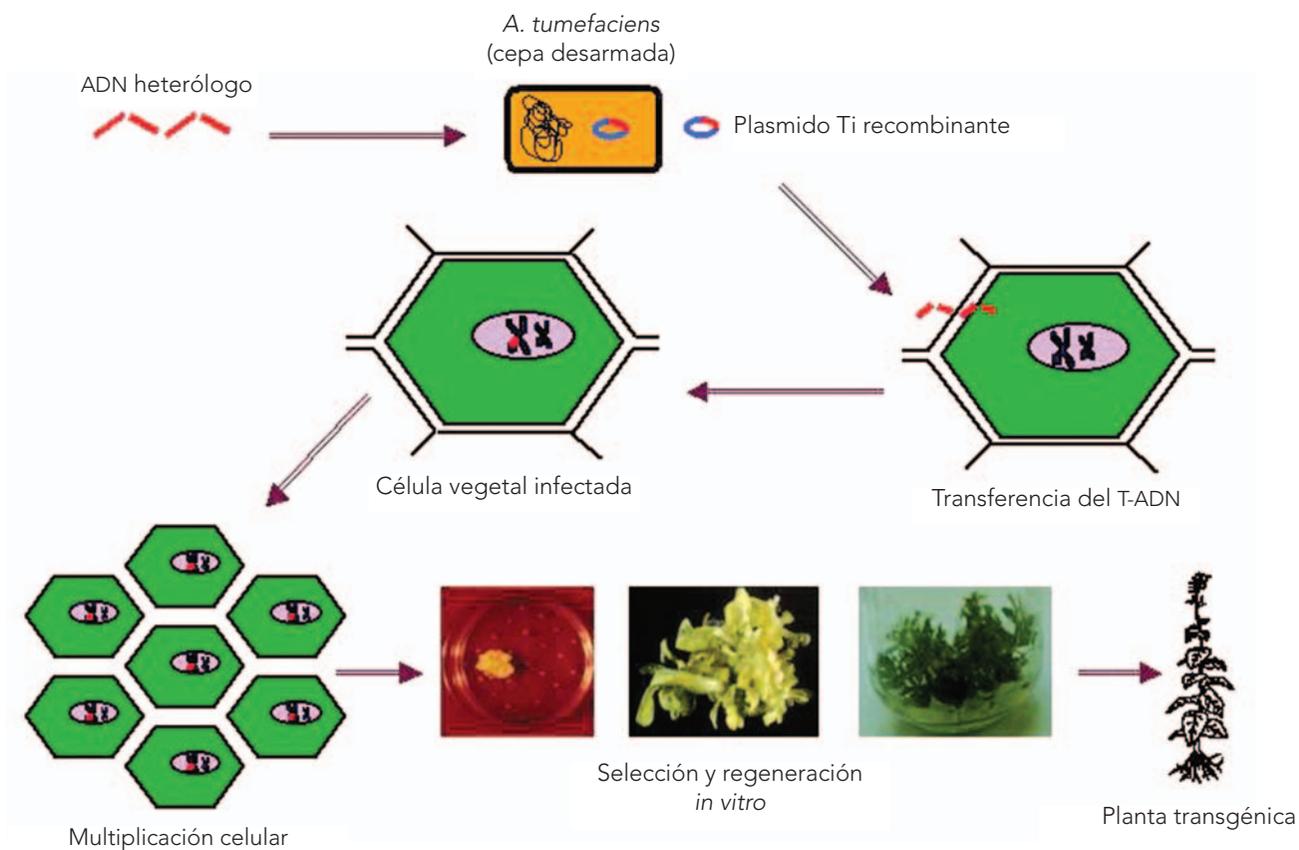


Figura III.17. Fitomejoramiento mediante ingeniería genética. Se utilizan técnicas de ADN recombinante para transferir ADN heterólogo (transgén) a núcleos de células de vegetales, que luego se multiplican dando lugar a una planta transgénica.

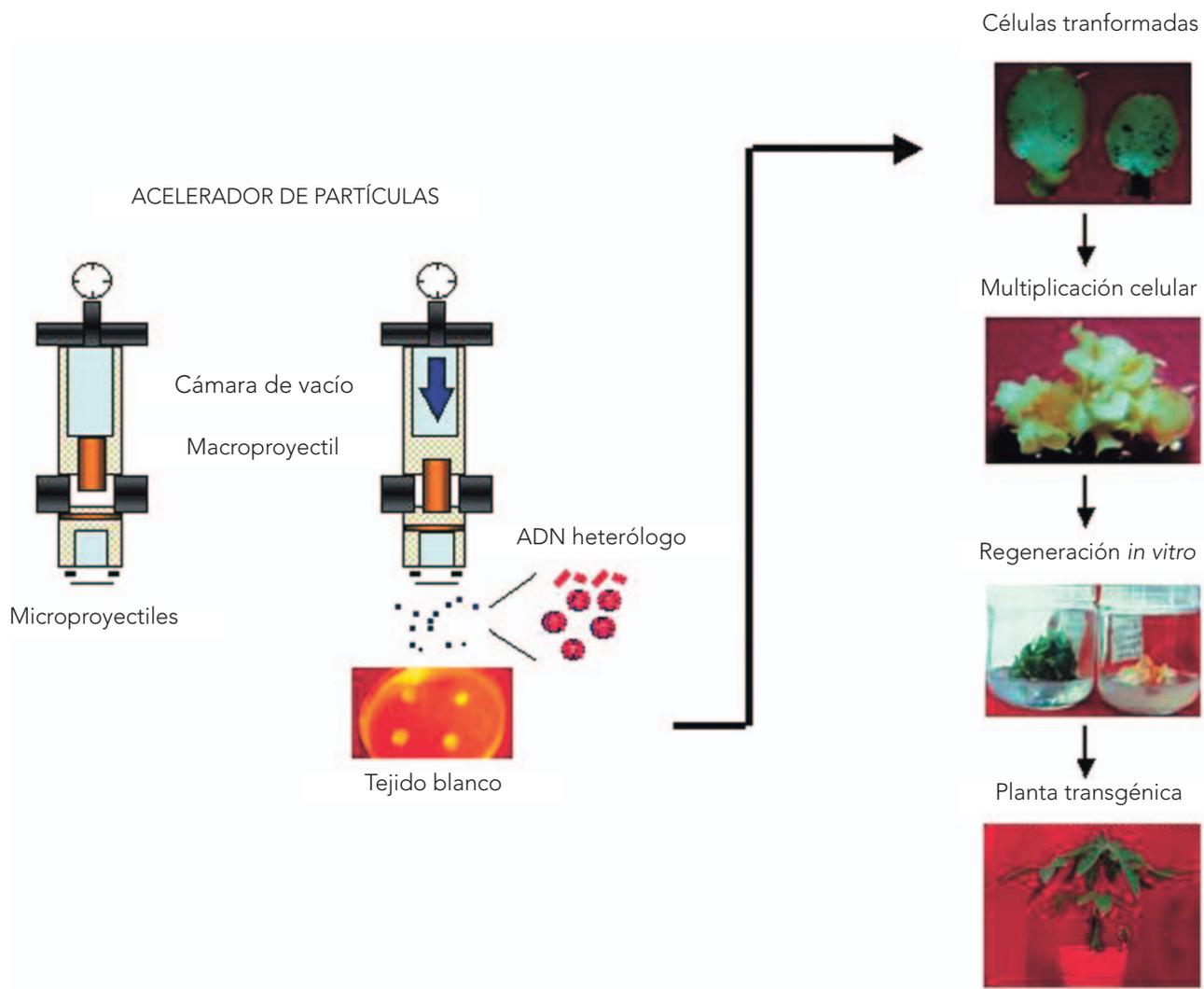


Figura III.18. La técnica de la biobalística permite incorporar genes heterólogos o transgenes en plantas. El material genético es introducido, con la ayuda de pequeñas balas de metal, al núcleo de la célula por el mismo tipo de transferencia horizontal. Ya en el núcleo de la célula, y mediante el proceso de recombinación genética, se incorpora en el genoma de la célula. A partir de esta célula transformada se genera la planta transgénica.

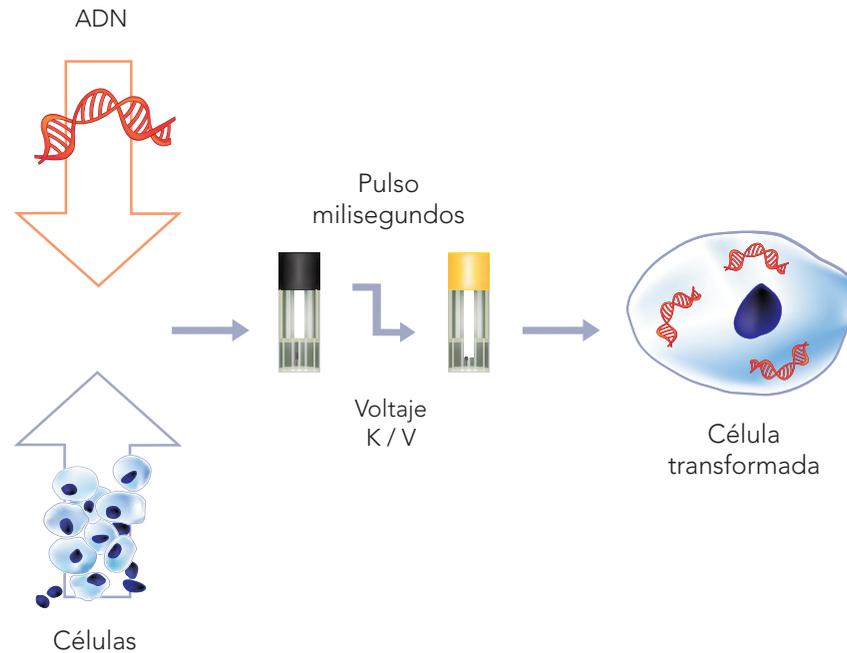


Figura III.19. Diagrama de flujo en el método de la electroporación o electrotransformación utilizado para incorporar material genético a células animales. En este método la membrana celular es permeabilizada por el pulso eléctrico, lo cual permite la incorporación a la célula del ADN heterólogo y posteriormente a su núcleo, generando así la célula transformada genéticamente por el transgene.

natural que ocurre al translocarse un transposón o integrarse un fragmento de material genético viral en el genoma de la célula viva (ver figuras II.8, II.9, III.7, III.15 y III.16). Todos estos procesos tienen como resultado la reorganización del genoma de la célula receptora, independientemente de que el proceso sea originado por un ADN viral, un transposón, un ADN incorporado por transferencia horizontal o por un transgene. La célula no los distingue porque son secuencias de ADN que tienen la

misma estructura general (ver figuras III.3 y III.7) y este tipo de fenómeno ocurre naturalmente y de manera cotidiana (Jackson et al. 1972, Cohen et al. 1973, Sánchez et al. 1975, Heyneker et al. 1976, Korana 1979, Itakura y Riggs 1980, Herrera-Estrella et al. 1983 y 2003, Mullis y Fallona 1987, Watson et al. 1988 y 1996, Purugganhanand y Wessler 1992, Taghagian y Nickoloff 1995, McDonald 1995, Brown 1999, Andersson et al. 2001, Yao et al. 2002, Margulis y Sagan 2005, Xing y Lee 2006, Barrera 2007,

Herrera-Estrella y Martínez 2007, Bolívar 2007, Bolívar et al. 2007, Schubert et al. 2008, Touchon et al. 2009, Vielle-Calzada et al. 2009, Schnable et al. 2009, Belyi et al. 2010, Horie et al. 2010, Murat et al. 2010, Swanson-Wagner et al. 2010, Krom y Ramakrishna 2010, Jiang et al. 2011).

- Ciertamente la modificación genética de organismos para generar los OGM implica no sólo cambios en el genoma de la célula receptora, sino también en el transcriptoma (al menos para la presencia del ARN mensajero [ARNm] del transgene), en el proteoma (al menos por la síntesis y función de la proteína codificada por el transgene) y en el metaboloma (por los recursos que implica la síntesis del nuevo producto codificado por el transgene).

Algunos de los grupos que cuestionan los OGM han señalado que la transgenosis implica cambios que modifican de manera impredecible y negativamente el genoma, el proteoma, el transcriptoma y el metaboloma de los organismos transgénicos. También argumentan que los OGM y los métodos que se utilizan para construirlos pudieran propiciar cambios epigenéticos (por modificaciones químicas en el ADN), en las células receptoras y que estos cambios pueden heredarse y generar problemas en las siguientes generaciones. Asimismo, se ha señalado por algunos de estos grupos, que los fragmentos de ADN que se utilizan para construir los transgénicos pudieran transferir sus propios patrones de modificación (metilación de ciertos resi-

duos de los nucleótidos de citosina) del ADN en las células receptoras.

Se insiste en que, hasta la fecha, no hay evidencia científica de daño ocasionado por los OGM y sus productos a la salud humana que se utilizan en la actualidad, ni en particular por la diferencia en los patrones de metilación a nivel de la modificación de los residuos de citosina de los transgénicos utilizados. Además en todos los procesos de reorganización de los genomas, incluidos los mediados por la transferencia horizontal del ADN, pudieran coexistir patrones diferentes de metilación del ADN en una célula y generar también nuevos patrones en la célula rearmada. Sin embargo, se señala nuevamente en que esto no es un fenómeno exclusivo de los transgenes y que puede ocurrir por infecciones retrovirales y otros procesos que puedan causar reorganización del genoma. Adicionalmente, es posible eliminar los grupos químicos (grupos metilo localizados en ciertos residuos de citosina) que modifican normalmente el ADN en la naturaleza, a través de utilizar ADN de tamaños pequeños (oligonucleótidos), generados *in vitro* mediante amplificación por las técnicas de reacción en cadena de la polimerasa (PCR por sus siglas en inglés), y también por síntesis química. En ninguno de estos dos procesos se modifica químicamente el ADN por grupos metilo. De esta manera, se contiene con el cuestionamiento de incorporar un material genético que llevara alguno de sus grupos de citosina modificados, como ocurre cuando se utiliza

el ADN extraído de los organismos vivos y los virus que sí contienen algunos nucleótidos de citosina metilados.

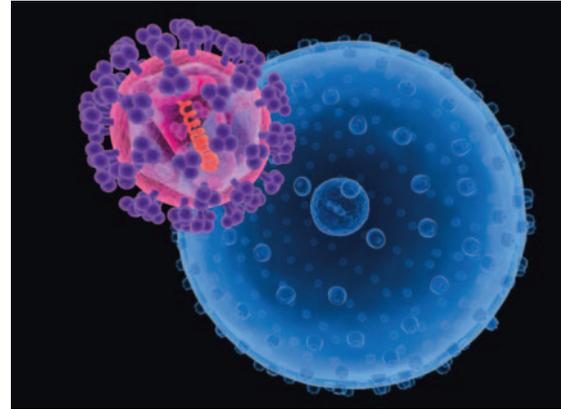
Todos los OGM que se utilizan en la actualidad, no sólo los organismos transgénicos sino también los obtenidos por otras metodologías tradicionales, han sufrido cambios y reorganizaciones importantes en sus genomas, transcriptomas, proteomas y metabolomas, sin evidencia de catástrofe o daño ecológico. Además, la infección viral y la transposición de material genético generan también, de manera natural, rearrreglos en los transcriptomas, proteomas y metabolomas de las células afectadas (ver figura III.20). De hecho, existe una gran variedad de cultivos no transgénicos que han aparecido por rearrreglos y modificaciones naturales de sus genomas y otras generadas por el humano por técnicas de mejoramiento tradicionales. Un ejemplo de esta situación convive hasta nuestros días y es el caso el brócoli y la coliflor, donde uno de estos vegetales bien podría considerarse como una aberración genética del otro, de haber ocurrido este cambio por acción de los seres humanos. Hoy en día se están estudiando con detalle muchos de los organismos modificados que se utilizan como alimento, no sólo los transgénicos, aún sabiendo que la mayoría de las variedades de estos cultivos no han generado daño a la salud humana ni a la biodiversidad, aunque en algunos de ellos hay diferencias importantes en sus genomas, transcriptomas y proteomas (*Itakura y Riggs 1980, Mullis y Falonna 1987,*

Watson et al. 1988, Joset y Guespin 1993, Matzke y Matzke 1996, Lengeler et al. 1999, Brown 1999, Filipceki y Malepszy 2006, Bolívar et al. 2007, Batista et al. 2008, Fratamico 2008, Traavik et al. 2009, Davis et al. 2010, Doerrer et al. 2010, Murat et al. 2010, Swanson-Wagner et al. 2010, Krom y Ramakrishna 2010, Jiang et al. 2011).

- Dadas todas estas evidencias en favor de la plasticidad y capacidad de reorganización del genoma y de la transferencia horizontal de ADN como un fenómeno natural (ver figuras III.6 y III.20), resulta difícil entender la preocupación de que un gene que proviene de una bacteria que habita en el suelo (*Bacillus thuringensis*) que codifica para la proteína *Bt* —que es tóxica para ciertos insectos pero no para animales, y que ha sido incorporado por técnicas de ingeniería genética (transferencia horizontal de ADN) a una planta— tenga la posibilidad de generar una catástrofe ecológica. Lo anterior se sustenta, como se ha señalado, en el hecho de que los seres vivos han evolucionado y lo seguirán haciendo, a través de adquirir material genético por transferencia horizontal, mutando y reordenando sus genes y cromosomas, modificando sus genomas, proteomas y metabolomas, sin provocar catástrofes ecológicas. Los escenarios que preocupan por la presencia de un transgene en un organismo podrían darse diariamente por la transferencia horizontal y la reorganización del genoma



La estructura del ADN es la misma en todos los seres vivos y en los virus.



Esquema de infección de un retrovirus a una célula. En este proceso natural se incorporará de manera horizontal material genético viral a la célula.



Cultivar de maíz transgénico.



Mazorcas de maíz con granos en los que han ocurrido transposición de ADN y reordenamiento de sus genomas de manera natural.

Figura III.20. Procesos que ocurren de manera natural, como es el caso de la mazorca de maíz o la infección de una célula por un retrovirus, en los cuales se reorganiza el genoma de las células de los organismos vivos, tanto de plantas como de animales. Se incluye también el caso del maíz transgénico, cuya construcción se alcanza a partir de métodos de transferencia horizontal (como el caso de la infección viral) y reordenamiento del material genético (como el caso de los transposones en el maíz). Lo anterior es posible porque la estructura del ADN es la misma en todos los seres vivos y en los virus. En estas consideraciones se sustenta el bajo riesgo de los OGM que se construyen con técnicas similares a los procesos que ocurren cotidianamente en la naturaleza.

al infectarse las plantas o los animales por ADN de virus, bacterias o de otro origen.

La preocupación de que los OGM vayan a ser responsables de transformar y degradar negativamente las especies existentes que se utilizan en la agricultura y las adicionales que conforman la biosfera se minimiza porque hay evidencias, cada vez más importantes, de la plasticidad del genoma y de que los fenómenos de cambios y reorganización del genoma, transcriptoma y proteoma ocurren cotidiana y naturalmente en la biosfera, al margen de los transgénicos. Muchos de estos procesos de cambio y reorganización de los genomas (transcriptomas, proteomas y metabolomas) son generados, se insiste, mediante la transferencia horizontal de ADN, la cual es un fenómeno natural. De lo anterior, se concluye que los organismos transgénicos generados también por transferencia horizontal no son organismos antinaturales, sino consecuencia de un proceso que de forma natural existe en la naturaleza y que por lo tanto, representan un bajo riesgo (*Watson et al. 1988, McDonald et al. 1995, Lengeler et al. 1999, Brown 1999, Andersson et al. 2001, Venter et al. 2001, Herrera-Estrella y Martínez 2003 y 2007, Ibarra et al. 2003, Batista et al. 2008, Schubert et al. 2008, Touchon et al. 2009, Doerrer et al. 2010, Belyi et al. 2010, Horie et al. 2010, Murat et al. 2010, Swanson-Wagner et al. 2010, Krom y Ramakrishna 2010, Jiang et al. 2011*).

- La humanidad ha venido modificando genéticamente, a lo largo de cientos de años, las especies que utiliza para su alimentación, y hasta hace poco sin conocer la estructura del material genético, con el uso de mutágenos, que se sabe generan múltiples cambios en los genomas de los organismos (ver figura III.21). Sin embargo, estas técnicas originales de mutagénesis y los organismos generados, no se han cuestionado como los organismos transgénicos, cuando hoy se sabe que los métodos usados previamente generan cambios muy amplios en el genoma, el transcriptoma y el proteoma de estos organismos. La razón de la falta de cuestionamiento es, probablemente, la ausencia de daño por estos organismos que están, sin embargo, altamente modificados en sus genomas, a diferencia de los organismos transgénicos en los cuales la modificación es únicamente por la integración de un solo gene.

Cabe insistir que la combinación de diferentes especies no surgió con los experimentos de ADN recombinante, sino con la generación de variedades vegetales. Los primeros registros sobre manipulación genética de plantas datan de 1919, fecha en la que se reportaron las primeras plantaciones con semillas híbridas desarrolladas a partir de la selección y cruzamiento de dos plantas diferentes de maíz. Esta metodología permitió el aumento en 600% de la producción agrícola de este cereal en un período de aproximadamente 55 años.

Asimismo, las modificaciones genéticas para el mejoramiento de los cultivos agrícolas —realizadas en los últimos 70 años— con técnicas de mutagénesis tradicional que incorporaron diferentes mutaciones y deleciones han generado más de 2,200 variedades vegetales, y, aunque éstas han sido poco estudiadas, hasta el momento no se han reportado efectos adversos. La manipulación de las plantas comenzó de manera empírica hace cerca de 10,000 años cuando la raza humana inició la domesticación de los vegetales, actividad que permitió la obtención de los cultivos que ahora conocemos como maíz, trigo, arroz, sorgo y papa entre mu-

chos otros, que no existían como tales en la naturaleza y que fueron la base para el establecimiento de las grandes culturas del planeta (*Herrera-Estrella et al. 2002, INIA 2006, Bolívar et al. 2007, Batista et al. 2008, James 2009, Doerrer et al. 2010, Davis et al. 2010, Bio 2011*).

- Por lo antes expuesto, se puede enfatizar que todos los OGM que se utilizan en la actualidad —tanto los organismos transgénicos como los obtenidos por otras metodologías tradicionales— han sufrido muchos cambios, en algunos casos importantes, en sus genomas, transcriptomas y proteomas. Resulta evidente que no



Figura III.21. Nuevas variedades de maíz.

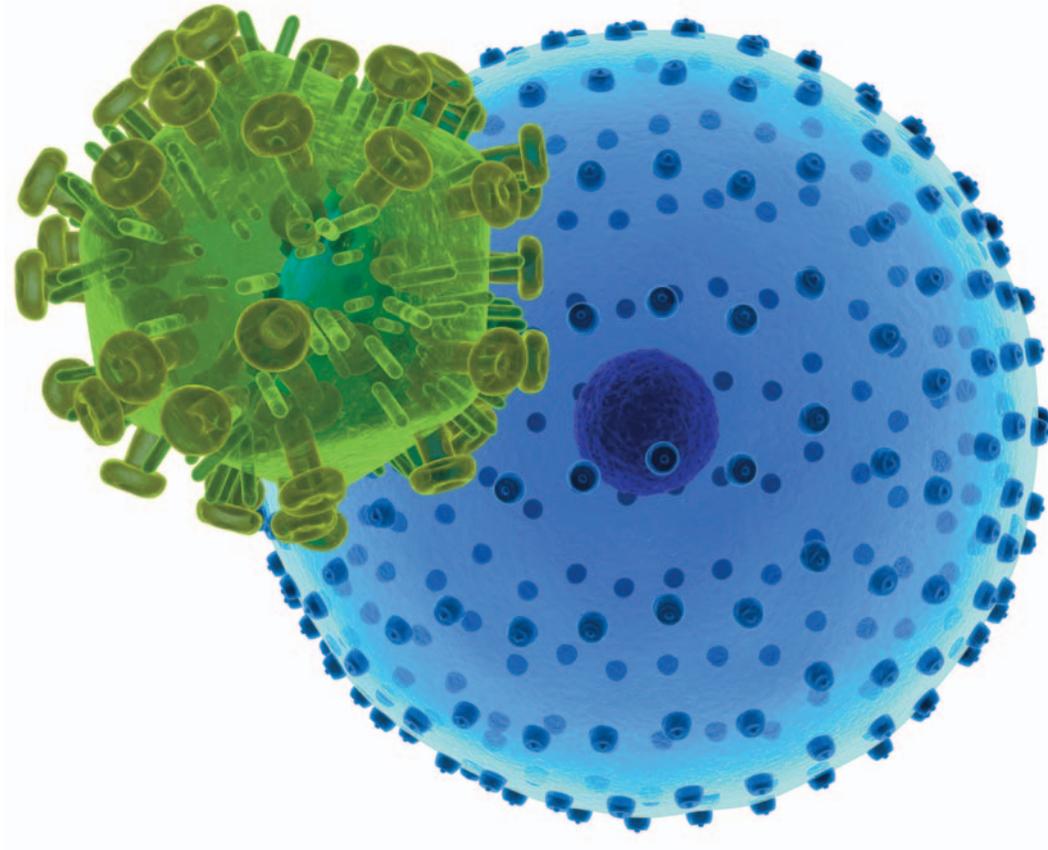


Figura III.22. Esquema de un virus infectando una célula, en donde ocurre el fenómeno de transferencia horizontal de material genético

se puede cancelar el uso de esta capacidad para modificar los organismos vivos con el argumento de que no se conocen todos los riesgos potenciales de modificar los genomas, transcriptomas y proteomas de los organismos vivos, ya que se estaría renunciando al diseño y desarrollo de mejores sistemas biológicos optimizados para la solución de problemas, mientras que de alguna manera los métodos tradicionales buscan objetivos similares pero con estrategias azarosas y menos precisas.

Gracias a muchos de los rearrreglos genéticos ocurridos naturalmente (ver figuras III.6, III.7, III.16, III.20 y III.22) y a muchos provocados por los humanos, hoy se tienen nuevas y mejores especies y variedades de organismos vivos con modificaciones genéticas para resolver muchos de nuestros problemas (*Watson et al. 1998, Potrykus 2001, Herrera-Estrella et al. 2002, Herrel et al. 2004, Bolívar et al. 2007, Batista et al. 2008, Frata-mico 2008, James 2009, Dawkins 2009, Belyi et al. 2010, Horie et al. 2010, Doerrer et al. 2010, Davis et al. 2010, Bio 2011*).

- Finalmente, es importante enfatizar que a la fecha no hay evidencia sólida sustentada científicamente y comprobada de manera independiente por varios grupos de daño a la salud humana, ni al medio ambiente o a la biodiversidad por el uso de los organismos transgénicos o sus productos presentes hoy en día en el mercado, aunque ciertamente la ausencia de evidencia de daño

no implica certeza de ausencia de riesgo (ver figura III.23). Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud en su documento “20 preguntas sobre los alimentos genéticamente modificados” (ver anexo 4), señala que no se han generado problemas a la salud humana por el consumo de estos productos. En muchos casos, los productos finales de origen transgénico que llegan al consumidor, como son el aceite de soya o el almidón de maíz, son químicamente idénticos a los productos convencionales y, por lo tanto, su efecto en la salud humana es indistinguible entre unos y otros, independientemente de su origen.

Existen muchos estudios donde se analiza la toxicidad de diferentes plantas transgénicas cuando se utilizan como alimento, para diversos animales. De todos estos trabajos se concluye que no hay daño por el consumo de los OGM utilizados hoy en día. Existen sólo dos casos reportados (el maíz Starlink en EUA y una variedad de chícharos en Australia), en donde se han retirado estos productos por posibles efectos alérgicos. Sin embargo, algunos estudios publicados recientemente señalan que pudieran existir algunos efectos negativos de posible toxicidad por el consumo de ciertos cultivares transgénicos por algunos animales. Los autores de algunos de estos reportes concluyen y recomiendan que deben realizarse otras investigaciones para confirmar sus hallazgos. Habría que insistir en la importancia de repetir estos estudios por otros grupos de manera



Figura III.23. El maíz genéticamente modificado se utiliza como alimento en muchos países



Figura III.24. Técnicas de laboratorio para evaluar las características de nuevas variedades vegetales y los riesgos de los organismos transgénicos y sus productos.

independiente (ver figura III.24). De demostrarse contundentemente algún efecto negativo importante, debería suspenderse el uso de esos cultivares particulares como alimentos. Sin embargo, al respecto cabe aclarar que para ninguno de los casos reportados con posibles efectos negativos para la salud en animales, se ha tomado la decisión de retirarlos del mercado por las agencias gubernamentales responsables de la autorización y liberación de OGM, ya que pudieran ser otros factores —como ha sido señalado— entre ellos la presencia de pesticidas o herbicidas químicos contaminando los OGM, los responsables de posibles efectos negativos (*Potrykus 1989, Noteborne et al. 1995, Hammond et al. 1996, Struck et al. 1997, Brake y Vlachos 1998, Pusztai et al. 1999, Hashimoto et al. 1999, Nuccio et al. 1999, Yao et al. 2000, Wang et al. 2000, Momma et al. 2000, Teshima et al. 2000 y 2002, Spencer et al. 2000, CDC 2001, Kosieradzka et al. 2001, Noyola et al. 2002, Herrera-Estrella et al. 2002 y 2003, Reuter et al. 2002, Thomas y Fuchs 2002, Hammond 2002, Arias y Muñoz 2002, Bernstein et al. 2003, Purohit 2003, Bakshi 2003, Ibarra et al. 2003, Chen et al. 2003 y 2004, Hammond et al. 2004, Rascón-Cruz et al. 2004, Sinagawa-García et al. 2004, APBN 2004, Zhu et al. 2004, Zhuo et al. 2004, Brake y Evenson 2004, Green et al. 2004, Rhee 2005, Metcalfe 2005, OMS 2006, Trigo y Capp 2006, Bolívar et al. 2007, Domingo 2007, Valdez-Ortiz et al. 2007, Poulsen et al. 2007a y 2007b, Malley et al. 2007, Constable et al. 2007,*

Ramírez y Uribe 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Sakamoto et al. 2007 y 2008, Schroder et al. 2007, Seralini et al. 2007 y 2009, MacKenzie et al. 2007, McNaughton et al. 2008, He et al. 2008 y 2009, Healy et al. 2008, Delaney et al. 2008, James 2008 y 2009, CIBIOGEM 2008, Magaña-Gómez et al. 2008, Appenzeller et al. 2009a y 2009b, Mathesius et al. 2009, Domon et al. 2009, Herouet-Guicheney et al. 2009, Ayala-Rodríguez et al. 2009, Tutel'ian et al. 2009, Juberg et al. 2009, De Vendomois et al. 2009, Bio 2011, Domingo y Bordonaba 2011).

- En conclusión, tras todo lo señalado en esta publicación, resulta válido enfatizar que los eventos de la modificación —por la transferencia horizontal de material genético— y reorganización de los genomas, incluidos los ocurridos en los OGM, son fenómenos que están presentes permanentemente en la biosfera. Son eventos naturales que forman parte de las características de los sistemas vivos que, por un lado, han sido parcialmente responsables de la evolución de las especies y por otro de la generación de nuevos organismos vivos (de manera natural o antropogénica), con reorganizaciones en sus genomas (transcriptomas, proteomas y metabolomas) que los hacen más aptos para contender con muchos problemas y requerimientos de la sociedad humana y de la propia biosfera. Así pues, los organismos de la biota sufren modificaciones, incrementos y rearrreglos genéticos

que ocurren cotidianamente y, por ello, los OGM son organismos con niveles de riesgo bajo, similares a los que ocurren en la naturaleza.

Todas las actividades humanas tienen impacto en la naturaleza y en el medio ambiente. Por ello, resulta indispensable crear la conciencia y los marcos para minimizar las afectaciones negativas en el planeta utilizando mejores cultivos y de manera más eficiente (ver figura III.25). Resulta insostenible la premisa de que como humanos, no tenemos derecho a modificar los sistemas vivos con el propósito de resolver problemas apremiantes, porque esto implica graves riesgos por la modificación a sus genomas. De aceptarse la premisa, se estaría renunciando a una herramienta que se ha desarrollado para replicar de manera diseñada, dirigida, con menor riesgo y respeto a la biodiversidad lo que sucede permanentemente en la biosfera de manera natural. Con ello se estaría renunciando al diseño de mejores organismos modificados genéticamente para la solución de requerimientos de la raza humana y también para la defensa y recuperación de los ecosistemas contaminados y destruidos. Resulta inaceptable e inmoral quedarse cruzado de brazos ante la alternativa de seguir utilizando tecnología que destruye y contamina el medio ambiente como la de los plaguicidas y

herbicidas químicos, muchos de los cuales causan daños graves a la salud, a la biodiversidad y al medio ambiente. Tampoco se puede seguir incorporando terrenos de bosques y selvas a la agricultura para satisfacer la demanda de alimentos.

No hay tecnología libre de riesgo. La biotecnología es una alternativa de menor riesgo que además, gracias a la inquietud sobre posibles riesgos por su utilización, hoy se cuenta con mecanismos para evaluar y manejar los posibles riesgos biológicos. Es fundamental que se siga haciendo un uso responsable de esta tecnología mediante un análisis y evaluación caso por caso y con sustento en evidencia científica de los organismos transgénicos y sus productos. No hay que olvidar que en México, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, como se verá en el siguiente capítulo, señala los principios y políticas de bioseguridad, además de prohibir el uso de esta tecnología para otros fines inadecuados como, por ejemplo, el desarrollo de armas biológicas. Toda tecnología es susceptible de ser usada de manera irresponsable, lo cual resultaría inmoral, ilegal e inaceptable y el uso indebido debería castigarse; sin embargo, esto no debe frenar el avance de la ciencia y la tecnología responsable en beneficio de la sociedad y el planeta.



Figura III.25. La biotecnología debe utilizarse para ayudar a preservar la biodiversidad y recuperar los ecosistemas contaminados.



IV. USO Y APLICACIÓN RESPONSABLES DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

IV.1. Consideraciones generales sobre el uso responsable del conocimiento científico y la biotecnología

La ciencia es una actividad humana intrínsecamente arraigada en su espíritu inquisitivo que busca generar conocimiento científico sobre el universo y la naturaleza, incluido el ser humano y la sociedad.

El sustento de la originalidad del nuevo conocimiento científico debe darse a través de la evaluación por pares y de su publicación en revistas y libros arbitrados. Es fundamental avalar la veracidad del conocimiento ya que la ausencia del sustento y la mentira destruyen la credibilidad de la sociedad por el trabajo científico.

El conocimiento científico ha sido utilizado para el desarrollo e innovación de tecnología pertinente y competitiva, con el propósito de resolver problemas y generar satisfactores para la sociedad.

– Es indispensable que la utilización del conocimiento científico y de la tecnología se dé: i) de forma respon-

sable y respetuosa de la salud y cuidando el medio ambiente; ii) de manera justa, tratando de reducir las diferencias sociales e inequidades; iii) respetando la riqueza cultural; iv) conforme a un marco jurídico adecuado y v) tras un análisis detallado de los beneficios y los riesgos que representa el uso o el no uso de una tecnología particular para la solución de algún problema.

– En particular, y para el caso de la biotecnología —como ha sido señalado— a la fecha no hay evidencia científica sólida de un impacto negativo y de daño por el uso de OGM y sus productos hoy presentes en el mercado. Sin embargo, como con cualquier tipo de tecnología, algunos productos transgénicos pudieran tener riesgos potenciales por lo que es necesario evaluar su uso, y en particular la liberación del OGM al ambiente, caso por caso y con base en evidencia científica sólida. Es relevante señalar que el conocimiento que se utilice para esta evaluación debe estar bien sustentado. Existen innumerables ejemplos de publicaciones que

son retiradas de las revistas por contener información falsa o no sustentada. Es fundamental que el conocimiento y las evidencias publicadas puedan ser obtenidas de manera independiente por otros grupos de investigación para realmente sustentar de manera sólida, el conocimiento y las evidencias publicadas. Es asimismo esencial que los experimentos se hayan realizado en las condiciones y con los controles adecuados (ver figura IV.1). Además, el conocimiento científico en esta área de la biotecnología debe usarse también para la generación de las bases para el desarrollo de tecnologías adecuadas, estadísticamente validadas, para la evaluación de las tecnologías biológicas y sus productos, incluyendo las que utilizan y evalúan los OGM.

IV.2. Acuerdos internacionales y regulación en México sobre el uso de los OGM

La utilización y liberación al ambiente de los OGM, ha despertado cuestionamientos y ha generado conciencia mundial sobre la importancia de analizar y evaluar responsable y exhaustivamente —tomando en cuenta los diferentes factores y los posibles riesgos— la liberación de los OGM al medio ambiente. Lo anterior ha permitido a través de discusiones y procesos de revisión por expertos, la creación de acuerdos internacionales y legislaciones nacionales para el manejo responsable de los OGM.

Contexto internacional

- Uno de los acuerdos internacionales es el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) firmado por México, el cual entró en vigor en 1993. En este Convenio se encuentra el compromiso de establecer un acuerdo sobre la seguridad de la biotecnología o bioseguridad. Por lo anterior, en el año 2000 se estableció el Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología (PCSB) del CDB, que fue ratificado por México y que entró en vigor en septiembre de 2003.

Mediante el Protocolo de Cartagena, los países firmantes se comprometieron a establecer las regulaciones y medidas necesarias para evaluar los movimientos transfronterizos de los transgénicos que pudieran tener efectos adversos sobre la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica o sobre la salud humana (*CDB 1993, PCSB 2000, SCSDB 2000*).

- Los organismos internacionales más importantes que realizan trabajos de análisis y participan en la discusión y establecimiento de mecanismos de cooperación relacionados con la bioseguridad son, entre otros:

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que cuenta con un área dedicada a la biotecnología, y dentro de las aportaciones en materia de OGM está la Conferencia de Edimburgo,

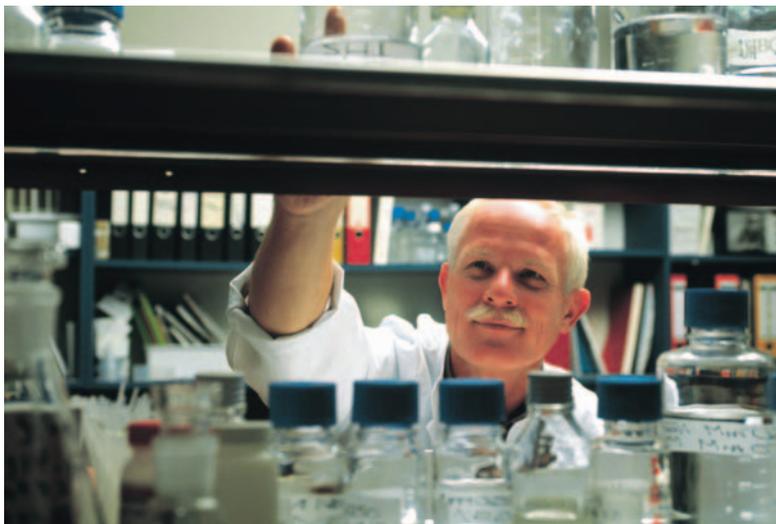


Figura IV.1. Evaluación de los organismos transgénicos y sus productos.

que concluyó con la integración de un panel de consulta y discusión sobre OGM. Los participantes (400 representantes de 40 países, incluidas ONG), identificaron aspectos relevantes como la necesidad de un debate más abierto, transparente e incluyente en los procesos de definición de políticas en la materia, así como el reconocimiento de la importancia del uso de los transgénicos y su inocuidad sobre la salud humana, entre otros.

Asimismo, la OCDE, en relación con la biotecnología, trabaja en la organización de reuniones, estudios y publicación de documentos entre los que destaca la versión revisada en 2006 de "OCDE Guidance for the Designation of a Unique Identifier for Transgenic Plants" <http://www2.oecd.org/biotech/>, mediante la cual se han establecido los lineamientos para la asignación de clave a los OGM. También se ha integrado una base de datos de acuerdo con lo establecido en el Protocolo de Cartagena, en la cual está una lista de OGM utilizados <http://bch.biodiv.org/about/default.shtml>. Esta base de datos permite a las autoridades de los países miembros compartir información sobre los productos de la nueva biotecnología.

La OMS coincide con el proceso de evaluación del riesgo de la liberación de OGM y considera que los diferentes organismos genéticamente modificados (GM) incluyen genes insertados en formas distintas. Esto significa que cada alimento GM y su inocuidad deben ser evaluados individualmente, caso por caso, y que no es

posible hacer afirmaciones generales sobre la inocuidad de todos los alimentos GM. Señala también que los alimentos GM actualmente disponibles en el mercado internacional han pasado las evaluaciones de riesgo y no han generado daño, y es probable que no presenten riesgos para la salud humana. Además, no se han demostrado efectos sobre la salud humana como resultado del consumo de dichos alimentos por la población en los países donde fueron aprobados. El uso continuo de evaluaciones de riesgo con base en los principios del *Codex Alimentarius*, y donde corresponda, incluido el monitoreo post comercialización, debe formar la base para evaluar la inocuidad de los alimentos GM.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la OMS han avalado protocolos para la pruebas de alimentos OGM. (OMS 2006, OCDE 2006, *Codex Alimentarius 2006*, Constable et al. 2007, *Fratamico 2008*, *Codex Alimentarius 2009*, James 2009).

- Es relevante señalar que a la fecha, 27 países tienen cultivos de transgénicos y que el área cultivada aumenta año con año. En 2009 se reportaron 134 millones de hectáreas sembradas por transgénicos, que incluyeron maíz, arroz, soya, papa, betabel, calabaza, alfalfa, canola y algodón. Existe un debate importante a nivel internacional sobre la evaluación, liberación y aspectos de seguridad de los OGM (ver figuras IV.2 y IV.3).

En los Estados Unidos de América, el país de mayor producción y utilización de productos transgénicos, ha habido desde su aparición, hace 30 años, un debate importante sobre los beneficios y posibles riesgos de estos productos. En este sentido, la Academia Nacional de Ciencias (NAS) y el Consejo Nacional de Investigación (NRC) de ese país han elaborado un conjunto importante de documentos relacionados con los transgénicos, entre los que destacan: a) seguridad del alimento de origen transgénico; b) efecto al medio ambiente de las plantas transgénicas; c) biotecnología animal y d) monitoreo de los cultivos de OGM, con el propósito

de orientar con sustento científico la toma de decisiones para la utilización de OGM.

En la Unión Europea se han desarrollado marcos jurídicos para la utilización y liberación de OGM. Recientemente, en Europa se autorizó el uso de nuevos cultivos, incluida la papa transgénica. También en China se aprobó el uso de arroz y nuevas variedades de maíz transgénico.

La propiedad intelectual de la mayor parte de los cultivos pertenece a las compañías transnacionales, como Monsanto, Dupont, Dow AgroSciences, Syngenta y Bayer, que suministran el grano a los campesinos en



Figura IV.2. Maíz transgénico.



Figura IV.3. Cultivar de arroz transgénico.

diferentes países (NRC 1989, 2002a, 2002b y 2004, Royal Society of London 2000, Thomas y Fuchs 2002, Gil y Martínez 2003, Flannery et al. 2004, AEBC 2004, APBN 2004, OCDE 2004 y 2006, Jaffe 2006, Trigo y Capp 2006, CIBIOGEM 2008, James 2008 y 2009, Kanter 2009, Tang et al. 2009, ISAAA 2010, Bio 2011).

Contexto nacional

- En México, el Congreso de la Unión (ver figura IV.4) con el apoyo del Comité de Biotecnología de la AMC y en cumplimiento con compromisos internacionales adquiridos —en particular, la firma del Protocolo de Cartagena— después de un proceso de consulta, discusión y revisión que tuvo una duración de tres años, emitió en el año 2005 la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM).

Esta Ley tiene como objetivo garantizar la protección de la salud humana, del medio ambiente, de la diversidad biológica y de la sanidad animal, vegetal y acuícola de actividades con OGM. Entre los elementos más importantes que contiene están los siguientes:

- i) la definición de los principios y política de bioseguridad —como la evaluación caso por caso y paso por paso— con base en conocimiento científico;
- ii) la determinación de competencias de diferentes dependencias gubernamentales;

- iii) el establecimiento de las bases para el funcionamiento de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM);
- iv) la definición de las bases de los procedimientos para evaluación y monitoreo caso por caso de posibles riesgos del uso de OGM;
- v) el establecimiento de regímenes para el manejo de OGM (permisos, avisos y autorizaciones);
- vi) bases para el establecimiento del Sistema Nacional de Información sobre Bioseguridad y Registro Nacional de Bioseguridad de OGM;
- vii) la determinación de áreas geográficas libres de OGM;
- viii) la definición de las bases para establecimiento de normas en materia de bioseguridad;
- ix) el establecimiento de las medidas de control y sanciones;
- x) la definición de los mecanismos para la participación pública, el acceso a la información y la participación social a través del Consejo Consultivo Mixto de la CIBIOGEM;
- xi) la definición de instrumentos de fomento a la investigación científica y tecnológica en materia de bioseguridad y biotecnología.

La Ley, publicada en el año 2005 en el Diario Oficial de la Federación (LBOGM, 2005) cuenta ya con un



Figura IV.4. Cámara de Diputados de México.

Reglamento publicado en el año 2008, para instrumentarla (RLBOGM, 2008).

- México adquiere semillas transgénicas como alimento de ganado (ver figura IV.5). Existen centros de investigación que trabajan en el desarrollo de cultivares adecuados para las condiciones del país. También existen empresas en el área de la Salud que producen proteínas recombinantes humanas para el tratamiento de varias enfermedades y problemáticas clínicas.

Desde 1988, la SAGARPA ha evaluado la liberación experimental de OGM. En el marco de la LBOGM se han empezado a evaluar, más recientemente, los posibles usos y liberación de OGM por la CIBIOGEM. Se han otorgado más de 60 permisos para siembra experimental de cultivares transgénicos. En México los registros de los cultivares transgénicos están a nombre de compañías transnacionales: Monsanto y filiales, Bayer y filiales y Dow AgroSciences. En marzo de 2011, la SAGARPA otorgó a la compañía Monsanto el primer permiso para la siembra de maíz transgénico a nivel piloto en Tamaulipas, fase previa para la comercialización del grano.

Sin embargo, es relevante enfatizar que independientemente del marco jurídico existente para el uso responsable de los OGM, nuestro país carece de una Política de Estado agropecuaria integral que contemple éstos y otros asuntos relevantes (como el de propiedad intelectual, la derrama de beneficios a los campesinos)

para garantizar un uso más justo y equitativo del conocimiento y la tecnología en beneficio de la sociedad y la biota mexicanas (LBOGM 2005, Bolívar et al. 2007, RLBOGM 2008, CIBIOGEM 2008, James 2009, ISAAA 2010, www.sagarpa.gob.mx 2011).

IV.3. Recomendaciones y consideraciones para el uso y la aplicación responsable de los organismos transgénicos

Se presentan a continuación recomendaciones adicionales al marco jurídico para el uso responsable de los OGM.

- Existe un consenso internacional sobre la necesidad de evaluar los posibles riesgos y dar seguimiento, caso por caso, con base en el conocimiento científico sólido, a los OGM que se deseen utilizar y liberar al medio ambiente. Es necesario, además, monitorear a corto, mediano y largo plazos la presencia de los OGM en diferentes nichos. En este análisis se debe considerar la comparación de los beneficios y posibles riesgos derivados del uso de un determinado OGM, así como los riesgos de no emplearlos si se mantienen los esquemas actuales de producción y de degradación (NRC 1989, 2002a, 2002b y 2004, Beck 1999, Hails 2000, Royal Society of London 2000, Dale 2002, Thomas y Fuchs 2002, Herrera-Estrella 2002, Ortiz y Ezcurra 2003, Kapuscinski et al. 2003, Flannery et al. 2004, AEBC 2004, APBN 2004, Bradford et al. 2005, Bertoni y Marsan 2005, Jaffe 2006,

Singh et al. 2006, OCDE 2006, Trigo y Capp 2006, Bolívar et al. 2007, CIBIOGEM 2008, James 2008 y 2009, Villalobos 2008, Tang et al. 2009, Kanter 2009, Traavik et al. 2009, ISAAA 2010).

- Hay consenso también en la importancia de realizar investigación interdisciplinaria sobre los transgénicos a través de la aplicación de las ciencias “ómicas” (genómica, proteómica, metabolómica), así como de la ecología y la bioinformática, entre otras. Lo anterior es importante ya que hay académicos que consideran que los transgenes pudieran generar respuestas no evidentes —en cuanto al genoma, transcriptoma y proteoma— en el organismo receptor, aunque algunos otros pensamos que éste no sería el caso, ya que como se señaló en el capítulo III de este documento, la transferencia horizontal del material genético y la reorganización del genoma, del transcriptoma y proteoma son fenómenos que ocurren de manera permanente por infecciones virales o transposición de ADN en la naturaleza, independientemente de los transgénicos.

Los organismos transgénicos, como se ha señalado, son generados por los mecanismos de transferencia horizontal y reorganización del genoma que son fenómenos que ocurren en la naturaleza. Se remarca que los organismos de la biota sufren modificaciones genéticas cotidianamente. Por lo anterior, los OGM son organismos con niveles de riesgo similares a los que

ocurren en la naturaleza, y en algunos casos, incluso, con menores modificaciones con relación a los cultivos tradicionalmente utilizados (*Bolívar et al. 2007, Batista et al. 2008, CIBIOGEM 2008, Fratamico 2008, Traavik et al. 2009, Doerr et al. 2010, Davis et al. 2010, Mallory-Smith y Sánchez 2011*).

- Se ha señalado, con base en evidencia científica sólida, que los OGM y en particular los cultivos transgénicos que se utilizan en la actualidad como alimento, no han generado daño a la salud humana. Sin embargo, es importante remarcar en que deben seguir realizándose las pruebas pertinentes y exhaustivas para mostrar la inocuidad alimentaria de los transgénicos que se consumen y de nuevos productos que se pretendan incorporar en el mercado (ver figuras IV.1 y IV.6). Es relevante insistir que existen numerosas publicaciones en las cuales se ha buscado analizar la posible toxicidad de plantas transgénicas y no se ha reportado daño a diversos animales utilizados en estos estudios. En ello se sustenta la ausencia de daño por el uso de los OGM y sus productos como alimentos. Sin embargo, también hay algunas publicaciones que parecieran indicar posibles efectos en algunos animales por el consumo de ciertos cultivos transgénicos. En este sentido, es fundamental que el conocimiento científico que se publique esté bien sustentado y que quede claro que las posibles evidencias de efectos negativos por el uso de organismos transgénicos



Figura IV.5. Maíz transgénico que se importa en México para alimento de ganado.

no implican, necesariamente, daño. Asimismo, es fundamental que cualquier evidencia publicada que señale posibles efectos por el uso de alimentos transgénicos y sus productos pueda ser obtenida de manera independiente por otros grupos de investigación para corroborar los resultados. Existen innumerables casos de evidencias publicadas en revistas de circulación internacional que luego son retiradas por falsas o incompletas o por carecer de los controles y condiciones adecuadas. Existen lamentablemente también artículos publicados cuyos resultados no pueden ser reproducidos de manera independiente.

Se hace énfasis en que ni la OMS ni las agencias de diferentes países encargadas del análisis y evaluación del uso de los organismos transgénicos han cambiado su posición sobre la inocuidad y la ausencia de daño por el uso de los alimentos transgénicos presentes actualmente en el mercado. Se ha comentado que en el caso del maíz Starlink se decidió —por la agencia gubernamental responsable en los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés)— retirarlo del mercado, porque pudiera causar alergias a algún tipo de consumidor. Si hubiera eventualmente evidencia contundente y confirmada de manera independiente de daño

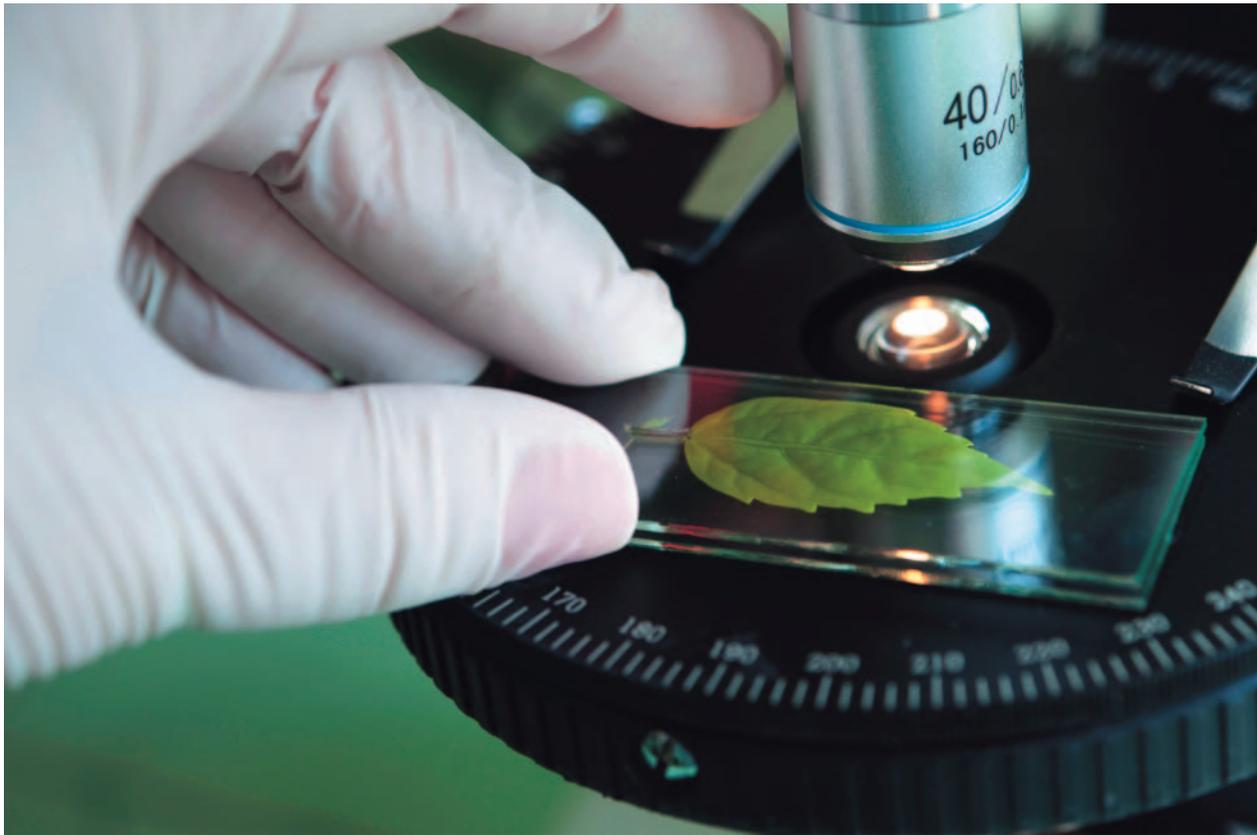


Figura IV.6. El análisis y caracterización de los cultivares transgénicos está estipulado en la LBOGM para evaluar el posible riesgo de estos alimentos.

a la salud humana por la ingesta de algún transgénico, habría que retirar ese transgénico en particular del mercado, como ocurrió en el mencionado caso del Starlink y como ocurre cuando se retira algún fármaco que demuestra daño a la salud (*Potrykus 1989, NRC 1989, 2002a, 2002b y 2004, Noteborne et al. 1995, Hammond et al. 1996 y 2004, Struck et al. 1997, Brake y Vlachos 1998, Pusztai et al. 1999, Hashimoto et al. 1999, Nuccio et al. 1999, Yao et al. 2000, Wang et al. 2000, Momma et al. 2000, Teshima et al. 2000 y 2002, Spencer et al. 2000, Reuter et al. 2002, Thomas y Fuchs 2002, Hammond 2002, Arias y Muñoz 2002, Herrera-Estrella et al. 2002 y 2003, Noyola et al. 2002, Pryme y Lembcke 2003, Bakshi 2003, Ibarra et al. 2003, Chen et al. 2003 y 2004, Purohit 2003, APBN 2004, Zhu et al. 2004, Zhuo et al. 2004, Brake y Evenson 2004, Green et al. 2004, Rhee et al. 2005, Metcalfe 2005, Trigo y Capp 2006, OMS 2006, Miller et al. 2006, Bolívar et al. 2007, Poulsen et al. 2007a y 2007b, Malley et al. 2007, Domingo 2007, Constable et al. 2007, Ramírez y Uribe 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Constable et al. 2007, Sakamoto et al. 2007 y 2008, Schroder et al. 2007, Seralini et al. 2007 y 2009, MacKenzie et al. 2007, McNaughton et al. 2008, He et al. 2008 y 2009, Healy et al. 2008, Delaney et al. 2008, James 2008 y 2009, CIBIOGEM 2008, Fratamico 2008, Magaña-Gómez et al. 2008, Tang et al. 2009, Codex Alimentarius 2009, Appenzeller et al. 2009a y 2009b, Mathesius et al. 2009, Domon et al. 2009, Herouet-*

Guicheney et al. 2009, Tutel'ian et al. 2009, Juberg et al. 2009, De Vendomois et al. 2009, Bio 2011, Domingo y Bordonaba 2011).

- Es importante realizar estudios sociales, económicos y bioéticos del uso de esta tecnología (es decir, el impacto de las patentes en los países pobres, aspectos éticos y sociales, económicos). Existe información que señala que existe una ganancia económica de más de 50 mil millones de dólares en el período 1996-2008 por el uso de los organismos transgénicos en agricultura, y que de éstos, 50% correspondió a una reducción de los costos de producción y, en particular, a un menor uso de pesticidas. En especial se señala una reducción en el uso de 34 millones de kilogramos de pesticidas, que representa cerca de 10% del total de pesticidas químicos que se utilizan en la actualidad. El uso de 134 millones de hectáreas sembradas con cultivos transgénicos representa 9% del total de 1,500 millones de hectáreas que se cultivan en el mundo. Actualmente se señala que los productos transgénicos han sido utilizados por más de 300 millones de personas en 57 países.

Por otro lado, en México es fundamental contar con una Política de Estado agropecuaria que contemple estos asuntos y el uso responsable de los organismos transgénicos de manera integral para garantizar una utilización más justa y equitativa de esta tecnología en beneficio de la sociedad y la biota mexicanas. Es

importante enfatizar que en México existen grupos que han desarrollado organismos transgénicos que ya se utilizan en nuestro país y también nuevas variedades vegetales que podrían utilizarse en beneficio del país. Por lo anterior, es indispensable la formación de recursos humanos de manera interdisciplinaria y el fortalecimiento de la infraestructura de investigación y de instancias con capacidad para evaluar integralmente los OGM y su utilización (ver figura IV.7). El establecimiento de los medios para la difusión de la información generada en la materia es también estratégico (Goedell et al. 1979, Moses y Cape 1991, Hails 2000, Bosch 2002, Thomas y Fuchs 2002, Purohit 2003, Gil y Martínez 2003, Rascón-Cruz et al. 2004, Sinagawa-García et al. 2004, Flannery et al. 2004, *Why Silence is not an Option* 2006, OCDE 2006, Constable et al. 2007, Valdez-Ortiz et al. 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Ramírez y Uribe 2007, CIBIOGEM 2008, James 2008 y 2009, Ayala-Rodríguez et al. 2009, ISAAA 2010).

- Es indudable para la comunidad científica nacional que los organismos y productos de origen transgénico representan una herramienta que no se puede soslayar en el desarrollo de la agricultura nacional, y que debe mantenerse un riguroso control, como hasta ahora ha sido, sobre la evaluación de posibles riesgos que pudieran ocasionar en particular las nuevas generaciones de transgénicos a la salud humana y a la biodiversidad.

En el planeta, existen más de 134 millones de hectáreas cultivadas con OGM en 27 países. Sin embargo, existen diferencias de opinión sobre la pertinencia de liberar de inmediato las variedades de cultivos transgénicos en los que México es centro de origen, como el maíz. Así, mientras que algunos ecólogos desearían que ningún maíz modificado llegara a suelo agrícola nacional, otros académicos opinan que los permisos podrían otorgarse para siembra en determinadas regiones, una vez evaluados en estudios de campo experimental, el nivel de posible riesgo y los controles necesarios para minimizar y monitorear el flujo de genes. De hecho, las consecuencias de un eventual flujo génico por el polen es también un tema polémico. Sin embargo, recientemente se ha reportado un estudio sobre el flujo de genes que confieren resistencia a herbicidas. En este reporte se señala que se ha demostrado que este tipo de genes se transfieren entre cultivos no modificados genéticamente y ciertas hierbas y otras especies vegetales relacionadas con estos cultivos. Lo anterior demuestra que este flujo génico ocurre independientemente de los transgenes y que la transferencia de ADN tiene lugar en la naturaleza entre cultivos y especies relacionadas, lo cual ha permitido la adquisición de nuevas capacidades a los cultivos y a otros organismos de la biota de manera natural y cotidiana. Lo anterior minimiza la preocupación de que los transgénicos vayan a ocasionar y ser los organismos responsables



Figura IV.7. La formación de recursos humanos es estratégica para propiciar el desarrollo de la ciencia y de la biotecnología.

de generar hierbas con varios genes de resistencia a antibióticos —llamados también “superhierbas”— ya que este fenómeno de transferencia de genes de resistencia a herbicidas entre cultivares y otros organismos vegetales relacionados con ellos, ocurre independientemente de los transgenes. En otras palabras, el flujo génico es independiente del origen del gen y la bioseguridad debe referirse al daño eventual que pudiera causar un gen, independientemente de su origen (Dale 2002, Thomas y Fuchs 2002, Kling 2003, Schieman 2003, INIA 2006, Singh et al. 2006, Bolívar et al. 2007, Valdez-Ortiz et al. 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, CIBIOGEM 2008, James 2008 y 2009, Ayala-Rodríguez et al. 2009, Traavik et al. 2009, ISAAA 2010, Bio 2011, Mallory-Smith y Sánchez 2011).

- Otra preocupación de los sectores que han expresado opiniones adversas a las plantas transgénicas es que ciertas variedades transgénicas que actualmente comercializan las empresas multinacionales no son las adecuadas para la agricultura nacional, ya que las plagas en Estados Unidos son distintas a las mexicanas. Por lo anterior, resulta fundamental el apoyo a los grupos académicos en las instituciones públicas del país, para que puedan desarrollar las variedades que México requiere. En muchos países se están desarrollando nuevos cultivos transgénicos de segunda generación en los que se busca elevar la calidad del alimento,

como es el caso del arroz dorado, en el que se producen mayores cantidades de precursores de la vitamina A y de tercera generación variedades de maíz que crecen con menores cantidades de agua [ver figuras II.15 y IV.8] (Ye et al. 2000, Potrykus 2001, Ibarra et al. 2003, Zhang et al. 2004, Flannery et al. 2004, Rascón-Cruz et al. 2004, Sinagawa-García et al. 2004, Bolívar et al. 2007, Herrera-Estrella y Martínez 2007, Byun et al. 2008, James 2009, Ayala-Rodríguez et al. 2009, Tang et al. 2009, ISAAA 2010, Gilbert 2010).

- Es primordial organizar la participación de los sectores académicos, industriales y gubernamentales para la integración de grupos multidisciplinarios que asesoren con información sustentada científicamente, en particular a la CIBIOGEM y las Secretarías de Estado involucradas en la evaluación del riesgo biológico, sobre la definición de estrategias y metodologías para la evaluación del riesgo de los organismos transgénicos con el fin de obtener, entre otros: i) la aprobación de su uso y liberación al ambiente sustentado en evidencia científica sólida; ii) procesos de verificación de los OGM utilizados y iii) procesos de seguimiento y diagnóstico de la presencia de OGM en diferentes nichos ecológicos (Beck 1999, Thomas y Fuchs 2002, ICSU 2003, Schieman 2003, Kapuscinski et al. 2003, *Why Silence is not an Option* 2006, OCDE 2006, Jaffe 2006, Bolívar et al. 2007, CIBIOGEM 2008, James 2009, Bio 2011).



Figura IV.8. Cultivar transgénico de arroz dorado.

- Es importante analizar la conveniencia de utilizar o modificar estrategias exitosas de otros países para la regulación nacional y regional, según las capacidades, características y necesidades de cada país. Quince miembros de la Unión Europea dentro de la evaluación del riesgo incluyen, entre otros, los siguientes aspectos: i) manera en que el gene introducido cambia a la planta modificada; ii) la evidencia de toxicidad y alergenicidad y iii) evaluación de los efectos en los organismos benéficos del entorno y consecuencias de la transferencia de genes (e.g. por polinización). Mientras que en muchas naciones (incluso en países de la Unión Europea como España) se discuten ya las condiciones para la coexistencia de cultivos OGM de primera y segunda generación —como el maíz transgénico que crece con menor cantidad de agua que los cultivos tradicionales— en países como el nuestro aún se discute si deben o no llevarse a cabo pruebas experimentales y se sugieran moratorias para éstas (*NRC 1989, 2002a, 2002b y 2004, Royal Society of London 2000, Dale 2002, Thomas y Fuchs 2002, Schieman 2003, ICSU 2003, Purohit 2003, AEBC 2004, APBN 2004, Ponti 2005, OCDE 2006, Trigo y Capp 2006, Domingo 2007, CIBIOGEM 2008, INRA 2009, James 2009, Bio 2011*).

- Se requiere que los legisladores y los responsables de las áreas administrativas cuenten con información actualizada y sustentada científicamente sobre el tema y

con la asesoría de personal técnico y científico. Es indispensable que las entidades gubernamentales responsables de la definición de las políticas para la liberación de transgénicos dispongan de los elementos adecuados para la emisión de las normas correspondientes, que definan los procedimientos administrativos para el uso de los OGM, de conformidad con la legislación nacional y los acuerdos internacionales. Es importante contar con los recursos humanos y materiales para implementar la LBOGM y su Reglamento (*Thomas y Fuchs 2002, LBOGM 2005, OCDE 2006, Dix et al. 2006, Singh et al. 2006, CIBIOGEM 2008, James 2009, ISAAA 2010, Bio 2011*).

IV.4. Usos ilegales y cuestionables de ciertos OGM

- La LBOGM señala explícitamente que ningún OGM podrá ser utilizado como arma biológica. Es posible construir ciertos OGM que pudieran tener impactos negativos en la salud humana, animal y vegetal y su construcción sería ilegal. Estos OGM no pueden ni deben siquiera construirse. Ejemplos de este tipo pudieran ser bacterias que normalmente viven en el intestino del humano a las que se les incorporaran genes productores de toxinas que afectan la salud, como las del botulismo o del cólera. En lo referente a las plantas, un ejemplo podría ser la utilización de genes terminadores que impidan la germinación de las siguientes generaciones de

semillas, ya que estos genes pudieran transmitirse de manera horizontal a otras plantas y generar daño.

- Existe consenso en la comunidad científica nacional sobre el hecho de que las plantas comestibles, y de manera específica el maíz, no deben modificarse genéticamente para que produzcan sustancias de interés industrial, tales como plásticos, aunque fuesen de naturaleza biodegradable. En particular, el uso de cultivares alimenticios para la producción de compuestos farmacéuticos (vacunas, hormonas proteicas, anticuerpos) de-

be ser analizado casuística y exhaustivamente, porque la posible ingesta de estas plantas, que pudieran producir medicamentos, pudieran asimismo tener efectos secundarios no previsibles relacionados con la dosis del medicamento que sea consumido en el cultivar transgénico.

En principio, podrían utilizarse plantas como tabaco y algodón para la producción de ciertos medicamentos y de compuestos que hoy se producen vía industria química para reducir la contaminación, en virtud de que estos vegetales no son plantas comestibles.



V. CONSIDERACIONES FINALES

El tema de la biotecnología moderna aplicada a la agricultura tiene muchos elementos de discusión y de polémica. Sin embargo, en el sector de la salud en lo referente a la producción de nuevos biomedicamentos, las aplicaciones avanzan de manera clara y contundente conteniendo con muchos problemas clínicos, proporcionando herramientas poderosas, novedosas y respetuosas del medio ambiente para resolver muchos de estos problemas.

Se requiere de una sociedad bien informada que pueda analizar todas y cada una de las alternativas tecnológicas para contender con los diferentes problemas y demandas, y de un decidido apoyo a la comunidad científica nacional para poder evaluarlas y aprovecharlas.

La biodiversidad es una gran riqueza nacional y del planeta. Se debe utilizar responsable y sustentablemente en busca de incorporar un mayor valor agregado a productos de origen biológico, y la biotecnología ha ayudado en este sentido y puede seguir ayudando en muchos aspectos. Se requiere, para ello, contar con

información científica sólidamente sustentada y analizada de manera responsable e integral, y no con supersticiones y prejuicios sin sustento que demonicen los organismos transgénicos y sus productos, para realizar un análisis objetivo de las ventajas y los riesgos de utilizar los OGM así como de no utilizarlos.

En la publicación se presenta un conjunto de evidencias sustentadas científicamente que soportan las razones para considerar a los OGM como organismos con niveles de riesgo similares a los que existen en la biota, ya que son creados por procesos de transferencia horizontal de material genético y reorganización del genoma, que ocurren cotidianamente en la naturaleza y que han sido parcialmente responsables de la evolución de las especies.

Finalmente, en el texto se señalan las recomendaciones para un uso responsable de los OGM que en nuestro país está normado, como se ha señalado, por el Protocolo de Cartagena, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y su Reglamento.

El uso de cualquier tecnología tiene riesgos potenciales. En este sentido, es importante señalar en que en el caso de ciertos fármacos en los que se demuestra daños a la salud por su uso, normalmente las agencias gubernamentales responsables retiran del mercado (de las farmacias) estos medicamentos. En el caso de los productos de origen transgénico y, en particular, de los alimentos transgénicos, existen dos ejemplos (el del maíz Starlink en EUA y una variedad de chícharos en Australia) en los que se encontraron posibles efectos alergénicos por su consumo y por ello el Starlink fue retirado del mercado y no se procedió a comercializar la producción de esos chícharos. Sin embargo, en cuanto a los cultivos transgénicos que hoy en día se utilizan, existe evidencia científica sólida de ausencia de daño a la salud humana sustentada en muchas publicaciones que demuestran ausencia de daño por el consumo por animales de diferentes cultivos transgénicos.

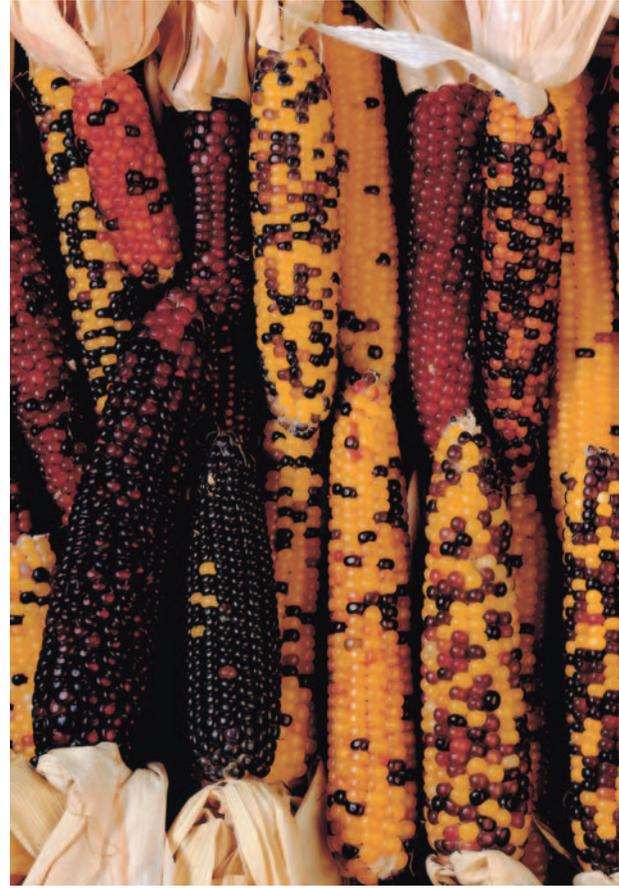
Sin embargo, existen algunas publicaciones recientes en donde se reportan posibles efectos negativos en algunos animales por el consumo de ciertos OGM. Es importante señalar nuevamente la relevancia de que estos experimentos se puedan repetir por otros grupos de manera independiente para validar los resultados, ya que pudieran existir otros factores responsables del posible daño, como la presencia de pesticidas o herbicidas químicos en los cultivos utilizados y que éstos

fueran los verdaderos responsables de los efectos negativos detectados por ciertos grupos. Sin embargo, de demostrarse contundentemente daño por algún OGM habría que cancelar el uso de ese OGM.

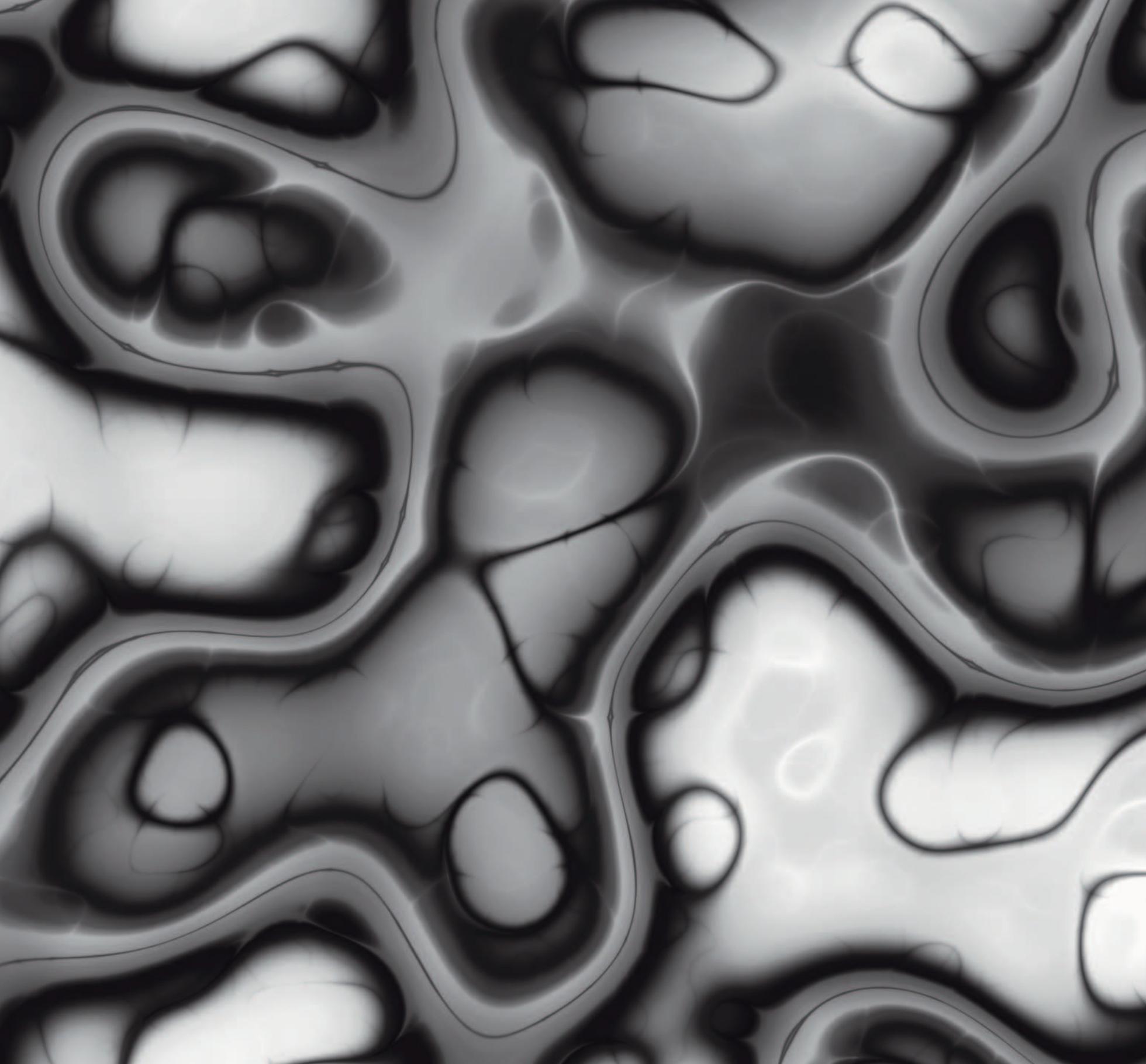
Se insiste que hasta la fecha, los datos publicados en la literatura no han motivado la cancelación y el retiro del mercado de los cultivos transgénicos que supuestamente los causan, por parte de las agencias gubernamentales responsables en diferentes países de la autorización del consumo y liberación de estos OGM. Por lo anterior, los organismos transgénicos y sus productos hoy autorizados y presentes en el mercado, se siguen utilizando y consumiendo en más de 50 países por cerca de 300 millones de personas.

Se reitera que existe un conjunto importante de evidencias científicas sólidas generadas por muchos grupos de manera independiente, que sustentan el bajo riesgo que implica el utilizar transgénicos o sus productos comerciales, por ser organismos generados por procesos de transferencia horizontal de ADN y de reorganización del genoma que ocurren cotidianamente en la naturaleza.

La biotecnología no es en forma innata buena o mala. Tiene un potencial para aligerar o agravar el impacto de la actividad agropecuaria en el medio ambiente. El reto es desarrollar, proveer y manejar la biotecnología en beneficio del ser humano y del ambiente.



Figuras V.1. y V.2. El medio ambiente y la biodiversidad de nuestro planeta son vitales para la vida humana.
En estas mazorcas, de manera natural han ocurrido rearrreglos de material genético
en las células de aquellos granos responsables de los colores.



ANEXO 1: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEBC, 2004. UK Agriculture and Environment Biotechnology Commission, AEBC04/20A, Research agenda workteam: plant breeding case study.
- Andersson S., Zomorodipour A., Andersson J. et al., 1998. The genome sequence of *Rickettsia prowazaki* and the origin of mitochondria. *Nature* 396, 133-140.
- Andersson J., Doolittle W., Nerbo C., 2001. Are there bugs in our genome? *Science* 292, 1848-1850.
- APBN, 2004. Green Light for GM Cotton Australia, Asia Pacific Biotech News 10/30/2004, 8(20), 1125-1125, 1/2p; (AN 14978402).
- Appenzeller L.M. et al., 2009a. Subchronic feeding study with genetically modified stacked trait lepidopteran and coleopteran resistant maize grain in Sprague-Dawley rats. *Food Chem Toxicol.* 47, 1512-1520.
- Appenzeller L.M. et al., 2009b. Subchronic feeding study of grain from herbicide-tolerant maize DO-098-140-6 in Sprague-Dawley rats. *Food Chem Toxicol.* 47, 2269-2280.
- Arabidopsis Genome Initiative, 2002. *Nature* 408, 796-813.
- Aravind L. et al., 1998. Evidence of massive gene exchange between archeal and bacterial hyperthermophilus. *Trends Genet.* 14, 442-444.
- Arber W., 1993. Evolution of prokaryotic genomes. *Gene* 135, 49-56.
- Arias C., Muñoz O., 2002. La Biotecnología en el sector Salud. En: *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el siglo XXI. Retos y oportunidades*. F. Bolívar (Coord.), Fondo de Cultura Económica y CONACYT. México, D.F., 171-183.
- Arias C., 2007. La vacuna contra la hepatitis B; un éxito de la Biotecnología. En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, Francisco G. Bolívar Zapata (Coord. y Ed.), El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, 2ª. Edición, México D.F., 355-370.
- Arias C. et al., 2009. Molecular anatomy of 2009 influenza virus A(H1N1). *Arch. Med. Res.* 40 (8), 643-654.
- Avery O., MacLeod C., McCarty R., 1944. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *J. Exp. Med.* 79, 137-158.
- Ayala-Rodríguez A.E., Gutiérrez-Dorado R., Millán-Carrillo J., Mora-Rochín S., López-Valenzuela J.A., Valdez-Ortiz A., Paredes-López O., Reyes-Moreno C., 2009. Nixtamalized flour and tortillas from transgenic maize (*Zea mays L.*), expressing amarantin: Technological and nutritional properties. *Food Chemistry* 114, 50-56.

- Bainbridge J., 2005. Plant biotechnology, the regulator and the consumer. *Journal of Commercial Biotechnology* 11(3), 222-227.
- Bakshi, A., 2003. Potential adverse health effects of genetically modified crops. *J. Toxicol. Environ. Health* 6, 211-225.
- Barrera H., 2002. Biotecnología en el sector pecuario. En: *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el siglo XXI. Retos y oportunidades.* F. Bolívar (Coord.), Fondo de Cultura Económica y CONACYT. México, D.F., 225-241.
- Barrera H., 2007. Manipulación genética de animales. Transgenosis y clonación. En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, Francisco G. Bolívar Zapata (Coord. y Ed.), El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, 2ª. México D.F., Edición, 131-165.
- Batista R. et al., 2008. Microarray analyses reveal that plant mutagenesis may induce more transcriptomic changes than transgene insertion. *PNAS* 105 (9), 3640 -3645.
- Beck U., 1999. *La sociedad del riesgo global*. Siglo XXI Editores, México D.F.
- Belyi V. et al., 2010. Unexpected inheritance: Multiple integration of ancient bornavirus and ebolavirus/marburgvirus sequences in vertebrate genomes. *Plos Pathogens* 29; 6(7).
- Berg D., Howe M. (Eds.), 1989. *Mobile DNA*, American Society for Microbiology, USA.
- Bernstein V.A. et al., 2003. Clinical and laboratory investigation of allergy to genetically modified foods. *Environ Health Perspect.* 111, 1114-1121.
- Bertoni G., Marsan P.A., 2005. Safety risks for animals fed genetic modified (GM) plants. *Veterinary Research Communications* 29(2), 13-18.
- Bio, 2011. Biotechnology Industry Organization. History of Biotechnology <http://valuesofbiotech.com/biotech.com/biotech-basics/history>
- The Biotech revolution. Analysis of future technologies and markets*, 1998, Technical insights, John Wiley and Sons, USA.
- Bolívar F., Rodríguez R., Greene P., Betlach M., Heyneker H., Boyer H., Crossa J., Falkow S., 1977. Construction and characterization of new cloning vehicles. II A multiple purpose cloning vehicle. *Gene* 2, 95-113.
- Bolívar F., Arias C., Arriaga E., Barrera H., Bosch P., Espinosa J., Galindo E., Gálvez A., Gracia A., Herrera-Estrella L., Larqué A., López-Munguía A., Muñoz O., Noyola A., Ortega R., Quintero R., Ramírez O., Revah S., Serrato J., Soberón J. y Soberón X., 2002. *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el Siglo XXI. Retos y Oportunidades*. Francisco Bolívar Zapata (Coord. y Ed.), CONACYT, Fondo de Cultura Económica, México D.F.
- Bolívar F. et al., 2003. *Recomendaciones para el desarrollo y consolidación de la Biotecnología en México*. F. Bolívar (Coord.). Academia Mexicana de Ciencias y CONACYT, México D.F.
- Bolívar F., 2007. Ciencia genómica, proteómica y bioinformática. En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, Francisco G. Bolívar Zapata (Coord. y Ed.), El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, México D.F., 2ª. Edición, 85-116.
- Bolívar F. et al., 2007. *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. Francisco G. Bolívar Zapata (Coord. y Ed.), 2ª. Edición, El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, México D.F.
- Borderstein S.R., 2003. Symbiosis and the origin of species.

- En: *Insect Symbiosis*. Bourtris K., Miller T. (Eds), CRC Press. USA.
- Bosch P., 2002. Importancia de la Biotecnología para la economía mexicana. En: *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el siglo XXI. Retos y oportunidades*. F. Bolívar (Coord.), Fondo de Cultura Económica y CONACYT. México, D.F., 27-41.
- Bradford K.J., Van Deynze A., Gutterson N., Parrott W., Strauss S.H., 2005. Regulating transgenic crops sensibly: lessons from plant breeding, biotechnology and genomics. *Nature Biotechnology* 23, 439-444.
- Brake J., Vlachos D., 1998. Evaluation of transgenic event 176 "Bt" corn in broiler chickens. *Poultry Sci.* 77, 648-653.
- Brake D., Evenson D., 2004. A generational study of glyphosate-tolerant soybeans on mouse fetal, postnatal, pubertal and adult testicular development. *Food Chem. Toxicol.* 42, 29-36.
- Brink M. et al., 2000. Developing efficient strategies for the generation of transgenic cattle which produce biopharmaceuticals in milk. *Theriogenology* 53, 139-148.
- Brussow H., Canchaya C., Hardt W., 2004. Phages and the evolution of bacterial pathogens: from genomic rearrangements to lysogenic conversion. *Microbiol. Mol. Bio. Rev.* 68, 560-602.
- Brown T.A., 1999. *Genomes*. Wiley-Liss. New York, USA.
- Byun M., Known H., Park S., 2008. Recent advances in genetic engineering of potato crops for drought and saline stress tolerance. En: *Advances in Molecular Breeding towards drought and salt tolerance crops*, Jenks M.A., Hasegawa P.M. & Jain S.M. (Eds.), 713-730. Springer, The Netherlands.
- Campbell A., 1996. Bacteriophages. En: *Escherichia coli and Salmonella: Cellular and molecular biology*. Neidhart et al (Eds.), 2nd Edition. ASM Press. Washington, USA.
- Carroll S., 2006. *The making of the fittest: DNA and the ultimate forensic record of evolution*. W.W. Norton. USA.
- CDB, 1993. Convenio sobre Diversidad Biológica. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Ambiental.
- CDC, 2001. Investigation of human health effects associated with potential exposure to genetically modified corn: A report of the US Food and Drug Administration for the Centers for Disease Control (CDC) and Prevention. Atlanta, USA. Centers for Disease Control and Prevention, 1-24.
- Chen I., Dubnau D., 2004. DNA uptake during bacterial transformation. *Nat. Rev. Microbiol.* 2, 241-249.
- Chen X. et al., 2004. Immunotoxicologic assessment of transgenic rice. *Wei Shang Yan Jiu* 33, 770-780.
- Chen Z. et al., 2003. Safety assessment for genetically modified sweet pepper and tomato. *Toxicology* 188, 297-307.
- CIBIOGEM, 2008. Bioseguridad en la aplicación de la Biotecnología y el uso de los organismos genéticamente modificados. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. México, D.F.
- CODEX ALIMENTARIUS, 2006 http://www.codexalimentarius.net/web/index_es.jsp
- Codex Alimentarius Commission, 2006. Report of the sixth session of the Codex ad hoc Intergovernmental Task Force on Foods Derived from Biotechnology (ALI-NORM 07/30/34).
- CODEX ALIMENTARIUS Comission, 2009. Foods derived from modern biotechnology, FAO/WHO, Rome, 1-85.
- Cohen S. et al., 1973. Construction of biologically functional bacterial plasmids *in vitro*. *PNAS* 70, 3240-3244.

- Colleaux *et al.*, 1986. Universal code equivalent of a yeast mitochondrial intron reading frame is expressed into *E. coli* as a specific double strand endonuclease. *Cell* 44, 521-533.
- Constable A., Jonas D., Cockburn A., Edwards G., Hepburn P., Heroued C., Knowles M., Mosley B., Oberdoffer R., Samuels F., 2007. History of safe use as applied to safety assessment of novel foods and foods derived from genetically modified organisms. *Food Chem Toxicol.* 45, 2513-2525.
- Copsey D., Delnatte S. (Eds.), 1990. *Genetically engineered human therapeutic drugs*. Stockton Press, McMillan publishers. Great Britain.
- Coyne J., 2009. *Why evolution is true*. Oxford University Press. England.
- Daar A. Martin D., Nast S., Smith A., Singer P., Thorsdottir H., 2002. Top ten biotechnologies for improving health in developing countries. *Nature Genetics* 32, 229-232.
- Dale P.J., 2002. The environmental impact of genetically modified (GM) crops: a review. *Journal of Agricultural Science* 138, 245-248.
- Darwin Ch., 1859. *On the Origin of Species*, John Murray, London. Traducido al español y editado por Editorial Porrúa 2002 como "El Origen de las Especies", México, D.F.
- Darwin Ch., Wallace A., 1859. On the tendency of species to form varieties and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection. *J. of the Proceedings of the Linnean Society (Zoology)* 3, 45-62.
- Davis H., Shepherd L., Steward D., Frank T., Rholing R., Engel K., 2010. Metabolome variability in crop species. When, where, how much and so what. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 58, 534-561.
- Dawkins R., 2009. *The greatest show on earth. The evidence for evolution*. Free Press, New York, USA.
- De Vendomois J. *et al.*, 2009. A comparison of the effects of three GM corn varieties on mammalian health. *Int. J. Biol. Sci.* 5, 706-726.
- Delaney B. *et al.*, 2008. Subchronic feeding study of high oleic acid soybeans in Sprague-Dawley rats. *Food Chem. Toxicol.* 46, 3808-3817.
- Denamur E. *et al.*, 2000. Evolutionary implications of the frequent horizontal transfer of mismatch repair genes. *Cell* 103, 711-721.
- Dix D.J., Gallagher K., Benson W.H., Groskinsky B.L., McClintock J.T., Dearfield K.L., Farland W.H., 2006. *Nature Biotechnology* 24, 1108-1111.
- Doerrer N., Ladics G., McClain S., Herouet-Guichevey C., Poulsen L., Privalle L., Staggs N., 2010. Evaluating biological variation in non-transgenic crops: Executive summary from the ILSI Health and Environmental Sciences Institute Workshop, Paris, France. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 58, 52-57.
- Domingo J., 2007. Toxicity studies of genetically modified plants: a review of the published literature. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47, 721-733.
- Domingo J., Bordonaba J., 2011. A literature review of the safety assessment of genetically modified plants. *Environmental International* 37, 734-742.
- Domon E. *et al.*, 2009. 26-Week oral safety study in macaques for transgenic rice containing major human T-cell epitope peptides from Japanese cedar pollen allergens. *J. Agric. Food Chem.* 57, 5633-5638.
- Doolittle W., 1998. You are what you eat: a gene transfer ratchet could account for bacterial genes in eukaryotic nuclear genomes. *Trends Genetics* 14, 307-311.
- El-Sayed N.M. *et al.*, 2005a. Comparative genomics of try-

- panosomatid parasitic protozoa. *Science* 309, 404-409.
- El-Sayed N.M. *et al.*, 2005b. The genome of the african trypanosome *Trypanosoma brucei*. *Science* 309, 416-422.
- Emini E. (Ed.), 2002. *The human immunodeficiency virus: biology, immunology and therapy*. Princeton University Press, USA.
- Enserink M., 2011. DNA sequence yields clues to Germany's supertoxic *E. coli* outbreak. *Science News Insider* <http://news.sciencemag.org/scienceinsider/2011/sequence-yields-clues-to-germany.html>
- Estruch J. *et al.*, 1997. Transgenic plants: An emerging approach to pest control. *Nature Biotechnology* 15, 137-141.
- Federoff N.V., 1989. About maize transposable elements and development. *Cell* 56, 181.
- Filipecki M., Malepszy S., 2006. Unintended consequences of plant transformation: a molecular insight. *J. Appl. Genet.* 47, 277-286.
- Flannery M., Thorne F., Kelly P., Mullins E., 2004. An economic cost benefit analysis of GM crops-cultivation: an Irish case study. *The Journal of Agrobiotechnology, Managements and Economics* 7, 149-157.
- Fratamico P., 2008. The application of "omics" technology for food safety and research. *Foodborne Patho. Dis.* 5, 369-370.
- Garten R. *et al.*, 2009. Antigenic and genetic characteristics of swine origin 2009 AH1N1 influenza viruses circulating in humans. *Science* 325 (5937), 197-201.
- Gil L., Martínez, M. (Eds.), 2003. *Bioseguridad y comercio internacional de alimentos transgénicos en las Américas: decisiones y desafíos*. OEA y Gobierno de Chile.
- Gilbert N., 2010. Food: Inside the hothouses of Industry. *Nature* 466, 548-551.
- Goeddel, D. Kleid D., Bolívar F., Heyneker A., Yansura D., Crea R., Hirose T., Kraszewski A., Itakura K., Riggs A.D., 1979. Expression of chemically synthesized genes for human insulin. *PNAS* 76, 106-110.
- Goff J. *et al.*, 2000. The rice genome. *Science* 296, 92-100.
- Gracia A., 2002. Biotecnología marina y acuicultura. En: *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el siglo XXI. Retos y oportunidades*. F. Bolívar (Coord.), Fondo de Cultura Económica y CONACYT. México, D.F., 211-221.
- Gracia A., 2007. Peces transgénicos en acuicultura. En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, Francisco G. Bolívar Zapata (Coord. y Ed.), El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, 2ª. Edición, México D.F., 659-673.
- Green J., Aschengrau A., McKelvey W., Rudel R.A., Swartz C.H., Kennedy T., 2004. Breast cancer risk and historical exposure to pesticides from wide-area applications assessed with GIS. *Environmental Health Perspectives* 112(8), 889-897.
- Griffiths A., Miller J., Suzuki D., Lewontin R., Gelbart W., 1993. *Genetic analysis*. W.H. Freeman and Co, USA.
- Gupta R., Golding G., 1996. The origin of the eukaryotic cell. *Trends Biochem. Sci* 21, 166-171.
- Hacker J., Kaper J., 2000. Pathogenicity islands on the evolution of microbes. *Annu. Rev. Microbiol.* 54, 641-679.
- Hails R., 2000. Genetically modified plants. The debate continues. *Trends in Environmental Ecology* 15, 14-18.
- Hammond B. *et al.*, 1996. The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *J. Nutri.* 126, 717-727.
- Hammond B. *et al.*, 2004. Results of a 13 week safety assurance study with rats fed grain from glyphosate tolerant corn. *Food Chem. Toxicol.* 42, 1003-1014.

- Hammond J., 2002. Lower fumonism mycotoxin levels in the grain of Bt corn grown in the United States in 2000-2002. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24, 211.
- Hashimoto W. et al., 1999. Safety assessment of genetically engineering potatoes with designed soybean glycin: compositional analysis of the potato tubers and digestibility of the newly expressed protein in transgenic potatoes. *J. Sci. Food. Agric.* 79, 1607-1612.
- Hayden E.C., 2011. Human genome at ten: Life is complicated. *Nature* 464, 646-647.
- He X. et al., 2008. Comparison of grain from corn rootworm resistant transgenic DAS-59122-7 maize with non-transgenic maize grain in a 90-day feeding study in Sprague-Dawley rats. *Food Chem Toxicol.* 46, 1994-2002.
- He X. et al., 2009. A 90-day toxicology study of transgenic lysine-rich maize grain (Y642) in Sprague-Dawley rats. *Food Chem Toxicol.* 47, 425-432.
- Healy C. et al., 2008. Results of a 13-week safety assurance study with rats fed grain from corn rootworm-protected, glyphosate-tolerant MON 88017 corn. *Food Chem Toxicol.* 46, 2517-2524.
- Heinemann J., Traavik T., 2004. Problems in monitoring horizontal gene transfer in field trials of transgenic plants. *Nature Biotechnology* 22, 1105-1109.
- Herouet-Guicheney C. et al., 2009. Safety evaluation of the double mutant 5-enol pyruvylshikimate-3-phosphate synthase (2mEPSPS) from maize that confers tolerance to glyphosate herbicide in transgenic plants. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 54, 143-153.
- Herrel A. et al., 2004. Omnivory in lacertid lizards: adaptive evolution or constraint?, *J. of Evolutionary Biology* 17, 974-984.
- Herrera-Estrella L., Depicker A., Van Montagu M., Schell J., 1983. Expression of chimeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector. *Nature* 303, 209-213.
- Herrera-Estrella L. et al., 2002. La Biotecnología en el sector agrícola. En: *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el siglo XXI. Retos y oportunidades*. F. Bolívar (Coord.), Fondo de Cultura Económica y CONACYT. México, D.F., 147-166.
- Herrera-Estrella L., Martínez M., 2003. Aplicaciones y controversias de las plantas transgénicas. En: *Fronteras de la Biología en los inicios del siglo XXI, Módulo 3 "Biotecnología Agrícola"*, F. Bolívar y L. Herrera-Estrella, Coordinadores. El Colegio Nacional, México D.F.
- Herrera-Estrella L., Martínez M., 2007. Plantas Transgénicas. En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, Francisco G. Bolívar Zapata (Comp. y Ed.), El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, 2ª. Edición, México D.F., 167-194.
- Heyneker H. et al., 1976. Synthetic lac operator is functional in vivo. *Nature* 263, 748-752.
- Hogg J., 1861. On the distinctions of a plant and an animal, and on a Fourth Kingdom of Nature. *Edinburgh New Philosophical Journal* 12, 216-225.
- Horie M. et al., 2010. Endogenous non-retroviral RNA virus elements in mammalian genomes. *Nature* 463 (7277), 84-87.
- Hozim A. Tonewaga T., 1976. Evidence of somatic rearrangement of immunoglobulin genes, *PNAS* 73, 3628.
- Ibarra J., Soberón M., Bravo A., 2003. La biotecnología y el control biológico de insectos. En: *Fronteras de la Biología en los inicios del siglo XXI, Módulo 3 "Biotecnología Agrícola"*, F. Bolívar y L. Herrera-Estrella, Coordinadores. El Colegio Nacional, México D.F.

- ICSU (International Council for Science), 2003. New Genetics, food and agriculture. Scientific discoveries-social dilemmas. Francia. <http://www.icsu.org>
- INIA, 2006. En el desarrollo de plantas y otros organismos genéticamente modificados, http://www.inia.cl/biotecnologia/publicaciones/GMO_INIA.pdf+inia+trasng%C3%A9nicos&hl=es&gl=mx&ct=clnk&cd=1 y en, http://www.inia.cl/biotecnologia/publicaciones/GMO_INIA.pdf
- INRA, 2009. http://www.international.inra.fr/es/colaboraciones/el_espacio_europeo_de_investigacion/participacion_en_programas_europeos/ejemplos_de_exito/coexistencia_y trazabilidad_de_los_sector_ogm_y_no_ogm_co_extra
- ISAAA, 2010. International service for the acquisition of agro-biotech applications. <http://www.isaaa.org/resources/publications>
- Itakura K., Hirose T., Crea R., Riggs A., Heyneker H., Bolívar F., Boyer H., 1977. Expression in *Escherichia coli* of chemically synthesized gene for the hormone somatostatin. *Science* 198, 1056-1063.
- Itakura K., Riggs A., 1980. Chemical DNA synthesis and recombinant DNA studies. *Science* 209, 1401-1405.
- Ivens K. et al., 2005. The genome of the kinetoplastid parasite, *Leishmania major*. *Science* 309, 436-442.
- Jackson D., Symons R., Berg P., 1972. Biochemical method for inserting new genetic information into DNA of Simian virus 40: circular SV40 DNA molecules containing lambda phage genes and the galactose operon of *Escherichia coli*. *PNAS* 67, 2904-2909.
- Jaffe J., 2006. Regulatory slowdown on GM crop decisions. *Nature Biotechnology* 24, 748-749.
- James C., 2008. BRIEF 39-2008: Global status of commercialized biotech/gm crops: 2008 The first thirteen years, 1996 to 2008, ISAAA. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/39/executivesummary/default.html>. (Consulta 15 de junio de 2009).
- James C., 2009. Global status of commercialized biotech/GM crops. ISAAA Brief No. 41, ISAAA. USA.
- Jiang N. et al., 2011. Pack mutator like transposable elements induce directional modifications of genes through biased insertion and DNA acquisition. *PNAS* 108, 1537-1542.
- Johanson D.C., Edey M., 1981. *Lucy: The beginnings of humankind*. London, Canada.
- Joset F., Guespin M.J., 1993. *Prokaryotic genetics: Genome organization, transfer and plasticity*. Blackwell. London, Great Britain.
- Jubert D.R. et al., 2009. Acute and repeated dose (28 day) mouse oral toxicology studies with Cry34Ab1 and Cry35Ab1 Bt proteins used in coleopteran resistant DAS-59122-7 corn. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 54, 154-163.
- Kanter J., 2009. E.U. clears biotech potato for cultivation. The New York Times, March 3th, Sección: Global Business <http://www.nytimes.com/2010/03/03/business/global/03potato.html?ref=world&pagewanted=print>
- Kaper J. et al., 1997. Genetics of virulence of enteropathogenic *E. coli*. *Adv. Exp. Med. Biol.* 412, 279-287.
- Kapuscinski A.R., Goodman R.M., Hann S.D., Jacobs L.R., Pullins E.E., Johnson C.S., Kinsey J.D., Krall R.L., La Viña A.G.M., Mellon M.G., Ruttan V.W., 2003. Making 'safety first' a reality for biotechnology products. *Nature Biotechnology* 21, 599-601.
- Kellis H. et al., 2004. Proof and evolutionary analysis of ancient genome duplication in the yeast *S. cerevisiae*. *Nature* 428, 617.
- Kling J., 1996. Could transgenic supercrops one day breed superweeds? *Science* 274, 180-181.

- Korana H., 1979. Total synthesis of a gen. *Science* 203, 614-625.
- Kosieradzka I. et al., 2001. The effect of feeding diets with genetically modified cucumbers on the growth and health status of rats. *J. Anim. Feed Sci.* 10 (suppl. 2), 7-12.
- Krom N., Ramakrishna W., 2010. Conservation, rearrangements and deletion of gene pairs during evolution of four grasses genomes. *DNA Research* 17, 343-352.
- Kupferschmidt K., 2011. Scientists rush to study genome of lethal *E.coli*. *Science* 332, 1249-1250.
- Lengeler J., Drews G., Schlegel H., 1999. *Biology of the prokaryotes*. Blackwell Science, USA.
- Lewin B., 1994. *Genes V*. Oxford University Press, USA.
- Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), Diario Oficial de la Federación, 18 de marzo de 2005, págs. 54-85, México, D.F. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/Ley_BOGM.pdf
- López-Munguía A. et al., 2002. Biotecnología e Industria. En: *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el siglo XXI. Retos y oportunidades*. F. Bolívar (Coord.), Fondo de Cultura Económica y CONACYT. México, D.F., 245-278.
- López-Munguía A., 2007. Casos exitosos de la tecnología enzimática y la biocatálisis en México. En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, Francisco G. Bolívar Zapata (Comp. y Ed.), El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, 2ª. Edición, México D.F., 429-450.
- Lwoff A., 1953. Lysogeny. *Bacterial Reviews* 17, 269-337.
- Mackenzie S.A. et al., 2007. Thirteen week feeding study with transgenic maize containing event DAS-011507-1 in Sprague-Dawley rats. *Food Chem. Toxicol.* 45, 551-562.
- Madigan M., Martinko J., Parker J., 2000. *Biology of microorganisms*. Prentice Hall, USA.
- Maeda N., Smithies O., 1986. The evolution of multigene families: human haptoglobin genes. *Annu. Rev. Genet.* 20, 81-108.
- Magaña-Gómez J. et al., 2008. Pancreatic response of rats fed genetically modified soybean. *J. Appl. Toxicol.* 28, 217-226.
- Malley L.A. et al., 2007. Subchronic feeding study of DAS-59122-7 maize grain in Sprague-Dawley rats. *Food Chem. Toxicol.* 45, 1277-1292.
- Mallory-Smith C., Sánchez-Olguín E., 2011. Gene flow from herbicide resistance crops: It is not just for transgenes. *J. Agricultural and Food Chemistry* 59, 5813-5818.
- Margulis L., Sagan D., 2005. *What is life?* University of California Press, USA.
- Mathesius C.A. et al., 2009. Safety assessment of a modified acetolactate synthase protein (GM-HRA) used as a selectable marker in genetically modified soybeans. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 55, 309-320.
- Matic I. et al., 1995. Interspecies gene exchange in bacteria. *Cell* 80, 507-515.
- Matzke M., Matzke A., 1996. Stable epigenetic states in differentiated plant cells. En: *Epigenetic mechanisms of gene regulation*. Russo et al. (Eds.), Cold Spring Harbor Press, USA, 377-392.
- Mazodier P., Davis J., 1991. Gene transfer between distantly related bacteria. *Annu. Rev. Genet.* 25, 147-171.
- McClintock B., 1957. Controlling elements and the gene. *Cold Spring Harbor Symposium* 21, 197.
- McClintock B., 1987. *The discovery and characterization of transposable elements: the collected papers of Barbara McClintock*. Garland Publishers, USA.

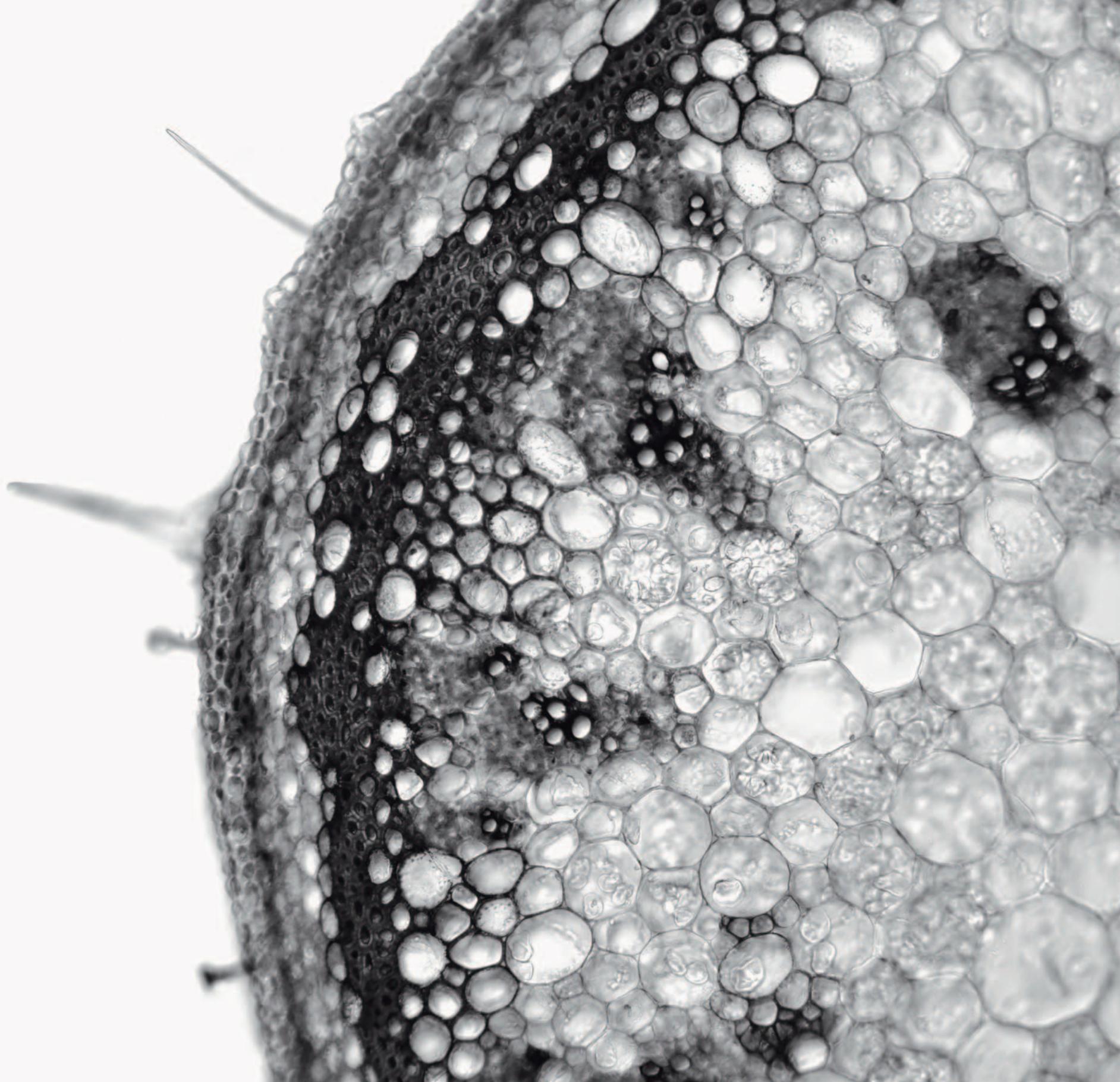
- McDonald J., 1995. Transposable elements: possible catalysis of organismic evolution. *Trends Ecol. Evol.* 10, 123-126.
- McNaughton J. et al., 2008. Comparison of broiler performance when fed diets containing event DP-305423-1 nontransgenic near-isoline control, or commercial reference soybean meal, hulls and oil. *Poult Sci.* 87, 2549-2561.
- Metcalfe D., 2005. Genetically modified crops and allergenicity. *Nature Immunology* 6, 857-860.
- Michel F., Dubon B., 1986. Genetic exchanges between bacteriophage T4 and filamentous fungi. *Cell* 46, 323-335.
- Miller H.I., Conko G., Kershen D.L., 2006. Why spurning food biotech has become a liability. *Nature Biotechnology* 24, 1075-1077.
- Momma K. et al., 2000. Safety assessment of rice genetically modified with soybean glycinin by feeding studies on rats. *Biosci. Biotech. Biochem.* 64, 1881-1886.
- Moses V., Cape R., 1991. *Biotechnology: the science and business*. Hardwood Academic Publishers. USA.
- Mullis K., Falonna F., 1987. Specific synthesis of DNA in vitro via polymerase catalyzed chain reaction. *Meth. Enzymol.* 55, 335-350.
- Murat F. et al., 2010. Ancestral grass karyotype reconstruction unvalis new mechanisms of genome shuffling as a source of plant evolution. *Genome Research* 20, 1547-1557.
- Nass S., 1969. Similarities of bacteria and mitochondria. *International Review of Citology* 23, 55-118. G.H. Bourne, J.F. Danielli (Eds.), Elsevier, USA.
- Noteborne H. et al., 1995. Safety assessment of the *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal protein CRY1A(b) expressed in transgenic tomatoes. En: *Genetically Modified Food. Safety Aspects*. Engel et al. (Eds.). ACS Symposium Series 605, Washington DC, 134-147.
- Noyola A. et al., 2002. Biotecnología, medio ambiente y biodiversidad. En: *Biotecnología Moderna para el Desarrollo de México en el siglo XXI. Retos y oportunidades*. F. Bolívar (Coord.), Fondo de Cultura Económica y CONACYT. México, D.F., 187-207.
- NRC (National Research Council), 1989. *Field testing genetically modified organisms. Framework for decisions*. The National Academies Press, USA.
- NRC (National Research Council), 2002a. *Environmental effects of transgenic plants. The scope and adequacy of regulation*. The National Academies Press, USA.
- NRC (National Research Council), 2002b. *Animal biotechnology. Science based concerns*. The National Academies Press, USA.
- NRC (National Research Council), 2004. *Safety of Genetically Engineered foods*. The National Academies Press. USA.
- Nuccio M. et al., 1999. Metabolic engineering of plants for osmotic stress resistance. *Current Opinion in Plant Biology* 2, 128-134.
- OCDE, 2004. Biological Resource Management in Agriculture Challenges and Risks of Genetically Engineering Organisms: Sustainable Agricultural Systems and GMOs, Is Co-existence Possible? *Science and Information Technology* 11, 353-365.
- OCDE, 2006. The OECD Edinburgh Conference on the Scientific and Health Aspects of Genetically Modified Foods, http://www.oecd.org/document/58/0,2340,fr_2649_201185_1897018_1_1_1_1,00.html
- Ollivier B., Magot M. (Eds.), 2005. *Petroleum microbiology*. ASM Press, USA.

- OMS, 2006. "20 preguntas sobre los alimentos genéticamente modificados(GM)". http://www.who.int/food_safety/publications/biotech/en/20questions_es.pdf
- Ortiz S., Ezcurra E., 2003. La liberación de cultivos transgénicos al medio ambiente: esquemas adecuados y su importancia en el manejo del riesgo. En: *Fronteras de la Biología en los inicios del siglo XXI, Módulo 3 "Biotecnología Agrícola"*, F. Bolívar y L. Herrera-Estrella, Coordinadores. El Colegio Nacional, México D.F., 115-132.
- Osuna J., Paredes O., 2007. Mejoramiento de características y calidad alimentaria y nutracéutica de plantas mediante biología molecular. En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, Francisco G. Bolívar Zapata (Coord. y Ed.), El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, 2ª. Edición, México D.F., 451-498.
- Osusky M., Kissova J., Kovac L., 1997. Interspecies transplacement of mitochondria in yeast. *Curr. Genetics* 32, 24-26.
- Padilla J., López-Munguía A., 2002. *Alimentos transgénicos*. ADN Editores. CONACULTA. México.
- Pennica D., Holmes W., Kohr W., Harkins R., Vahar G., Ward C., Bennett, W., Yelverton E., Seeburg P., Heyneker H.L., Goeddel D., Collen D., 1983. Cloning and expression of human tissue-type plasminogen activator cDNA in *E. coli*. *Nature* 301, 214-221.
- Ponti L., 2005. Transgenic crops and sustainable agriculture in european context. *Bulletin of Science Technology Society* 25, 289-305.
- Por qué Biotecnología, 2006. <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/educacion/cuaderno/doc/EI%20Cuaderno%2054.doc>
- Potrykus I., 1989. Gene transfers to cereals: an assessment. *Trends in Biotechnology* 7, 269-273.
- Potrykus I., 2001. Golden rice and beyond. *Plant Physiol.* 125, 1157-1161.
- Poulsen M. et al., 2007a. Safety testing of GM-rice expressing PHA-E-lectin using a new animal test design. *Food Chem. Toxicol.* 45, 364-377.
- Poulsen M. et al., 2007b. A 90-day safety study in Wistar rats fed genetically modified rice expressing snow-drop lectin *Galanthus nivalis* (GNA). *Food Chem. Toxicol.* 45, 350-363.
- Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica (PCSB), 2000. Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica, Canadá. <http://www.cbd.mt/biosafety/default.shtml>
- Prudhomme M., Attaiech L., Sánchez G., Martin B., Claverys J., 2006. Antibiotic stress induces genetic transformability in human pathogen *S. pneumoniae*. *Science* 313, 189-192.
- Pryme I., Lembcke R., 2003. *In vivo* studies and possible health consequences of genetically modified food and feed, with particular regard to ingredients consisting of genetically modified plant materials. *Nutr. Health* 17, 1-8.
- Ptashne M., 1992. *A genetic switch. Phage lambda and higher organisms*. 2nd Edition. Blackwell. USA.
- Purohit S., 2003. *Agricultural biotechnology*. Agrobios. India.
- Purugganhanand M., and Wessler S., 1992. The splicing of transposable elements and its role in intron evolution. *Genetica* 86, 295-303.
- Pusztai A. et al., 1999. Expression of the insecticidal bean alpha-amylase inhibitor transgene has minimal detrimental effect on the nutritional value of peas fed to rats at 30% of the diet. *J. Nutr.* 129, 1597-1603.

- Ramírez O.T., Uribe J., 2007. Biotecnología farmacéutica moderna en México. El caso de Probiomed, S.A. de C.V. En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, Francisco G. Bolívar Zapata (Comp. y Ed.), El Colegio Nacional y Academia Mexicana de Ciencias, 2ª. Edición, México, D.F. 391-428.
- Rascón-Cruz Q., Sinagawa-García S., Osuna-Castro J.A., Bohorova N., Paredes-López O., 2004. Accumulation, assembly and digestibility of amarantin expressed in transgenic tropical maize. *Theor. Appl. Genet.* 108, 335-342.
- Reglamento de la LBOGM, Diario Oficial de la Federación, 19 de marzo de 2008, Primera Sección, México, D.F.
- Reuter T. et al., 2002. Investigations on genetically modified Maize (Bt-maize) in pig nutrition: chemical composition and nutritional evaluation. *Arch. Tierernahr.* 56, 23-31.
- Rhee G. et al., 2005. Multigeneration reproductive and developmental study of bar gene into genetically modified potato on rats. *J. Toxicol. Environ. Health* 68, 2263-2276.
- Royal Society of London, Academia de Ciencias de Brasil, Academia de Ciencias de China, Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Academia Mexicana de Ciencias, Academia Nacional de Ciencias de la India y U.S. National Academy of Sciences, 2000.http://www.amc.unam.mx/Noticias/contenido_doctrans.html http://fermat.nap.edu/openbook.php?record_id=9889&page=R1
- Sakamoto Y. et al., 2007. A 52-week feeding study of genetically modified soybeans in F344 rats. *J. Food Hyg. Soc. Jpn.* 48, 41-50.
- Sakamoto Y. et al., 2008. A 104-week feeding study of genetically modified soybeans in F344 rats. *J. Food Hyg. Soc. Jpn.* 49, 272-282.
- Sánchez F. et al., 1975. Transformation of *Escherichia coli* K-12 by linear DNA from *Salmonella typhi*. *Microb. Genet. Bull.* 38, 13-14.
- Schieman J., 2003. Coexistence of GM crops with conventional and organic farming. *Environmental Biosafety Research* 2, 213-217.
- Schnable P.S. et al., 2009. The B73 Maize genome: complexity, diversity and dynamics. *Science* 326, 1112-1115.
- Schroder M. et al., 2007. A 90-day safety of genetically modified rice expressing Cry1Ab protein (*Bacillus thuringiensis* toxin) in Wistar rats. *Food Chem. Toxicol.* 45, 339-349.
- Schubert S. et al., 2002. *Yersinia* high-pathogenicity island contributes to virulence in *Escherichia coli* causing extraintestinal infections. *Infect. Immun.* 70, 5335-5337.
- Schubert S. et al., 2009. Role of the intraspecies recombination in the spread of pathogenicity islands in the *Escherichia coli* species. *PloS Pathogens* 5 (1), e1000257
- SCSDB, 2000. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica. ONU.
- Séralini G. et al., 2007. New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. *Arch. Environ Contam. Toxicol.* 52, 596-602.
- Séralini G. et al., 2009. How subchronic and chronic health effects can be neglected for GMOs pesticides or chemicals. *Int. J. Biol. Sci.* 5, 438-443.

- Sinagawa-García S.Y., Rascón-Cruz Q., Valdez-Ortiz A., Medina-Godoy S., Escobar-Gutiérrez A., Paredes-López O., 2004. Safety assessment by *in vitro* digestibility and allergenicity of genetically modified maize with an amaranth 11S globulin. *J. Agricultural and Food Chemistry* 52, 2709-2714.
- Singh O.V., Ghai S., Paul D., Jain R.K., 2006. Genetically modified crops: success, safety assessment, and public concern. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 71, 598-607.
- Smith D., 1979. From extracellular to intracellular: the establishment of a symbiosis. *Proceedings of the Royal Society of London* 204, 115-130.
- Smith H., Wilcox A., 1970. A restriction enzyme from *H. influenzae*. Purification and general properties. *J. Mol. Biol.* 51, 379-391.
- Spencer J. et al., 2000. Growing-finishing performance and carcass characteristics of pigs fed normal and genetically modified low-phytate corn. *J. Anim. Sci.* 78, 1529-1536.
- Swanson-Wagner R. et al., 2010. Pervasive gene content variations in maize and its undomesticated progenitor. *Genome Research* 20, 1689-1699.
- Taghian D., Nickoloff J., 1995. Electrotransformation of chinese hamster ovary cells. *Methods Mol. Biol.* 48, 115-121.
- Tang G.W. et al., 2009. Golden rice is an effective source of vitamin A. *American Journal of Clinical Nutrition* 89, 1776-1783.
- Teshima R. et al., 2000. Effect of GM and non-GM soybeans on the immune system of BN rats and B10A mice. *J. Food Hyg. Soc. Japan* 41, 188-193.
- Teshima R. et al., 2002. Effect of subchronic feeding of genetically modified corn (CBH351) on immune system in BN rats and B10A mice. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi* 43, 273-279.
- Thomas J.A., Fuchs R.L., 2002. *Biotechnology and safety assessment*. Academic Press, USA.
- Touchon M. et al., 2009. Organised genome dynamics in the *Escherichia coli* species results in highly diverse adaptive paths. *Plos Genetics* 10, 1371.
- Traavik T., Nielsen K., Quist D., 2009. Genetically engineered cells and organisms: substantially equivalent or different? *TWN Biotechnology and Biosafety Series No. 9*, Pennang, Malaysia.
- Treangen E. et al., 2008. The impact of the neisserial DNA uptake on gene evolution. *Genome Biology* 9, #3 R60.
- Trigo E.J., Capp E.J., 2006. The performance of agricultural sector during the period 1996-2006. En: *Ten years of genetically modified crops in Argentine agriculture*. Argenbio, Argentina.
- Tutel'ian V.A. et al., 2009. Medical and biological safety assessment of genetically modified Maize event MIR604: Report 1. Toxicologo-hygienic examinations. *Vopr. Pitan* 78, 24-32.
- Valdez-Ortiz A., Medina-Godoy S., Valverde M.E., Paredes-López O., 2007. A transgenic tropical Maize line generated by the direct transformation of the embryo-scutellum by *A. tumefaciens*. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 91, 201-214.
- Venter J.C. et al., 2001. The sequence of the human genome. *Science* 291, 1304-1349.
- Vielle-Calzada J.P. et al., 2009. The Palomero genome suggests metal effects on domestication. *Science* 326, 1078-1085.
- Villalobos V., 2008. *Los transgénicos*. Grupo Mundiprensa. México D.F.

- Voytas D., 1996. Retroelements in genome organization. *Science* 274, 737-738.
- Wallin I., 1927. *Symbiogenesis and the origin of species*. Williams and Wilkins, Baltimore, p. 8.
- Wang Y. et al., 2000. Toxicity of anti-herbicide gene (BAR) transgenic rice. *Wei Sheng Yan Ji*, 29, 141-142.
- Watson J., Crick, F., 1953. Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 171, 737-738.
- Watson J., Hopkins N., Roberts J., Argentesinger J., Weiner A., 1988. *Molecular Biology of the Gene*. Benjamin/Cummings Publishing Company, USA.
- Watson J., Gilman M., Witkowski J., Zoller M., 1996. *Recombinant DNA*. W.H. Freeman & Co, USA.
- Why silence is not an option, 2006. *Nature Biotechnology* 24, 1177.
- Winter G., Milstein C., 1991. Man made antibodies. *Nature* 349, 293-299.
- Wolfe K., and Shields D., 1997. Molecular evidence for an ancient duplication of the entire yeast genome. *Nature* 387, 708-713.
- Xing Y., Lee C., 2006. Alternative splicing and RNA selection pressure-evolutionary consequences for eukaryotic genomes. *Nature Reviews Genetics* 7, 499-509.
- Yang D. et al., 1985. Mitochondrial origins. *PNAS* 82, 4443-4447.
- Yao J.H. et al., 2002. Techniques for producing transgenic animals and the recent developments. *Di Yu Jun Yi Da Xue Xue Bao* 22, 78-81.
- Ye X., Al-babili S., Klott A., Zhang J., Lucca P., Beyer P., Potrykus I., 2000. Engineering the provitamin A biosynthetic pathway into rice endosperm. *Science* 287, 303-305.
- Young M., Edis T., 2004. *Why intelligent design fails: A scientific critique of the new creationism*. Rutgers University Press. USA.
- Zhang J. et al., 2004. Using information from Arabidopsis to engineer salt, drought and cold tolerance. *Plant Physiology* 135, 615-621.
- Zhu Y. et al., 2004. Nutritional assessment and fate of DNA of soybean meal from Roundup Ready or conventional soybeans using rats. *Arch. Anim. Nutr.* 58, 295-310.
- Zhuo Q. et al., 2004. Study of the teratogenicity effects of genetically modified rice which expressed cowpea trypsin inhibitor on rats. *Wei Sheng Yan Jiu* 33, 74-77.



ANEXO 2: GLOSARIO

Ácido desoxirribonucleico (ADN). Es la molécula biológica en la que reside la información genética de todos los seres vivos y forma parte de los llamados cromosomas, que son a su vez estructuras que se localizan en el núcleo de las células de animales y vegetales superiores. En las células humanas hay 23 pares de cromosomas. Cada cromosoma humano está formado por una sola molécula de ADN que mide aproximadamente de dos a seis cm de largo (depende del tamaño del cromosoma), la cual está asociada a muchas moléculas de proteínas, principalmente las llamadas histonas, cuya función es proporcionarle estructura al cromosoma. En todas y cada una de las trillones de células de nuestro organismo existen 23 pares de cromosomas (con excepción de las células gametos: espermatozoides y óvulos donde hay sólo 23 cromosomas), y cada juego de 23 cromosomas proviene de cada uno de nuestros padres. Si se alinearan las 23 moléculas de ADN de todos nuestros 23 cromosomas, medirían aproximadamente un metro de longitud.

Los genes son regiones o segmentos específicos de cada una de estas moléculas de ADN. Tenemos aproximadamente 21,000 genes en nuestros 23 cromosomas, y gracias al proyecto del Genoma Humano conocemos la posición de todos y cada uno de estos genes en los 23 cromosomas. Cada uno de estos genes, como fragmento específico del ADN, es en sí mismo la información genética que codifica para una proteína. Si tenemos 21,000 genes

diferentes, significa que los seres humanos podemos sintetizar, al menos, 21,000 proteínas diferentes, cada una a partir de un gene específico.

Las proteínas, a su vez, son polímeros (collares) biológicos integrados por 20 diferentes monómeros o cuentas llamadas aminoácidos. Para poder entender los mecanismos que permiten a la célula viva la síntesis de las proteínas a partir de los genes localizados en el ADN, es necesario explicar la estructura de la molécula del ADN. En 1953, Watson y Crick descifraron la estructura molecular del ADN. El ADN es una doble hélice formada por dos polímeros antiparalelos y complementarios. Cada uno de estos dos polímeros o hélices está a su vez integrado por la unión de millones de monómeros que son como las cuentas (monómeros) de un collar (polímero). Hay sólo cuatro tipos de monómeros o letras genéticas en el ADN de todos los seres vivos, los cuales son llamados nucleótidos y éstos se encuentran localizados a 3.4 \AA del siguiente monómero en el polímero que forma cada una de las dos hélices. Además, en todo tipo de ADN, a un nucleótido con la base Adenina (A) le corresponde siempre, en el nucleótido de la hebra o hélice complementaria uno con la base Timina (T) y a todo nucleótido con la base Guanina (G) corresponde un nucleótido con la base Citosina (C) en la hebra complementaria. Éstas son reglas universales para todos los ADN en todos los seres vivos. La diferencia

fundamental entre todos los ADN es la secuencia de estos cuatro tipos de nucleótidos con sus bases, A, T, G y C en cada letra de cada molécula de ADN, en las cuales hay varios millones de nucleótidos, de la misma manera en que sólo existen 27 letras en el alfabeto para formar todas las palabras, y es la secuencia diferente de estas palabras lo que da un significado distinto para cada una de ellas. Podemos hoy decir, por lo que conocemos sobre el ADN, que el descubrimiento de su estructura química ha venido a ser uno de los elementos unificadores en la biología moderna, ya que no sólo la estructura general del ADN es la misma en todos los seres vivos, sino que la organización y regulación de los genes —que son como ya se ha señalado, fragmentos o segmentos específicos de esta hélice doble— también tienen carácter universal en todos los organismos. Esta característica es lo que permitió el nacimiento de la ingeniería genética, metodología que posibilita “la edición *in vitro* (en tubo de ensayo), a nivel molecular”, de este material. Podríamos decir, como analogía con las cintas de videocassette, que el material genético de todos los seres vivos tiene el mismo “formato”, y que por ello se pueden “editar molecularmente” en un tubo de ensayo. La estructura general del ADN es exactamente la misma en todos los seres vivos, desde las bacterias hasta los humanos (ver estructura del ADN, replicación, nucleótido, proteína, gene, ARN mensajero, transcripción).

Ácido aspártico. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Ácido glutámico. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Ácido graso. Moléculas naturales que conforman las grasas y aceites naturales.

Ácidos nucleicos. Moléculas biológicas informacionales en las que reside la información genética; existen dos tipos: ADN y ARN (ver ADN, ARN, proteína).

Ácido ribonucleico (ARN). Polímero de ribonucleótidos parecido al ADN pero que en lugar de timinas contiene uracilo en sus nucleótidos y en vez de 2-desoxirribosa contiene D-ribosa. Se forma o sintetiza a partir de la transcripción o copia de regiones específicas de ADN. Existen tres tipos principales de ARN involucrados en la síntesis de proteínas: a) ARN mensajero (ARNm), involucrado en funciones de transmisión de información genética a partir del ADN; b) ARN de transferencia (ARNt), involucrado en funciones de acoplamiento de la información, y c) ARN ribosomal (ARNr) involucrado en la estructuración y función de los ribosomas, organelos en los cuales se sintetizan las proteínas (ver ADN, ARN mensajero, ARN de transferencia, nucleótido, ribosoma, síntesis de proteínas).

Adenina. Una de las cuatro bases nitrogenadas que conforman los nucleótidos que integran el ADN y el ARN (ver ADN, ARN, bases).

ADN. Ver ácido desoxirribonucleico.

ADN complementario. El ADN obtenido enzimáticamente a partir de copiar un ARN mensajero específico (ver transcripción reversa, PCR).

ADN heterólogo. ADN que proviene de una especie diferente a la del organismo receptor (ver ingeniería genética, plásmido, pasajero).

ADN recombinante. Ver ingeniería genética.

Agrobacterium. Bacteria que puede ser patógena para ciertas plantas, que es capaz de incorporar partes de su ADN en las células de las plantas que infecta (ver ADN, bacteria, planta).

Aislar genes. Capacidad de poder separar del conjunto del genoma un segmento específico que lleva uno o más genes. Los genes también se pueden sintetizar químicamente (ver ADN, gene, genoma, oligonucleótido).

Alanina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Alergenicidad. Posible efecto de generar cuadros alérgicos en el usuario (ver inmunógeno).

Alimentos genéticamente modificados o alimentos transgénicos. Alimentos que son, contienen o provienen de organismos genéticamente modificados (OGM). La OMS ha señalado que hasta la fecha no se ha detectado daño a la salud humana por el consumo de este tipo de alimentos (ver transgénico, inocuidad, quimosina, evidencia sustentada científicamente, riesgo biológico, ADN, amilasa, lipasa, pectinasa).

Alimentos transgénicos. Ver alimentos genéticamente modificados.

Amilasa. Proteína con capacidades enzimáticas que se utiliza en la elaboración de jarabes. Se produce también por ingeniería genética (ver proteína, enzima, ingeniería genética, alimentos genéticamente modificados).

Aminoácido. Monómero de las proteínas. Existen 20 diferentes aminoácidos en las proteínas de los seres vivos (ver proteína, transcripción, traducción, ribosoma).

Amplificación. Metodología que permite que fragmentos de ADN puedan ser copiados y por ello multiplicados, a través de técnicas de PCR o clonación molecular en organismos (ver PCR, oligonucleótidos, ingeniería genética).

Animal. Miembro de uno de los cinco reinos en que se clasifica a los organismos vivos (Reino *Animalia*). Las células de los animales son heterótrofas. Los animales se desarrollan por fertilización de un huevo por un espermatozoide. El huevo fertilizado o cigoto se desarrolla y se diferencia a nivel celular y forma diferentes tejidos (ver ADN, célula, heterótrofo, cigoto, gameto).

Antibióticos. Moléculas que se utilizan para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos (ver organismo patógeno).

Anticodón. Es la secuencia de tres nucleótidos presentes en los ARN de transferencia mediante las cuales se unen a los codones —integrados por tres nucleótidos— determinados por la secuencia de los ARN mensajeros. La síntesis de la proteína se lleva a cabo leyendo secuencialmente, y asociando los ARN de transferencia a través de sus anticodones, a los codones o tripletes complementarios de los ARN mensajeros (ver ARN mensajero, codón, código genético, ARN de transferencia, ribosoma, proteína, aminoácido).

Anticuerpo. Proteína producida por el sistema inmunológico de los mamíferos con el objetivo de unirse a un antígeno específico, el cual puede ser un agente invasor (virus, bacteria, hongo) o moléculas pequeñas, no presentes en el organismo (ver inmunógeno, antígeno, vacuna).

Antígeno. Sustancia extraña a un organismo, blanco de los anticuerpos y en general de la respuesta inmune de animales superiores (ver inmunógeno, anticuerpo).

Arabidopsis thaliana. Planta con genoma pequeño que se usa como modelo para el estudio de los vegetales superiores (ver célula, planta).

Arginina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Arma biológica. Posibilidad de utilizar un organismo vivo que existe en la naturaleza o modificado genéticamente, para generar daño o muerte en otros organismos (ver bioseguridad, riesgo biológico, transgénico).

ARN. Ver ácido ribonucleico.

ARN mensajero (ARNm). El primer paso en la síntesis de proteínas es la síntesis o formación de una molécula de ARN, denominada ARN mensajero (ARNm), que usa como molde una de las dos hebras o cadenas de ADN. El ARN mensajero es una molécula químicamente muy parecida al ADN; forma cadenas lineales sin ramificaciones, por lo que la información genética contenida en el ADN, es decir, el orden de desoxirribonucleótidos del ADN, se transfiere a una secuencia de ribonucleótidos complementaria durante la síntesis del ARNm. La transcripción es un proceso enzimático mediado por la enzima ARN polimerasa y se rige por dos reglas: siempre ocurre, al igual que la replicación del ADN, en la dirección 5'~3', y normalmente sólo una de las cadenas del ADN es transcrita o copiada en una molécula de ARN mensajero. La información genética contenida en cada molécula de ARNm es posteriormente traducida en moléculas de proteínas en un proceso en-

zimático que se realiza en los organelos celulares conocidos como ribosomas. En este mecanismo biosintético participan tres tipos distintos de ARN: el ARN ribosomal (ARNr), que junto con varias proteínas forman los ribosomas; el ARNm, que acarrea la información genética contenida en el ADN, y finalmente los ARN llamados de transferencia (ARNt), que sirven como adaptadores para el ordenamiento lineal de los aminoácidos específicos, conforme la secuencia del ARNm. La síntesis de proteínas, que de facto es la traducción del mensaje del ARN, se lleva a cabo también en dirección 5'~3' mediante la polimerización de aminoácidos en los ribosomas para sintetizar las proteínas leyendo el ARN mensajero por tripletes, conforme al código genético. Este proceso es similar al que ocurre al pasar una cinta de un cassette musical, en donde la información para cada canción que está contenida en un segmento de esta cinta es traducida en melodía, cuando esta sección de la cinta del cassette pasa a través de las cabezas de la grabadora. En el caso de la célula viva, la cinta corresponde al ARN mensajero que lleva la información y los ribosomas corresponden a las cabezas de la grabadora que leen la cinta y transforma (traduce) la información en proteínas, las cuales serían en analogía, las melodías o canciones biológicas (ver ADN, transcripción, traducción, ribosoma, proteína, anticodón, codón, ARN de transferencia, código genético, aminoácido, síntesis de proteína).

ARN de transferencia. Tipo de ARN que une los diferentes aminoácidos en el proceso de la síntesis de proteínas. Estas son moléculas biológicas que se sintetizan en los ribosomas utilizando los ARN mensajeros cuya secuencia de nucleótidos es leída de tres en tres conforme al código genético. La lectura de tres en tres nucleótidos —en forma de tripletes— se lleva a cabo por los ARN de transferencia usando sus secuencias de anticodones y así permitiendo la incorporación de los aminoácidos, al asociar los antico-

dones con los tripletes o codones del mensajero a nivel de los ribosomas (ver ARN mensajero, ARN ribosomal, codón, anticodón, código genético, aminoácido, tripletes, síntesis de proteínas).

ARN polimerasa. La proteína o enzima que utiliza la célula para sintetizar ARN tomando como molde una de las dos hebras del ADN que contiene el gene que se transcribe o se copia (ver ADN, ARN, ARN mensajero, transcripción, síntesis de proteínas, ribosomas).

ARN ribosomal. Tipo de ARN que forma parte de los ribosomas y que está involucrado en la síntesis de proteínas a partir de la lectura de los ARN mensajeros los cuales se sintetizan o transcriben a partir de los genes (ver ARN mensajero, ARN de transferencia, código genético, aminoácido, transcripción, traducción, anticodón, codón, síntesis de proteínas).

Asparagina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

ATP. Adenosín-trifosfato, la molécula utilizada universalmente por todos los seres vivos para almacenar energía biológica. En los animales y vegetales se sintetiza principalmente en las mitocondrias (ver metabolismo, metabolito, célula, mitocondria).

Autótrofos. Organismos capaces de producir su propia comida (ver bacteria, planta transgénica).

Bacillus thuringensis (Bt). Microorganismo bacteriano que habita en el campo y que produce proteínas que pueden tener funciones insecticidas. De este organismo se han aislado genes que producen estas proteínas para la cons-

trucción de plantas transgénicas resistentes a insectos (ver bacteria, planta transgénica).

Bacteria. Miembros de uno de los cinco reinos de los organismos vivos (Reino *Bacteriae*). Microorganismo autótrofo de una sola célula (unicelular) responsable de muchas funciones biológicas importantes, como la fijación biológica de nitrógeno y la biodegradación de compuestos. Son organismos llamados también procariotes por no tener un núcleo donde se localiza el ADN como es el caso de las eucariotes (como animales y plantas) (ver microorganismo, procariote).

Bacteria *S. pneumoniae*. Bacteria patógena causante de infección en el aparato respiratorio de los humanos y otros animales (ver bacteria, organismo patógeno).

Banco de secuencias. Bases de datos que contienen las secuencias identificadas de ADN, ARN y proteínas (ver bioinformática).

Bases, componentes de los nucleótidos. Los nucleótidos son los monómeros que integran los polímeros de ADN y ARN. Están compuestos por una base nitrogenada (púrica o pirimídica, un azúcar (desoxirribosa ó ribosa) y un grupo fosfato. Existen 5 bases en todos los ácidos nucleicos, dos púricas Adenina (A) y Guanina (G) y tres pirimídicas: Citosina (C), Timina (T) y Uraclio (U). La Adenina, Guanina y la Citosina están presentes en el ADN y el ARN. La Timina sólo en el ADN y el Uracilo sólo en el ARN (ver ADN, ARN, nucleótido, transcripción, replicación, estructura del DNA).

Biobalística. Método utilizado para construir plantas transgénicas que utiliza microproyectiles de oro que se recubren con el ADN que se quiere incorporar a una célula (ver ingeniería genética, transgénico, planta transgénica).

Biocatálisis. Proceso biológico en el que participan una o más enzimas, fuera del contexto celular, para acelerar de manera catalítica el proceso mismo. Los procesos pueden ser del tipo de síntesis, modificación o degradación de compuestos biológicos y orgánicos, entre ellos, los alimentos (ver proteína, aminoácido, alimentos genéticamente modificados).

Biodegradable. Que se degrada por procesos que ocurren en la naturaleza mediante los organismos vivos (ver recalcitrante, bioinsecticida).

Biodiversidad. Conjunto de todos los organismos vivos del planeta (ver biota, ecosistema).

Bioética. Es la rama de la ética que se dedica a proveer los principios para la correcta conducta humana respecto a la vida, tanto de la vida humana como de la no humana (animal y vegetal), así como del ambiente en el que pueden darse condiciones aceptables para la vida. En su sentido más amplio, la bioética no se limita al ámbito médico, sino que incluye todos los problemas éticos que tienen que ver con la vida en general, extendiendo de esta manera su campo a cuestiones relacionadas con el medio ambiente y al trato debido a los animales. Considera también varios aspectos relacionados con la vida tales como la información biológica y su patentabilidad; la privacidad biológica del individuo y las consideraciones que sustentan la inmoralidad de la clonación de seres humanos; entre otras (ver organismo).

Biofármaco. Fármaco producido por biotecnología molecular (ver fármaco, medicamento, biomedicamento).

Bioinformática. Disciplina que estudia de manera comparativa la información existente en las secuencias de las moléculas biológicas informacionales sustentada en el de-

sarrollo de software para el análisis de secuencias genómicas (ver proteína, ADN, gene).

Bioinsecticida. Producto de origen biológico que se utiliza para el combate de plagas de insectos. Los bioinsecticidas son productos biodegradables. Se incorporan genes con capacidades bioinsecticidas provenientes de bacterias en plantas y así generar plantas transgénicas que producen sus propios insecticidas contra plagas específicas (ver pesticida, biodegradable, planta transgénica).

Biología. Ciencia que estudia a los seres vivos.

Biología molecular. Disciplina mediante la cual se estudian los organismos vivos a nivel de sus moléculas, es decir a nivel molecular. Esta rama de la biología emerge con la identificación de la naturaleza a nivel molecular del ADN en 1953 (ver ADN, estructura del ADN).

Biomasa. En procesos fermentativos, es la masa celular que se genera en el proceso. En la biodiversidad, es la cantidad de materia celular viva presente en el planeta (ver fermentación).

Biomedicamento. Sustancia producida por procesos sustentados en la biotecnología molecular, que tenga efecto terapéutico, preventivo o de rehabilitación, que se presente en forma farmacéutica y que se identifique como tal por su actividad farmacológica y propiedades físicas, químicas y biológicas. Entre estas sustancias están la insulina, el interferón y la hormona humana del crecimiento (ver fármaco, biofármaco, medicamento, insulina, interferón).

Biopesticida. Producto de origen biológico que se utiliza para matar los insectos que integran las plagas. En el contexto de los organismos genéticamente modificados, se

refiere a la capacidad que puede adquirir una planta transgénica para matar a las plagas a través de incorporarle un gene de otro origen que le confiera resistencia a la plaga (ver plaga, transgénicos).

Biopolímero. Cadenas, collares o polímeros formados por monómeros o cuentas biológicas. Entre estos polímeros se encuentran las proteínas y los ácidos nucleicos (ver monómero, polímero, ácidos nucleicos, proteína, ADN, ARN).

Bioprospección. Actividad cuyo objetivo es identificar productos biológicos útiles a partir de la biodiversidad. Se puede tratar de compuestos orgánicos, genes, proteínas u organismos completos (microorganismos plantas o animales) (ver biodiversidad).

Bioquímica. Disciplina que estudia los procesos químicos a nivel de los organismos vivos (ver célula).

Biorremediación. Utilización de técnicas que implican el uso de organismos (vivos o sus productos), para la remediación de un hábitat contaminado (ver biopesticidas, recalcitrante).

Bioseguridad. En el contexto de la biotecnología moderna, es el marco jurídico, procedimientos, normas e instancias que garantizan el uso adecuado y con el menor riesgo posible para la salud humana, animal, vegetal y el medio ambiente, de cierto tipo de productos y procesos de la biotecnología moderna, incluidos los organismos transgénicos (ver riesgo biológico, transgénico, seguridad de la biotecnología, monitoreo).

Biosfera. Conjunto de los seres vivos del planeta Tierra.

Biota. Conjunto de animales y plantas del planeta Tierra (ver planta, animal).

Biotecnología. Toda aplicación tecnológica que utilice recursos biológicos, organismos vivos y sus partes o sus productos para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.

Biotecnología agroecológica. Área emergente de la biotecnología que se encuentra en la interfase de disciplinas de tipo ecológico, ambiental, agrícola y evolutivo.

Biotecnología moderna. Actividad multidisciplinaria cuyo sustento es el conocimiento de frontera generado en diferentes disciplinas (entre otras, la biología molecular, la ingeniería bioquímica, la microbiología, la inmunología) que permite el estudio integral y la manipulación de los sistemas biológicos (microbios, plantas y animales e insectos). La biotecnología moderna busca hacer un uso inteligente y respetuoso de la biodiversidad mediante el desarrollo de tecnología biológica eficiente, limpia y competitiva para facilitar la solución de problemas importantes en sectores tales como el de la salud, el agropecuario, el industrial y del medio ambiente (ver tecnología biológica, sistema biológico, biodiversidad).

Bornavirus. Virus con ARN como material genético diferente de los retrovirus. Se ha detectado la presencia de su material genético en células animales (ver virus).

Botulismo. Enfermedad que causa una toxina de la bacteria *Clostridium botulinum* y que puede causar la muerte al hombre y animales (ver bacteria, organismo patógeno).

Cáncer. Término genérico utilizado para nombrar un conjunto de enfermedades que pueden ocurrir prácticamente en cualquier tipo de tejido celular y que se caracteriza por el crecimiento tumoral no controlado de células de ese tejido (ver célula).

Carbohidrato. Moléculas de diferentes azúcares y sus polímeros, entre los que se encuentran la glucosa, la fructosa, la sacarosa, la celulosa y el almidón (ver glucosa).

Carcinogénico. Sustancia o agente productor de cáncer. Los pesticidas son sustancias que se utilizan para matar las plagas y muchos de ellos son carcinogénicos y recalcitrantes (ver cáncer, pesticida, recalcitrante).

Catabolismo. Capacidad celular mediante la cual es posible generar fuentes de energía biológica y precursores celulares a partir de cierto tipo de nutrientes (ver metabolismo, carbohidrato, glucosa).

Catalítico. Proceso en el que un componente (catalizador) acelera la transformación de compuestos químicos en otros. El catalizador no se altera al final de la reacción, por lo que puede usarse repetidamente (ver enzima, proteína).

Célula. Unidad fundamental de los sistemas vivos. Las bacterias son organismos con una sola célula, mientras que los humanos tenemos trillones de células diferentes en nuestro organismo (ver organismo).

Células competentes. Células que pueden incorporar material genético de otro origen (ver transformación, ADN, material genético).

Centro de origen. Se refiere al lugar o país en donde se originó una determinada especie. México es centro de origen del maíz (ver biodiversidad).

Cepa silvestre. Variedad natural de un determinado organismo. Su contraparte es una cepa mutante que contiene cambios particulares en su genoma (ver mutante, genoma).

Ciencia genómica. Ver genómica.

Ciencias ómicas. Se refiere al conjunto de ciencias genómicas, proteómicas y metabolómicas (ver genómica, proteómica, metabolómica).

Cisteína. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Citosina. Una de las cuatro bases nitrogenadas que conforman los nucleótidos que integran el ADN y el ARN (ver ADN, ARN, bases).

Clon. Conjunto de células, virus o moléculas de ADN idénticas genéticamente y que se originan de un solo padre (ver clonación molecular de ADN, colonia).

Clonación (molecular) de ADN. Conjunto de métodos que permite la incorporación y eventual amplificación, a través de su replicación repetida, de un fragmento específico (una molécula) de ADN en un organismo, y su eventual transferencia a su progenie. Esta técnica permite así obtener una población o clona de organismos en donde todos ellos llevan una copia de la molécula original de ADN. Constituye uno de los procedimientos centrales de las técnicas de la ingeniería genética (ver ingeniería genética, organismo genéticamente modificado, clon).

Cloroplasto. Organelo intracelular de los vegetales en el que ocurre la fotosíntesis. Contiene clorofila. Tiene material genético propio y su estructura mantiene elementos que existen en las bacterias y por ello se considera que originalmente eran procariotes de este tipo (ver organelo, mitocondria, célula, endosimbiosis, simbiogénesis, evolución).

Codifica. Se refiere a la capacidad que tienen los genes para almacenar la información que puede ser utilizada por la célula viva para sintetizar las proteínas. Un gene almacena la información (codifica) para sintetizar una proteína (ver gene, ADN, proteína, transcripción).

Código genético. El código genético es universal, es decir, es utilizado de la misma manera por todos los seres vivos. Este código es el que permite a la célula de cualquier organismo, traducir en proteínas la información genética almacenada en los genes que se localizan en el ADN. Las proteínas son polímeros en los cuales cada aminoácido es un monómero. Hay 20 diferentes aminoácidos para integrar cerca de cien mil proteínas del cuerpo humano. Se puede hacer una analogía entre las letras del alfabeto, que serían los aminoácidos, y las palabras, que serían las proteínas; el orden de las letras es responsable del significado de las palabras de la misma manera que el orden de los aminoácidos en la proteína es responsable de su significado o función biológica. Cada uno de los 20 aminoácidos, a su vez, está codificado por un triplete o codón, de tres nucleótidos, en el ARN mensajero (o en el gene que dio origen a éste).

En un código de cuatro letras genéticas (A, G, C, y T) organizado en tripletes, puede haber 64 diferentes tripletes. De esta manera, en nuestro código genético hay aminoácidos que están codificados hasta por seis diferentes tripletes, como la leucina (leu), y hay aminoácidos, como el triptófano (trp) que sólo está codificado por un solo triplete (en este caso TGG). Existen tres codones, TGA, TAA y TAG, que son tripletes que al leerse en los ribosomas son responsables de que se termine el proceso de traducción es decir, se termina en este punto la síntesis de una molécula de proteína y ésta se libera de los ribosomas para ser utilizada por la célula de acuerdo con su función biológica (ver transcripción, traducción, ARN mensajero, ARN

de transferencia, triplete o codón, ribosoma, síntesis de proteína).

Codón. Secuencia de tres nucleótidos presentes en el ADN o en el ARN y que codifica para un aminoácido durante la traducción; también se le conoce como triplete (ver código genético, ARNm, traducción, síntesis de proteínas, ARN de transferencia, ribosoma).

Coexistencia de cultivos. Posibilidad de existencia simultánea de cultivos transgénicos con cultivares tradicionales (ver bioseguridad, riesgo biológico, transgénico).

Colágeno. Proteína que integra varios de los tejidos, en particular los de la piel de los animales (ver proteína).

Cólera. Enfermedad gastrointestinal que puede ser mortal y está causada por la bacteria *Vibrio cholerae* (ver bacteria, organismo patógeno).

Colinearidad entre gene y producto proteico. El orden de los nucleótidos en el gene, específicamente el orden de cada tres nucleótidos, es responsable del orden de los aminoácidos en la proteína para la que codifican el conjunto de nucleótidos que integran un gene en particular. La estructura final de las proteínas depende del orden, a nivel primario, es decir, de la secuencia de los aminoácidos que la integran. Si este orden se altera, la función de la proteína puede también alterarse. Asimismo, el orden de las mutaciones o cambios que ocurren en un gene da lugar estrictamente al mismo orden de cambios en los aminoácidos en la proteína que se obtiene a partir de dicho gene, es decir, hay colinearidad entre el gene y su producto proteico (ver gene, proteína, código genético, ARNm).

Colonia. Estructura que se genera por el crecimiento mediante duplicación o multiplicación de células microbianas. En una colonia todas las células (del orden de mil millones), son idénticas entre sí y a la célula que le dio origen (ver célula, bacteria, clon).

Conformación. Arreglo tridimensional que adopta una molécula en virtud de los diferentes ángulos de rotación que pueden adquirir sus enlaces químicos (ver estructura del ADN).

Conocimiento científico. Conocimiento que se genera a través del proceso de la investigación científica. Este conocimiento ha permitido comprender con detalle el funcionamiento del universo, la naturaleza y la vida misma, así como diferentes problemáticas científicas. La publicación del conocimiento científico en revistas debe garantizar las condiciones para que pueda ser repetido y así validarlo por otros grupos independientes. El conocimiento generado por los científicos debe publicarse en revistas o libros arbitrados para validarlo. El conocimiento científico es responsable de sustentar y desarrollar tecnologías que han permitido el avance tecnológico (ver evidencia sustentada científicamente, evaluación de riesgo).

Control genético. Elementos y mecanismos que participan en la regulación de la expresión de los genes (ver expresión genética, promotor, gene).

Cromosoma. Estructura celular localizada en el núcleo de las células en el caso de los organismos eucariotes y conformada por una sola molécula de ADN y proteínas asociadas. Su tamaño y número varía según la especie. Puede tener desde medio millón de nucleótidos hasta varios cientos de millones. En esta molécula de ADN se encuentran los genes como segmentos específicos. Los humanos

tenemos 23 pares de cromosomas y los procariotes como la bacteria *E. coli* tienen un solo cromosoma (ver ADN, proteínas, célula, pares de cromosomas, gameto).

Cromosoma X. Tipo de cromosoma que está presente en dos copias en las células de organismos de género femenino y en una sola copia en organismos de género masculino (ver gameto).

Cromosoma Y. Un tipo de cromosoma presente en una sola copia solamente en las células de organismos de género masculino (ver gameto).

Cultivares. Cultivos o sembradíos (ver planta, planta transgénica, semilla).

Deleción. Fenómeno mediante el cual se pierde un fragmento, o al menos un nucleótido, en secuencias de ADN. Este cambio genera una mutación (ver ADN, nucleótido, genotipo, mutación).

Desoxirribosa. Azúcar que forma parte de los desoxirribonucleótidos en el ADN (ver ADN, glucosa).

Diabetes. Enfermedad en la cual no se controla adecuadamente el nivel de azúcar en la sangre y en algunos casos se debe a una baja producción de insulina secretada por las células del páncreas (ver insulina, biofármaco, enfermedad genética, biomedicamento).

Diagnóstico o detección. Proceso de identificación de sustancias mediante el uso de detectores específicos: anticuerpos o sondas (fragmentos específicos) de ADN para detectar proteínas o genes específicos (ver PCR, oligonucleótidos, monitoreo).

Diagnóstico genético. Metodología que permite, mediante el uso de sondas o detectores de ácidos nucleicos específicos, la detección de secuencias específicas de ADN entre millones de ellas (ver PCR, oligonucleótido).

Diferenciación celular. Proceso mediante el cual a partir de la célula llamada cigoto, se generan muchos millones o trillones de células y luego tejidos y órganos con funciones diferentes, según el organismo (ver célula, cigoto, gameto).

Diploides. Las células de la mayoría de los eucariotes contienen en sus organismos adultos dos copias de cada cromosoma y por ello son diploides. Cada una de estas copias proviene de una de las células sexuales (gametos) —uno femenino y otro masculino— que se fusionaron para integrar al cigoto (ver pares de cromosomas, célula, ADN, cromosoma, cigoto, gameto, haploide).

Diversidad biológica. Ver biodiversidad.

Doble hélice. El ADN es una molécula formada por dos hélices complementarias y antiparalelas. Cada hélice o hebra es a su vez un polímero de muchos nucleótidos (ver ADN, replicación, estructura de ADN).

Duplicación del genoma. Evento que se presume ha ocurrido en diferentes precursores de los organismos actuales como la levadura y la planta *Arabidopsis thaliana*. Este evento ha permitido duplicar la cantidad de material genético original y luego a través del cambio por mutación en algunos genes, generar nuevas funciones (ver ADN, planta, gene, proteína).

Ebolavirus. Virus cuyo material genético está constituido por ARN diferente de los retrovirus. Se ha detectado la presencia de su material genético en células animales.

Ecología. Ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y con su entorno (ver biodiversidad).

Ecosistema. Comunidad de seres vivos cuyos procesos vitales se encuentran relacionados entre sí y se desarrollan en función de los factores físico-químicos de un mismo ambiente (ver biodiversidad).

Endosimbiosis. Relación en la cual uno de los miembros de una especie vive muy cercana o incluso internamente en otro de los miembros de la relación endosimbiótica. Conjuntamente integran el simbiote. Se ha propuesto un papel relevante a este tipo de proceso en la evolución de las especies (ver mitocondria, organelo, planta, simbiogénesis, evolución, teoría de la evolución).

Enfermedad genética. Resultado de alteraciones, normalmente por mutación, en uno o más genes que tiene como consecuencia una disfunción de los productos de estos genes (ver insulina, diabetes, biofármaco, biomedicamento).

Enzima. Proteína con actividad catalítica capaz de acelerar una reacción bioquímica para lograr la síntesis o la modificación de compuestos biológicos. Las moléculas que utiliza una enzima se denominan sustratos (ver proteína, catalítico, sustrato).

Epigenética. Estudio de los mecanismos que producen efectos en el fenotipo a través de alterar, mediante modificaciones químicas (como la metilación de los residuos de citosina en el ADN), la expresión genética sin alterar las secuencias nucleotídicas o el genotipo de un organismo (ver ADN, nucleótido, gene, fenotipo, metilación, expresión genética).

Equivalencia sustantiva o sustancial. Concepto propuesto por la OCDE para señalar que un producto de origen

transgénico comparte características nutricionales similares a su contraparte convencional (ver bioseguridad, riesgo biológico, transgénico, alimentos genéticamente modificados).

Escherichia coli (*E. coli*). Bacteria que ha sido ampliamente estudiada y que se utiliza en muchos laboratorios y en la industria para la producción de moléculas recombinantes y otros productos de interés comercial como la insulina y el interferón humanos. Se ha determinado la secuencia nucleotídica de su único cromosoma, en el cual hay 4,225 genes (ver bacteria, ADN, gene, nucleótido, insulina, interferón, producto recombinante).

Estructura general del ADN. Conformación tridimensional que tiene la molécula de ADN y que es la misma en todos los seres vivos. El ADN está conformado por dos polímeros (dos hélices) y donde cada uno de ellos está integrado a su vez por los cuatro tipos de nucleótidos que son los monómeros que integran estas dos hélices. Al asociarse en el espacio y por las características de estas estructuras, se conforman tridimensionalmente y forman una doble hélice (ver ADN, polímero, conformación, nucleótido, replicación, doble hélice).

Estructura proteica. Conformación tridimensional que tiene una proteína dada en ciertas condiciones fisiológicas en la célula (ver proteína, célula).

Eucariote. Organismo vivo que a diferencia del procarionte tiene núcleos en sus células en donde se encuentra su ADN en varios cromosomas. Son organismos que pueden estar conformados por una sola célula, como la levadura, o por varias células como las plantas y los animales (ver planta, animal, levadura, ADN).

Evaluación caso por caso. Se refiere a la Ley de Bioseguridad de OGM. Señala que la evaluación de los OGM debe hacerse de manera individual para cada transgénico. No es adecuado generalizar la evaluación de un transgénico para los otros (ver bioseguridad, riesgo biológico, transgénico).

Evaluación paso por paso. Se refiere a la evaluación que se contempla en la Ley de Bioseguridad de OGM, en la cual se señala que en los procesos de posible liberación de un OGM, se debe realizar la evaluación en diferentes niveles o pasos: 1) invernadero; 2) sembradíos pequeños con liberación experimental y 3) sembradíos a mayor escala (ver liberación al medio ambiente, riesgo biológico, bioseguridad).

Evaluación de riesgo. Estrategias y protocolos que permiten valorar con procedimientos sustentados en conocimiento científico sólido, las evidencias de los posibles riesgos por uso de los OGM (ver riesgo biológico, bioseguridad, conocimiento científico).

Evidencia sustentada científicamente. Conjunto de datos sustentados científicamente a través de la publicación de estos datos en revistas de circulación internacional arbitradas. Los datos publicados en revistas deben poder ser repetidos por grupos independientes para ser validados, en particular en el caso de asuntos de riesgo e inocuidad. Mucha de esta evidencia luego puede ser incorporada en libros y otros documentos elaborados por Academias de Ciencias y otras instancias como la OMS y la FAO, integradas por miembros reconocidos internacionalmente para orientar y sustentar la decisión de los gobiernos (ver bioseguridad, riesgo biológico, evaluación, inocuidad, conocimiento científico).

Evolución. Proceso biológico mediante el cual las células y los organismos adquieren nuevas funciones por cambios

genéticos (mutaciones) y adquisición de material genético por transferencia horizontal, reorganización del genoma o endosimbiosis. Como resultado de estas nuevas funciones los organismos pueden estar mejor capacitados para llevar a cabo sus funciones biológicas y prevalecer en un medio en el cual se compite entre muchos otros organismos. La teoría de la evolución de Darwin señala que todos los organismos existentes tenemos un precursor común, y que a través de la evolución, se ha desarrollado la biodiversidad del planeta incluida la especie humana (ver teoría de la evolución, transferencia horizontal, mutación, reorganización del genoma, endosimbiosis).

Expresión genética. Sensores y mecanismos mediante los cuales las células deciden expresar (o prender) un gene para sintetizar el ARN mensajero y, a partir de éste, sintetizar la proteína en particular codificada por ese gene. Los mecanismos que regulan la expresión de la información genética de un organismo permiten a éste adaptarse con rapidez a los cambios del medio ambiente. En principio, los genes funcionan (o se expresan) únicamente cuando el organismo lo requiere y así proporcionan el producto proteico para el cual codifican y sólo en aquellas células que lo requieren (ver ADN, gene, promotor, operador, epigenética, estructura de ADN, ARNm, proteoma).

Exón. Partes de los genes que codifican para una proteína cuya información está almacenada en ese segmento de ese gene. Los genes están formados por exones (que codifican para proteína) e intrones o regiones que no codifican para proteína (ver gene, intrón, proteína, transcripción, ARNm, procesamiento de ARN, bases).

Fármaco. Sustancia que tenga actividad biológica que se identifique por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y que reúna las condiciones para ser empleado como

principio activo de un medicamento (ver biofármaco, medicamento, biomedicamento, insulina, interferón, hormona humana del crecimiento).

Fenilalanina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Fenotipo. Se refiere a la manifestación observable de un determinado genotipo. A un genotipo corresponde un fenotipo. Por ejemplo, a la presencia de un gene productor de melanina en grandes cantidades (genotipo), corresponde una coloración oscura de la piel (fenotipo) (ver gene, genotipo, mutación, ADN).

Fermentación. Término utilizado para explicar el proceso mediante el cual las células microbianas son capaces de multiplicarse en un medio de cultivo sintético o semisintético adecuado, y producir sustancias muchas de ellas de valor comercial, como la cerveza, el pan, antibióticos y más recientemente proteínas recombinantes como la insulina humana (ver biomasa, antibiótico, insulina, producto recombinante).

Flujo génico o genético. Proceso mediante el cual un conjunto de genes se transfiere de una población a otra. En los vegetales, el polen constituye un vehículo principal de movilidad de genes a otras plantas (ver riesgo biológico, bioseguridad, planta, semilla).

Fotosíntesis. Proceso mediante el cual las plantas y ciertas bacterias son capaces de sintetizar compuestos biológicos y biomasa utilizando la luz solar como fuente de energía (ver planta, cloroplasto, organelo).

Función biológica. El papel que lleva a cabo una molécula biológica —como las proteínas o los ácidos nucleicos—

para que la célula pueda llevar a cabo su metabolismo (ver proteína, síntesis de proteína, metabolismo, célula).

Gameto. Células haploides (que contienen una sola copia de cada gene) de casi todos los animales y muchas plantas capaces de fusionarse y formar un cigoto o huevo del cual surge el descendiente. En animales superiores, el gameto masculino es el espermatozoide y el óvulo es el gameto femenino (ver célula, replicación, ADN, cigoto).

Gene o gen. Segmento de ADN en el cual reside la información para sintetizar una molécula de proteína o de ARN. Además de las secuencias codificadoras llamadas exones, muchos genes también contienen secuencias no codificadoras como los intrones y las regiones reguladoras. Los genes son secuencias de cuatro tipos de nucleótidos que integran el ADN. El orden o la secuencia de los nucleótidos, de tres en tres (tripletes o codones) es responsable del orden de los aminoácidos en las proteínas. Este orden de los nucleótidos se “transcribe” en una molécula de ARN mensajero y es “traducida” en una proteína en los ribosomas de la célula (ver colinearidad, producto proteico, ARNm, nucleótido, ADN, transcripción, exón, intrón, proteína, célula, estructura de ADN, cromosoma).

Gene estructural. Fragmento específico de material genético donde reside la información para una proteína. La regulación de los genes se logra a través de secuencias específicas de ADN que están en las regiones previas a los genes, conocidas como regiones 5' (ver gene, exón, intrón, promotor, operador, gene regulador, procesamiento de ARN).

Genes terminadores. Genes que pueden impedir la germinación de las semillas de un cultivo que los tenga como parte de su genoma (ver riesgo biológico, bioseguridad).

Genética. Disciplina que inicia en 1860 con los experimentos de Gregor Mendel, orientados al estudio de la manera en que funcionan y están organizados los genes en la célula viva y de cómo se transmiten las características de un padre a un hijo (ver gene, transmisión vertical de ADN, gameto, cigoto).

Gene regulador. Secuencia de ADN que lleva la información para una proteína que participa en fenómenos de regulación de la expresión genética (ver gene, gene estructural).

Genoma. Conjunto de todo el material genético de ADN que tiene un organismo vivo en cada una de sus células. En el caso de las bacterias, es el material genético presente en su único cromosoma. En el caso del ser humano, es el material genético presente en nuestros 23 pares de cromosomas con más de 21,000 genes en todas las células del cuerpo humano, con excepción de los gametos (espermatozoide y óvulo) que tienen sólo una copia de cada uno de los 23 cromosomas (ver ADN, cromosoma, gene, gameto, haploide, pares de cromosomas, virus).

Genómica. Análisis del conjunto de todos los genes y sus regiones reguladoras (promotores, terminadores, operadores y espaciadores) en un organismo vivo. El análisis incluye la determinación de la secuencia de los nucleótidos que integran el genoma del organismo. A la fecha, hay miles de organismos a los que se ha determinado la secuencia nucleotídica de todas sus moléculas de ADN residentes en los cromosomas. La bacteria *Escherichia coli* tiene poco más de un millón de pares de nucleótidos en su genoma y poco más de 4,000 genes. La raza humana tiene 3,500 millones de pares de nucleótidos en los 23 pares de cromosomas de nuestro genoma que incluyen alrededor de 21,000 genes (ver genoma, *E. coli*, ADN, gene, cromosoma, pares de cromosomas).

Genómica comparada. Conjunto de métodos utilizados para analizar y comparar los genomas de diferentes organismos (ver bioinformática).

Genómica funcional. Estudio de la función de los genes de un organismo y de la organización y control de las diversas redes genéticas que establecen la fisiología de ese organismo (ver bioinformática).

Genotipo. Se usa para denominar al componente genético de un determinado individuo o variedad. Se refiere, en última instancia, a la secuencia de su genoma. La expresión del genotipo es el fenotipo (ver fenotipo).

Glicina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Glucosa. Azúcar que forma parte de los carbohidratos presentes en los alimentos y que es utilizada por los seres vivos para producir energía biológica, precursores celulares y así crecer y reproducirse (ver carbohidrato, célula, ATP, metabolito, catabolismo).

Glutamina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Guanina. Una de las cuatro bases nitrogenadas que conforman los nucleótidos que integran el ADN y el ARN (ver ADN, ARN, bases).

Haploide. Los gametos de los organismos superiores (espermatozoide y óvulo) tienen sólo una copia de cada cro-

mosoma y por ello son haploides. Al fusionarse, generan un cigoto que tiene dos pares de cada cromosoma. El cigoto es diploide por estas razones y lleva dos copias de cada cromosoma. Las bacterias son haploides, ya que sólo tienen una copia de cada gene y un solo cromosoma (ver cromosoma, ADN, diploide, cigoto, genoma).

Herramientas moleculares. Conjunto de moléculas de tipo biológico que normalmente tiene la célula viva para llevar a cabo sus funciones para el manejo de sus propios ácidos nucleicos. Estas moléculas son utilizadas *in vitro* por el biólogo molecular para manipular el material genético de las células. Entre estas herramientas están los plásmidos y las enzimas que modifican y polimerizan los ácidos nucleicos (ver plásmido, ácidos nucleicos, ingeniería genética, clonación molecular de ADN).

Heterólogo. Se refiere al material genético de un origen diferente al de la célula receptora. Se le llama también así al ADN pasajero que se incorpora por técnicas de ingeniería genética a través de un vector en una célula (ver ADN, ingeniería genética, plásmido, herramientas moleculares).

Heterótrofo. Organismo que no produce su propia comida (ver bacteria, planta, animal).

HGHr (*Recombinant Human Growth Hormone*). Ver hormona humana del crecimiento.

Hibridación. Aplicado a los ácidos nucleicos, significa su capacidad de encontrar o asociarse a la hebra de ADN opuesta o complementaria (ver replicación, ADN, ácidos nucleicos, ARN).

Hidrólisis enzimática. Proceso mediante el cual las enzimas rompen uniones covalentes, (unionen de tipo fuerte)

de otras proteínas, carbohidratos, ácidos nucleicos y otras moléculas (ver enzima, proteína, catalítico, quimosina, tripsina, lipasa, lactasa).

Histidina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Hongo. Grupo de organismos saprófitos responsables de muchos de los procesos de biodegradación de compuestos y moléculas provenientes de otros organismos (ver bioinsecticida, pesticida, recalcitrante, biodegradable).

Hormona humana de crecimiento. Proteína producida en la glándula pituitaria que regula el crecimiento de diferentes tejidos. Actualmente se produce por medio de técnicas de ingeniería genética y se utiliza en el tratamiento clínico del enanismo (ver insulina, biomedicamento, producto recombinante).

Infección. Mecanismo que utilizan los organismos patógenos (virus, bacterias, hongos) para apoderarse de la maquinaria del organismo infectado. En algunos casos puede causar la muerte del infectado (ver bacteria, virus, organismo patógeno).

Influenza. Se refiere al virus que causa la gripe. Existen diferentes variedades entre estos virus. Recientemente apareció el virus de la influenza AH1N1 que generó una pandemia a nivel mundial. Este tipo de virus puede infectar diferentes animales y por ello el genoma del virus AH1N1 está constituido por ARN de origen humano, aviar y porcino, producto de recombinación genética (ver ARN, virus, zoonosis, recombinación genética).

Ingeniería bioquímica. Disciplina que utiliza el conocimiento en ingeniería y en bioquímica con fines de producción industrial de bienes y servicios basados en seres vivos y sus partes.

Ingeniería celular. Conjunto de metodologías que permite la manipulación de la información genética, así como de las vías metabólicas de un organismo vivo, para redireccionar la maquinaria celular con miras a producir o incrementar la síntesis de moléculas biológicas específicas de interés comercial como los biomedicamentos insulina y hormona humana del crecimiento (ver célula, vía metabólica, macromolécula biológica).

Ingeniería genética. Conjunto de métodos y herramientas moleculares que se utilizan para manipular *in vitro* (en el tubo de ensayo), el material genético (ADN y ARN) de los organismos vivos. La ingeniería genética es sinónimo de metodología de ADN recombinante. Con esta metodología se han creado los transgénicos. El término “biogenética” es erróneo y no debe utilizarse (ver clonación molecular de ADN, ADN recombinante, herramientas moleculares, plásmido, biobalística, transgénico, OGM).

Ingeniería de vías metabólicas. Conjunto de metodologías que permite la modificación dirigida de las vías de biosíntesis y de degradación de compuestos biológicos en los organismos vivos (ver metabolismo, célula).

Inmunógeno. Sustancia extraña a un organismo capaz de desencadenar una respuesta inmune en animales superiores (ver alergenicidad).

Innovación. Introducir mejora o novedad a un producto o tecnología (ver tecnología biológica).

Inocuidad. Ausencia de daño a la salud, al medio ambiente y a la biodiversidad. En este contexto, por el uso de los OGM o sus productos (ver riesgo biológico, bioseguridad, alimentos genéticamente modificados, evidencia sustentada científicamente, productos recombinantes, quimosina).

Insulina. Proteína de 51 aminoácidos que regula el nivel de azúcar en la sangre. Fue la primera proteína humana producida en bacterias por técnicas de ingeniería genética. Hay individuos que por mutación en el gene de la insulina no son capaces de producir insulina funcional y por ello presentan la enfermedad genética llamada *Diabetes mellitus* (ver proteína, enfermedad genética, diabetes, mutación, fármaco, biomedicamento, *E. coli*, producto recombinante).

Integración de ADN exógeno o heterólogo. Fenómeno mediante el cual ADN heterólogo se incorpora al genoma de la cepa receptora a través de uniones covalentes, por lo que queda como un segmento constitutivo del nuevo genoma, rearrreglado (ver ADN, transformación, infección, virus, recombinación genética, reorganización del genoma, ADN heterólogo).

Interferón. Proteína humana que forma parte del sistema inmune humoral de vertebrados. Existe una variedad de proteínas con secuencias diversas comprendidas dentro de los interferones. Se produce como biomedicamento por ingeniería genética (ver proteína, fármaco, *E. coli*, biomedicamento, insulina, levadura).

Intrón. Fragmentos de ADN que se encuentra en muchos de los genes de los eucariotes, y que normalmente no codifican para la proteína que codifica ese gene. Los genes están compuestos por exones que sí codifican para la proteína, e intrones que no codifican. Al ser transcritos los

genes en RNAm, los intrones permiten un procesamiento diferencial de estos mensajeros que los llevan y de esta forma a partir de un transcrito original se pueden generar varios transcritos más pequeños que llevan combinaciones diferentes de intrones y exones. Esta es la razón por la cual es posible generar más de una proteína a partir de un gene (ver gene, exón, ADN, estructura de ADN, transcripción, procesamiento de ARN).

in vitro. Se refiere a condiciones experimentales en las que no existen células ni organismos vivos. Son las condiciones dadas en un tubo de ensayo (ver célula).

in vivo. Se refiere a condiciones experimentales que utilizan células u organismos vivos (ver célula).

Isoleucina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Investigación científica. Actividad humana, basada en el método científico, encaminada a entender la organización y el funcionamiento de los sistemas y los fenómenos naturales, entre ellos los biológicos. Esta actividad genera conocimiento novedoso sobre los diferentes sistemas de estudio que normalmente se publica en revistas especializadas arbitradas (ver conocimiento científico).

Lactasa. Enzima utilizada en la hidrólisis, o rompimiento de la lactosa, componente de la leche. Se produce por medio de técnicas de ingeniería genética (ver proteína, enzima, lactosa, ingeniería genética).

Lactosa. Carbohidrato presente en la leche (ver glucosa, carbohidrato, lactasa).

Levadura. Organismo eucariote unicelular que se utiliza para la producción de alcohol y otros compuestos, incluidos productos recombinantes. Tiene 16 pares de cromosomas en su núcleo y se ha determinado la secuencia nucleotídica de todo su genoma que contiene 6,241 genes (ver eucariote, genoma).

Leucina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Liberación al medio ambiente. Se refiere al proceso mediante el cual se pueden colocar o liberar los transgénicos en el medio ambiente. Esto es en los cultivos de vegetales y también en el uso de microorganismos para la biorremediación de hábitats o medio ambiente (tierra, aire, agua) contaminados (ver evaluación paso por paso, bioseguridad, riesgo biológico, transgénico).

Lipasa. Enzima que se utiliza en la producción de aceites. Se produce también por medio de técnicas de ingeniería genética (ver proteína, alimentos genéticamente modificados, ingeniería genética).

Lisina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Locus genético. Región específica del ADN de un cromosoma, en el cual se localiza un gene (ver ADN, gene, estructura de ADN).

Macromolécula biológica. Polímeros como las proteínas y los ácidos nucleicos que están constituidos por millones de átomos enlazados en largas cadenas (ver ADN, polímero, proteína).

Mapa genético. Orden o posición en la que los genes están localizados en los cromosomas con respecto a los demás genes (ver gene, cromosoma).

Material genético. Todo material de origen vegetal, animal, microbiano o viral, compuesto de ácidos nucleicos y que contenga genes (ver ADN, ARN, gene).

Medicamento. Toda sustancia que tenga efecto terapéutico, preventivo o de rehabilitación que se presente en forma farmacéutica y que se identifique como tal por su actividad farmacológica y sus propiedades físicas, químicas y biológicas (ver fármaco, biomedicamento, insulina, interferón).

Medicina genómica. Técnicas modernas de ciencia genómica y biología molecular que se utilizan en la medicina, para la detección y el tratamiento de enfermedades genéticas e infecciosas incluidos el cáncer y las enfermedades neurodegenerativas (ver cáncer, diagnóstico).

Medicina molecular. Aplicación a la medicina de técnicas de biología molecular, para la detección y el tratamiento de enfermedades hereditarias e infecciosas (ver biología molecular, diagnóstico).

Megadiverso. Poseedor de una gran diversidad.

Metabolismo. Conjunto de todos los procesos enzimáticos con los que cuenta la célula y que le permite la transformación de nutrientes en energía, nuevas moléculas biológicas y nuevas células (ver célula, vía metabólica, ATP).

Metabolito celular. Molécula que sintetiza o degrada la célula para llevar a cabo sus diferentes funciones. Varios de los metabolitos son también los monómeros de los polí-

meros biológicos como los aminoácidos que son los monómeros de las proteínas (ver metabolismo, vía metabólica, proteína, aminoácido).

Metaboloma. Conjunto de vías metabólicas y sus productos que tiene un organismo vivo (ver célula, genoma).

Metabolómica. Análisis global y sistémico de los metabolitos celulares —no proteínas— que tiene una célula. El análisis incluye la identificación, cuantificación, caracterización, localización, síntesis, degradación y relación con otros diferentes metabolitos que tiene una célula viva, gracias a sus múltiples vías metabólicas que permiten la síntesis de todos los metabolitos (ver metabolismo, vía metabólica, metabolito, proteína, célula).

Metilación. Adición del grupo químico llamado metilo ($-CH_3$) a las proteínas y a los ácidos nucleicos. En el caso del ADN y el ARN la metilación ocurre en algunos de los residuos de los nucleótidos de citosina (ver patrón de metilación, ADN, nucleótido, citosina, epigenética).

Metionina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Microbio. Sinónimo de microorganismo. Organismo de una o pocas células invisibles al ojo humano (ver bacteria, levadura).

Microbiología. Disciplina que estudia los microorganismos —que son aquellos que normalmente no se observan a simple vista por ser muy pequeños— constituidos, en lo general, por una o pocas células (ver virus, bacteria, levadura).

Microinyección. Introducción de ADN en una célula mediante el uso de jeringas muy delgadas (ver ADN, célula).

Microorganismo. Ver microbio.

Mitocondria. Organelos intracelulares en los cuales se lleva a cabo la síntesis del ATP. Se considera que originalmente fueron bacterias en vida libre que fueron integradas por endosimbiosis para crear nuevas formas de vida más adaptadas y capaces. Existen en los humanos y en todos los animales y vegetales del planeta (ver organelo, endosimbiosis, ADN, cloroplasto, célula, simbiogénesis, evolución).

Molécula biológica. Conjunto de átomos unidos covalentemente (enlaces químicos fuertes). Normalmente es sintetizada por un organismo vivo (ver célula).

Molécula biológica informacional. Molécula en la que reside información de tipo biológico. Hay dos tipos de moléculas biológicas informacionales: las proteínas y los ácidos nucleicos (ver ADN, ARN, ácidos nucleicos, proteína).

Molécula de ADN recombinante. Molécula integrada por ADN de origen celular y de origen heterólogo. Estas moléculas se pueden generar en el laboratorio utilizando las técnicas de la ingeniería genética que permiten aislar y unir fragmentos de ADN de diferentes orígenes: es así como se conforma la molécula de ADN recombinante. Estas moléculas recombinantes pueden incorporarse e integrarse a una o varias células. Si una de las dos moléculas es un vector como un plásmido o un virus, se permite la replicación del ADN recombinante y la estabilización de esta molécula en el interior de la célula a la que se incorporó (ver plásmido, vector, ingeniería genética, clonación molecular de ADN, célula, transgénico, recombinación genética).

Monitoreo. Se refiere a la capacidad de vigilar, detectar o diagnosticar la presencia de los transgénicos en diferentes nichos y a lo largo del tiempo (ver cultivo, transgénico, diagnóstico, bioseguridad, riesgo biológico, evaluación).

Monómero. Unidad constituyente de un polímero. Las proteínas son polímeros en los cuales los aminoácidos son los monómeros (ver aminoácidos, polímero, proteína).

Moratoria. Acciones para detener, por diferentes espacios de tiempo, el uso de una tecnología o un producto (ver riesgo biológico, bioseguridad).

Movilización. Transferencia o translocación de material genético de un lugar a otro. Puede ocurrir dentro de una misma célula o entre diferentes células, y puede propiciar la reorganización genética del genoma (ver transposón, vector, reorganización del genoma, evolución).

Mutación. La información genética contenida en el ADN es susceptible de sufrir modificaciones que se denominan mutaciones. Las mutaciones son causa de variación hereditaria y, por ende, en parte también de la evolución. Se sabe que todos los organismos experimentan mutaciones en su ADN debido a factores ambientales como radiaciones solares, interacción con productos químicos o infecciones virales. Son varios los tipos de cambios que puede sufrir el ADN, y éstos pueden alterar desde un solo nucleótido, hasta cromosomas completos. Alteraciones en la secuencia de los nucleótidos de un gene pueden ocasionar un cambio en la fase de lectura del gene, en el ARN mensajero, y por ello generarse una proteína con su secuencia de aminoácidos alterada, la cual ya no es capaz de realizar su función original (ver gene, ADN, nucleótido, mutágeno, evolución).

Mutación puntual. Cambio de un solo nucleótido en un gene (ver mutación, ADN, gene).

Mutagénesis. Proceso por el cual se inducen cambios en el material genético de un organismo. El proceso puede ser espontáneo o inducido (ver ADN, mutación, mutágeno).

Mutágeno. Sustancias químicas, energía, tecnologías y material genético que se han usado para inducir cambios en la secuencia del genoma de un organismo (ver mutagénesis, mutación).

Mutante. Organismo que tiene una modificación en su genoma, con relación al organismo original (ver ADN, gene, mutación, evolución).

Nucleótido. Monómero de los ácidos nucleicos ADN y ARN compuesto por una base, un azúcar y un fosfato. Existen cinco bases nitrogenadas en los ácidos nucleicos de los seres vivos; tres de ellas: guanina (G), citosina (C) y adenina (A), están presentes en el ADN y ARN. Además, en el ADN existe también la timina (T) y en el ARN, en vez de timina hay uracilo (U) (ver ADN, ARN, ARN mensajero, transcripción, traducción, ribosoma).

Oligonucleótido. Molécula de ADN de bajo número (~ 5 a 200) de nucleótidos. Los oligonucleótidos se utilizan como sondas o rastreadores en sistemas de diagnóstico y como primeros en procesos de polimerización y amplificación de ADN con técnicas de PCR. Se pueden sintetizar químicamente (ver PCR, replicación, diagnóstico, amplificación).

Operador. Se refiere a una región regulatoria o presente en muchos genes que sirve para asociar moléculas reguladoras, normalmente proteínas (represores, activadores),

para modular la expresión genética (ver expresión genética, genoma, ADN, gene).

Organelo. Estructura celular especializada en una función determinada, como el núcleo, las mitocondrias, los cloroplastos, los ribosomas (ver célula, endosimbiosis, mitocondria, evolución).

Organismo genéticamente modificado (OGM). Organismo que ha sido alterado a través de modificar su material genético, generalmente mediante la incorporación de material genético de otro origen. Es sinónimo de transgénico (ver ingeniería genética, transgénico, clonación molecular de ADN).

Organismo patógeno. Organismo capaz de causar infecciones en otro mediante un proceso de infección (ver botulismo, bacteria, *S. pneumonia*, influenza, cólera, infección).

Organismo transgénico. Ver transgénico.

Organismo unicelular. Organismo integrado por una célula (ver bacteria).

Pares de cromosomas. Los eucariotes superiores como los humanos tenemos la información genética duplicada, es decir, somos diploides. La mitad de nuestra información viene del padre y la otra, de la madre. Al fusionarse el espermatozoides y el óvulo se forma el cigoto a partir del cual se desarrolla el individuo. Los gametos, espermatozoides y óvulo, son haploides, es decir, sólo tienen 23 cromosomas en el caso de los humanos. Al fusionarse se genera un cigoto con 23 pares de cromosomas de los cuales cada uno de los pares de los cromosomas proviene de los dos gametos (ver cromosoma, ADN, gene, gameto, cigoto).

Pasajero. Se refiere al material genético que puede ser integrado en un vector como un plásmido para ser trasladado e incorporado en una célula (ver ingeniería genética, clonación molecular de ADN, plásmido, ADN heterólogo, herramientas moleculares).

Patógeno. Ver organismo patógeno.

Patrón de metilación. Posiciones que tienen y conservan en algunos casos las modificaciones de ciertos grupos metilo (-CH₃) en los residuos del nucleótido citosina (ver metilación, nucleótido, ADN, epigenética).

PCR (*Polymerase Chain Reaction*), Reacción en cadena de la polimerasa. Metodología que permite la amplificación específica de fragmentos de ADN. Lo anterior se alcanza a través de varios ciclos de síntesis de ADN utilizando la enzima ADN polimerasa (ver oligonucleótido, replicación, diagnóstico).

Pectinasa. Enzima que se utiliza en la fabricación de jugos. Se produce también mediante ingeniería genética (ver proteína, ingeniería genética, alimentos modificados genéticamente).

Pesticida. Sustancia utilizada para matar a los insectos causantes de las plagas. Muchos de estos pesticidas son de origen químico y generan problemas a la salud. En algunos casos, incluso, generan cáncer y muchos de ellos son recalcitrantes. Además, la mayor parte de los pesticidas químicos no son específicos para un insecto o una plaga y por ello, al aplicarlos, se mata no sólo a la plaga, sino, indiscriminadamente a muchos otros organismos que no son el objetivo (ver bioinsecticida, recalcitrante, carcinogénico, bioseguridad).

Planta. Miembro de uno de los cinco reinos en los que se clasifican los seres vivos (Reino *Plantae*). Las plantas son organismos eucariotes multicelulares usualmente con raíces en la tierra.

Planta transgénica. Planta a la cual se le incorporó material genético de otro origen. Normalmente con el propósito de generar resistencia a un insecto o proporcionar nuevas propiedades metabólicas al nuevo organismo (ver transgénico, bioinsecticida, ingeniería genética, biobalística).

Plásmido. Molécula circular de ADN que constituye material genético adicional al cromosoma bacteriano y que es capaz de replicarse de forma autónoma. Se utiliza como herramienta para clonar molecularmente al ADN (ver ingeniería genética, herramientas moleculares, clonación molecular de ADN).

Plasminógeno. Proteína precursora que al ser activada por proteasas se convierte en plasmina, lo que es el inicio del proceso de disolución de coágulos en la sangre. Se produce por medio de técnicas de ingeniería genética (ver fármaco, proteína, biomedicamento).

Polimerasa de ADN. Proteína con actividad enzimática, que participa en el proceso de replicación del ADN. Este mecanismo permite copiar cada una de las dos hebras del ADN y generar dos dobles hélices a partir de una doble hélice. En este proceso los desoxirribonucleótidos se añaden uno a la vez (ver ADN, replicación, estructura de ADN).

Polimerasa de ARN. Proteína con actividad enzimática involucrada en la síntesis de ARN (transcripción) y que usa como molde una de las dos cadenas del ADN (ver ARN, ADN, transcripción).

Polímero. Molécula formada por varios monómeros. Por analogía, los monómeros serían las cuentas de un collar y éste sería el polímero (ver proteína, aminoácido, monómero).

Polipéptido. Cadena de aminoácidos. Sinónimo de proteína (ver proteína, aminoácido).

Prímero. Molécula de ADN de hélice sencilla (oligonucleótido), de bajo peso molecular, que se utiliza como el primer elemento para iniciar la síntesis de ADN complementario en procesos de replicación (ver oligonucleótido, diagnóstico, PCR).

Procesamiento de ARN. Procesos celulares que reducen el tamaño de los transcritos de ARN. Estas moléculas de ARN procesadas son normalmente las moléculas funcionales en la célula (ver ADN, gene, ARN, transcripción, intrón, exón).

Procariote. Organismo vivo unicelular, como la bacteria, que tiene un solo cromosoma y que no tienen membrana nuclear (ver célula, bacteria, eucariote).

Procesos de verificación y seguimiento. Se refiere a los protocolos para detectar la presencia de los OGM en diferentes instancias y los procedimientos para asegurar el seguimiento de estos procesos de detección (ver bioseguridad, riesgo biológico, monitoreo, transgénico).

Producto recombinante. Producto obtenido mediante el uso de las técnicas de ADN recombinante, también llamadas ingeniería genética (ver fármaco, biomedicamento, transgénico, alimentos genéticamente modificados, insulina, lactasa, quimosina, interferón).

Prolina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Promotor. Secuencia pequeña de ADN que permite el inicio de la transcripción del gene que controla y que se localiza normalmente en la región anterior del gene. El promotor es reconocido por la enzima ARN polimerasa para iniciar el proceso de transcripción de los genes (ver gene, ADN, regulación genética, transcripción, ARNm, estructura del ADN).

Proteasa. Enzima que degrada o hidroliza las proteínas (ver proteína).

Protéico o proteínico. Lo relacionado con las proteínas (ver proteína, aminoácido, polímero).

Proteína. Las proteínas son macromoléculas informacionales, pero a diferencia del ADN, que es la molécula en donde reside la información genética para sintetizar las proteínas, éstas son las herramientas que tienen las células para llevar a cabo la mayor parte de sus funciones; en otras palabras, en las proteínas reside la información funcional de la célula. Ejemplos de estas proteínas son los siguientes: la insulina, que es una proteína que regula el nivel de azúcar en la sangre; la hemoglobina, que es otra proteína que transporta en los glóbulos rojos, el oxígeno de los pulmones a todas las células del organismo; la tripsina, que es una proteína que trabaja en nuestro aparato digestivo para digerir otras proteínas provenientes de otros organismos y que forman parte de nuestro alimento. Como estas tres proteínas, existen otras muchas —alrededor de cien mil— en nuestro organismo y, gracias a ellas y a la información funcional específica en cada una de ellas, el organismo y sus diferentes órganos, tejidos y células llevan a cabo

sus tareas. Las proteínas también son polímeros biológicos (como collares) que están constituidos por 20 monómeros (las cuentas del collar) diferentes llamados aminoácidos. Por esta razón, no puede haber correspondencia de un aminoácido por cada uno de los nucleótidos que integran los genes. La consecuencia obvia es que cada uno de los aminoácidos de una proteína debe estar “codificado” por grupos de nucleótidos. Al descifrar el “código genético” se comprobó, *de facto*, que cada aminoácido está codificado por un grupo de tres nucleótidos al que se le denomina triplete o codón. Se determinó también que en algunos casos, más de un triplete codifica para un mismo aminoácido y que algunos tripletes codifican señales de terminación o iniciación para la síntesis proteica. Este código genético es universal ya que es el mismo para todos los seres vivos. Las proteínas pueden ser modificadas químicamente después de su síntesis y por ello su actividad puede ser modulada (ver código genético, codón, anticodón, ARN de transferencia, ARN mensajero, ARN ribosomal, ribosoma, síntesis de proteínas, ADN, aminoácido, polímero, macromolécula, biología, gene).

Proteína recombinante. Proteína obtenida mediante técnicas de ingeniería genética o ADN recombinante.

Proteína terapéutica. Proteínas que se utilizan en el tratamiento de enfermedades. En la actualidad, muchas de ellas se producen por medio de técnicas de ingeniería genética (ver fármaco, biomedicamento, insulina).

Proteoma. Conjunto de todas las proteínas que tiene un organismo vivo (ver proteína, célula).

Proteómica. Análisis de los componentes proteicos (de las proteínas) que integran la célula viva. Este análisis no sólo incluye la identificación y cuantificación de las proteínas con

las que cuenta una célula, sino también la síntesis, degradación, localización, modificación, interacción, actividad y funciones de estas macromoléculas biológicas informacionales (ver proteína, célula, macromolécula biológica).

Provirus. ADN de un retrovirus cuando se encuentra integrado en el genoma de la célula infectada (ver retrovirus, virus, genoma, ADN).

Pseudoviral. Partícula integrada por las proteínas virales que recubren material genético no viral proveniente de la célula infectada por el virus original.

Quimosina. Enzima originalmente obtenida del estómago de terneras para la elaboración de queso. Primera proteína de origen recombinante aceptada en alimentos (ver proteína, alimentos modificados genéticamente, inocuidad, producto recombinante).

Reacción en cadena de la polimerasa. Ver PCR.

Recalcitrante. Compuestos normalmente producidos por el hombre que no son degradables ni reciclables biológicamente (ver pesticida, riesgo).

Recombinación genética. Mecanismo mediante el cual la célula viva rearregla fragmentos de material genético. Esto puede suceder por la translocación de material genético existente, como los transposones, a otro lugar del genoma. Puede también ocurrir por la infección de un virus o por la incorporación de material genético existente en el suelo por la muerte de los organismos vivos. Este fenómeno permite o es responsable de la reorganización del genoma de los organismos vivos (ver reorganización del genoma, infección viral, genes, integración de ADN, heterólogo, transformación, influenza).

Recombinación in vitro. Técnica que permite el aislamiento de material genético (genes) de un origen y su unión en un tubo de ensayo (*in vitro*) a ADN de diferente origen. Sinónimo de ingeniería genética. Con estas técnicas se construyen los organismos transgénicos (ver ingeniería genética, transgénico, recombinación genética, clonación molecular de ADN).

Recombinante. Ver producto recombinante.

Recursos biológicos. Recursos genéticos, organismos o partes de ellos, poblaciones o cualquier otro componente biótico de los ecosistemas con valor o utilidad real o potencial para el ser humano (ver biodiversidad).

Recursos genéticos. Material genético de valor real o potencial que existe en los organismos que componen la biodiversidad del planeta (ver biodiversidad, ADN).

Remediación. Conjunto de técnicas que permiten remediar o limpiar un sistema o hábitat contaminado (ver hongos, recalcitrante, biodegradable, biopesticida).

Reorganización del genoma. Fenómeno que tiene como resultado que segmentos del genoma cambien o reubiquen su posición. Este fenómeno implica que un fragmento de ADN de origen infeccioso (viral o bacteriano) se incorpore a una célula y que dé lugar, mediante la recombinación genética, a la integración, translocación o reubicación de fragmentos de ADN. Las células normalmente pueden también reorganizar su genoma. Los transposones, que son secuencias de ADN que se mueven y reubican sus posiciones en el genoma, son los responsables de este fenómeno de translocación sin la necesidad de un ADN proveniente de un virus o una bacteria (ver recombinación genética, transposón, ingeniería genética, gene, ADN, genoma, evolución, transposición).

Replicación. Proceso enzimático de la célula por el cual las moléculas de ADN se duplican y generan dos dobles hélices iguales a partir de una sola. El proceso requiere la separación de las dos hélices de la molécula original (ver ADN, polimerasa de ADN, PCR, doble hélice).

Resistencia. En biología molecular es un sistema que permite la selección de un organismo y que utiliza generalmente genes que codifican para las proteínas que confieren resistencia a un antibiótico (ver antibiótico, gene, proteína).

Retrovirus. Virus cuyo genoma es de ARN (como el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) causante del SIDA), y que infecta a las células eucarióticas. Se replica sintetizando una copia de ADN complementario a partir de su ARN (transcripción reversa). Este ADN complementario se inserta en el ADN cromosomal de la célula huésped y da origen a los ARN mensajeros virales, así como al ARN genómico que se incorpora en los nuevos virus (ver ADN, transcripción reversa, ARN, virus).

Ribosa. Azúcar que forma parte de los ribonucleótidos en el ARN.

Ribosoma. Organelo en el que se sintetizan las proteínas, de acuerdo con las instrucciones presentes en el ARN mensajero. Es un agregado de proteínas y ARN (ver organelo, transcripción, traducción, ARNm, ARN de transferencia, ARN ribosomal, codón, anticodón, aminoácido, traducción).

Riesgo. Probabilidad de que un peligro ocurra. Esta probabilidad de ocurrencia depende de varios factores: la posibilidad de exposición y la posibilidad de que el peligro ocurra habiéndose dado la exposición. En el contexto de los OGM, es la posibilidad de que la presencia o utilización de organismos transgénicos o de sus productos pudieran

causar daño a la salud humana, a la salud animal o a la biodiversidad presente en el planeta. Se señala que hasta la fecha no hay evidencia científica que señale daño ni a la salud humana ni tampoco a la biodiversidad por el uso de los OGM o sus productos. Toda tecnología tiene la posibilidad implícita de causar daño si se utiliza irresponsable e ilegalmente. Sin embargo, los OGM no han causado ningún daño sustentado científicamente hasta la fecha. En muchos países incluido México, se tiene la legislación y se desarrollan normas adecuadas para un manejo responsable de los OGM que minimiza los posibles riesgos de su utilización (ver riesgo biológico, bioseguridad, seguridad de la biotecnología, transgénico, OGM).

Riesgo biológico. Riesgo que sobre la salud humana, animal y vegetal y sobre el medio ambiente pueden tener ciertos tipos de productos y procesos biotecnológicos modernos, incluidos los organismos transgénicos, su consumo como alimento y su liberación al medio ambiente (ver bioseguridad, transgénico, seguridad de la biotecnología, OGM, riesgo).

Sanidad animal o vegetal. Medidas que deben adoptarse e implementarse para preservar, afrontar y limitar los riesgos de las enfermedades o contaminación química o biológica que afectan a los animales o a los vegetales. En el contexto de este libro, los riesgos incluyen aquellos que pudieran ocurrir por la presencia de OGM y sus productos (ver riesgo biológico, bioseguridad, transgénico, riesgo).

Secuenciación de ácidos nucleicos. Ver secuenciación de ADN.

Secuenciación de ADN o de los genomas. Metodologías que permiten determinar la posición (secuencia) que guardan los nucleótidos, uno inmediatamente después

del anterior, en el polímero de la hebra de la molécula de ADN. Como analogía entiéndase la secuencia de las letras en las palabras, donde las letras son los nucleótidos y el ADN, las palabras. Existen varias técnicas para determinar la secuencia de los millones de nucleótidos en la molécula de ADN. La información generada se almacena en bancos de secuencias que permiten analizarlas y compararlas (ver ADN, nucleótidos, genómica comparada, bioinformática).

Secuenciación de proteínas. Posición (secuencia) que guardan los aminoácidos, uno inmediatamente después del anterior, en el polímero de proteína. Como analogía, entiéndase la secuencia de las cuentas de un collar donde cada cuenta es un aminoácido y el collar es la proteína (ver aminoácidos, proteína).

Seguridad de la biotecnología. En el Convenio de Diversidad Biológica se estableció un acuerdo sobre la "seguridad de la biotecnología". Por ello se estableció el Protocolo de Cartagena mediante el cual los países firmantes se comprometieron a establecer las reglamentaciones y medidas para evaluar los transgénicos que pudieran tener efectos adversos en la salud humana y la diversidad biológica (ver bioseguridad, riesgo biológico, riesgo).

Semillas híbridas. Producto de una nueva variedad producida por el cruzamiento y selección de dos especies diferentes de una planta, como el maíz o el trigo (ver planta).

Serina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

SIDA. Enfermedad denominada Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida causada por el virus VIH (ver retrovirus).

Simbiogénesis. Término que se refiere a la formación de nuevas formas de vida, nuevos órganos o nuevos organelos que se logra mediante la asociación permanente de formas de vida previamente establecidas. Se ha propuesto un papel relevante de este proceso biológico en la evolución de las especies (ver endosimbiosis, cloroplasto, mitocondria, organelo, célula, evolución).

Síntesis biológica. Proceso celular mediante el cual las células producen moléculas biológicas. Algunas de éstas como proteínas, antibióticos, vitaminas, tienen valor comercial.

Síntesis química. Proceso de fabricación mediante reacciones químicas que permite producir moléculas complejas, incluidos los oligonucleótidos y las proteínas (ver oligonucleótido, proteína).

Síntesis de proteínas. Proceso celular mediante el cual se sintetizan las proteínas en los ribosomas. La célula utiliza la secuencia de nucleótidos presente en el ARN mensajero, la cual es leída de tres en tres nucleótidos por los ARN de transferencia, dando así lugar a la síntesis de la proteína (ver ADN, ARN, ARN mensajero, ARN de transferencia, código genético, codón, proteína, anticodón, nucleótido, transcripción, traducción).

Sistema biológico. Se refiere a los organismos vivos que incluyen microorganismos, plantas y animales (ver célula, planta, animal, microorganismo).

Sonda. Fragmento específico de ADN o ARN que por su asociación con la secuencia complementaria se utiliza en métodos de diagnóstico (ver diagnóstico, oligonucleótido, primeros, ADN, ARN, replicación).

Sustentar. Soportar y defender con razones científicas (ver evidencia científica).

Sustrato. Sustancia o molécula con la que interacciona una enzima de manera específica y que luego se transforma en producto (ver proteína, enzima).

Tecnología biológica. Conjunto de métodos sustentados principalmente en el conocimiento de los organismos vivos, que al ser escalados al nivel adecuado, permite la producción a nivel industrial de moléculas biológicas de interés comercial. Alternativamente, la tecnología biológica puede ser también un conjunto de métodos utilizados para resolver un problema, como por ejemplo, la contaminación de un hábitat ecológico específico (ver biotecnología moderna).

Teoría de la evolución de las especies. Propuesta por Darwin, señala que todos los seres vivos del planeta, incluidos los humanos, derivamos de un organismo común (ver evolución, endosimbiosis, reorganización del genoma, organelo, mitocondria, simbiogénesis).

Timina. Una de las cuatro bases nitrogenadas que conforman los nucleótidos que integran el ADN. Existen millones de nucleótidos en el ADN cromosomal (ver ADN, replicación, bases).

Tirosina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Toxicidad. Se refiere al posible efecto de envenenamiento en el usuario (ver riesgo biológico).

Traducción. Proceso enzimático por el cual la célula reconoce y lee la secuencia de codones del ARN y mediante este

proceso se elabora una cadena de proteína, conforme al código genético, leyendo de tres en tres los nucleótidos que conforman el ARNm (ver colinearidad entre gene y producto proteico, célula, proteína, ribosoma, transcripción).

Transcripción. Proceso celular mediante el cual se sintetiza ARN mensajero, ARN ribosomal o ARN de transferencia, a partir del ADN (ver ADN, ARN, ARN mensajero, ribosoma, proteína).

Transcripción reversa. Proceso de copiar ADN a partir del ARN. Ocurre en las células infectadas con retrovirus que tienen ARN como material genético. Al introducirse este material genético a la célula, se generan copias de ADN a partir del ARN del virus. En el caso de los retrovirus, este material de ADN copiado a partir de ARN se puede integrar en el genoma de la célula infectada (ver retrovirus, ADN, ARNm, reorganización del genoma, ADN complementario).

Transcriptoma. Conjunto de todos los transcritos de ARN que se pueden sintetizar a partir de las secuencias de ADN de una célula (ver transcripción, ARN, gene).

Transcriptómica. Análisis del conjunto de transcritos de ARN que se pueden generar en una célula. Este conjunto varía entre diferentes condiciones metabólicas: implica qué genes se están expresando y están dando lugar al conjunto de ARNm, ARNr, ARNt y otros muchos ARN pequeños que se generan a partir de la transcripción del genoma de una célula. El análisis incluye la cuantificación, caracterización, localización, modificación, degradación y otras funciones asociadas a los ARN. La transcripción de los genes del genoma en ARN ocurre por la polimerasa de ARN, enzima que es parte de la maquinaria para transcribir (copiar) el ADN en ARN (ver transcriptoma, genoma, ARN, gene, polimerasa de ARN, transcripción).

Transferencia horizontal de ADN. Mecanismo mediante el cual una célula puede recibir el material genético de otros organismos (como de un virus o de una bacteria) o a través de incorporar material genético existente en el entorno por medio del fenómeno de la transformación. Este fenómeno permite a una célula incorporar y utilizar material genético de otro origen. A través de este fenómeno el genoma se puede reorganizar y por ello la célula adquiere nuevas funciones codificadas por el nuevo material genético (ver reorganización del genoma, transformación, ADN, virus, evolución).

Transformación. Fenómeno que permite introducir material genético a una célula. Si es incorporado en el genoma de la célula receptora, el ADN puede ser estabilizado y transferido a células hijas. En bacterias, el material genético puede ser también estabilizado por medio de técnicas de ingeniería genética, a través de unirlo a un vector o plásmido (ver reorganización del genoma, transferencia horizontal de ADN, heterólogo, plásmido, ingeniería genética, transgén).

Transgene o transgén. El material genético de diferente origen, incorporado mediante técnicas de ingeniería genética en un organismo. Al organismo que resulta de este proceso se le llama transgénico o modificado genéticamente (ver ingeniería genética, ADN, transgénico).

Transgénico. Sinónimo de OGM. Organismo biológico al que se le ha incorporado uno o varios genes (transgenes) de un organismo de otra especie, mediante las técnicas de la ingeniería genética y otras (biobalística o electroporación). Estos nuevos transgenes normalmente se estabilizan mediante recombinación genética con material genético de las células receptoras. Mediante la multiplicación de estas células transformadas, los transgenes pueden ser

transmitidos a su progenie (ver ingeniería genética, riesgo biológico, bioseguridad, clonación molecular de ADN, biobalística, planta transgénica, transferencia horizontal, OGM).

Transgenosis. Proceso mediante el cual se incorpora material genético (transgén) de un organismo dado en otro y se generan así organismos transgénicos cuando el donador y el receptor son diferentes (ver transgénico, ingeniería genética, transferencia horizontal de ADN, reorganización del genoma).

Transmisión vertical de ADN. Herencia de genes y material genético de padres a hijos (ver gametos).

Transposasa. Enzima responsable del movimiento o reubicación de un transposón a otro lugar del genoma en una célula (ver transposón, reorganización del genoma, genoma, proteína).

Transposición. Mecanismo mediante el cual un fragmento de ADN (el transposón) se reubica de lugar en el genoma de la célula en la que ocurre. Mediante este mecanismo hay reorganización del genoma por el cambio de posición del transposón. En algunos casos el transposón puede inactivar un gene al interrumpirlo por su translocación. En las mazorcas de maíz con granos de colores estos cambios de coloración son resultado de la reubicación de transposones en esos granos. Es un fenómeno natural que ocurre cotidianamente (ver transposón, reorganización del genoma, evolución, modificación genética, ADN, retrovirus).

Transposón. Elemento de ADN capaz de reubicarse (moverse o relocalizarse) de un lugar a otro del genoma en una misma célula a través de la acción de transposasas (ver transposasa, reorganización del genoma).

Treonina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Tripanosomas. Animales parásitos de otros animales (ver organismo patógeno).

Triplete. Ver codón.

Tripsina. Proteína con capacidades enzimáticas (enzima) que tenemos y utilizamos los animales superiores para degradar en el estómago otras proteínas que forman parte de los alimentos (ver proteína, enzima).

Triptofano. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Uracilo. Una de las cuatro bases nitrogenadas que conforman los nucleótidos que integran el ARN. Existen millones de nucleótidos en una molécula de ARN (ver ARN, transcripción, traducción, bases).

Valina. Uno de los 20 aminoácidos que integran las proteínas (ver proteínas, síntesis de proteínas, codón, código genético, polímero, ARN mensajero, ARN de transferencia).

Vacuna. Conjunto de moléculas biológicas que al ser introducido en un mamífero permite generar anticuerpos específicos y eventualmente generar inmunidad en contra de este conjunto particular de moléculas biológicas (ver inmunógeno, anticuerpo).

Vector. Tipo de ADN, como los plásmidos o los virus, que puede replicar su material genético en el interior de

ciertas células huéspedes y que es capaz de transferir fragmentos de ADN entre diferentes organismos (ver ingeniería genética, herramientas moleculares, transgénico, plásmido).

Vía metabólica. Conjunto de reacciones enzimáticas que tiene la célula para llevar a cabo una función de síntesis o de degradación de metabolitos celulares (ver célula, metabolismo, metabolito celular, metaboloma).

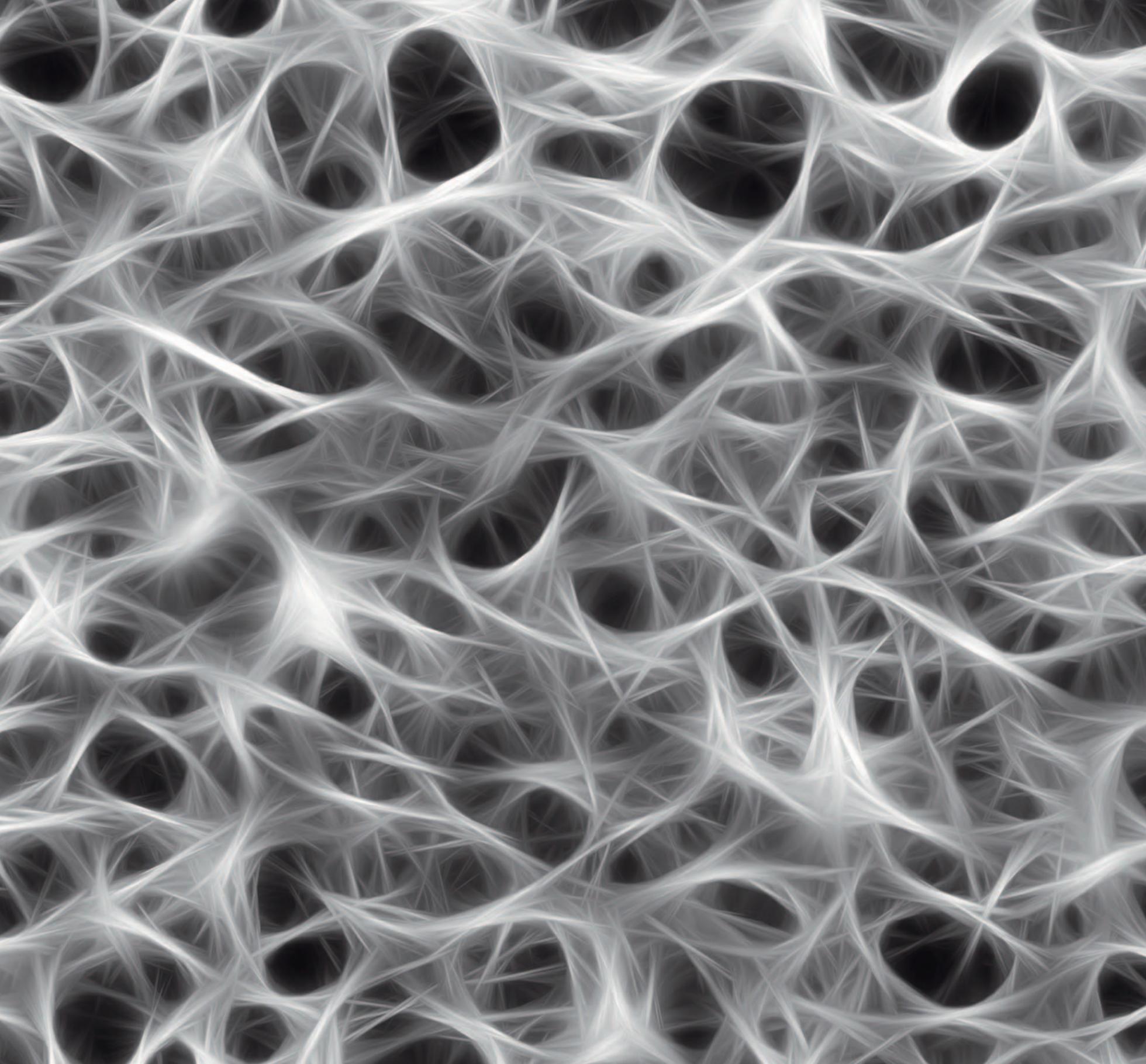
VIH. Retrovirus de Inmunodeficiencia Humana causante del SIDA (ver virus, SIDA, retrovirus).

Virulencia. Medida del carácter patogénico (o patogenicidad) de un microorganismo. Está determinada por el conjunto de moléculas y mecanismos que tienen los virus y las bacterias patógenas para poder infectar a un organismo (ver virus, bacteria, organismo patógeno).

Virus. Partícula microscópica formada y organizada por la asociación de proteínas que engloban una molécula de ácido nucleico (ADN o ARN). Los virus son parásitos celulares que sólo pueden multiplicarse al infectar células huéspedes susceptibles (ver ADN, ARN, SIDA, ácidos nucleicos, célula, retrovirus).

Zigoto. Huevo fertilizado por la fusión de dos células sexuales haploides. En el caso del humano, espermatozoide y óvulo. Después de la fusión de los gametos, el cigoto es ya una célula diploide por contener dos copias de cada gene, una proveniente del padre y otra de la madre (ver gameto, haploide, diploide, célula).

Zoonosis. Infecciones que ocurren en los animales y se transmiten al hombre. Ocurren de manera natural y un ejemplo es el virus de la influenza (ver virus, influenza).



ANEXO 3: LISTADO DE HECHOS Y EVENTOS RELEVANTES RELACIONADOS
CON LA BIOTECNOLOGÍA Y EL USO DE LOS SERES VIVOS Y SUS PRODUCTOS
PARA CONTENDER CON NUESTRAS NECESIDADES DE ALIMENTO Y SALUD

Se incluyen también algunos de los acontecimientos científicos relevantes, relacionados con la célula viva y otras fechas relevantes para el marco jurídico de la biotecnología.

500 a.c. Se utiliza en China el primer antibiótico a base de emplastes de moho de soya, en el tratamiento de quemaduras.

100 Se produce en China el primer insecticida a partir de polvos de crisantemo.

1761 E. Jensen desarrolla la primera vacuna contra la viruela.

1859 Ch. Darwin elabora y publica su teoría de la evolución de las especies.

1870 Se desarrollan los primeros cruzamientos gené-

ticos en algodón para generar variedades de calidad superior.

Se produce el primer híbrido de maíz en el laboratorio.

1871 Se describe el ácido desoxirribonucleico (ADN) en el esperma de la trucha.

1880 G. Mendel descubre que existen elementos genéticos discretos (a los que posteriormente se les denomina genes), en donde residen características específicas de los organismos vivos y que son heredados a la progenie.

1885 L. Pasteur desarrolla la vacuna contra la rabia.

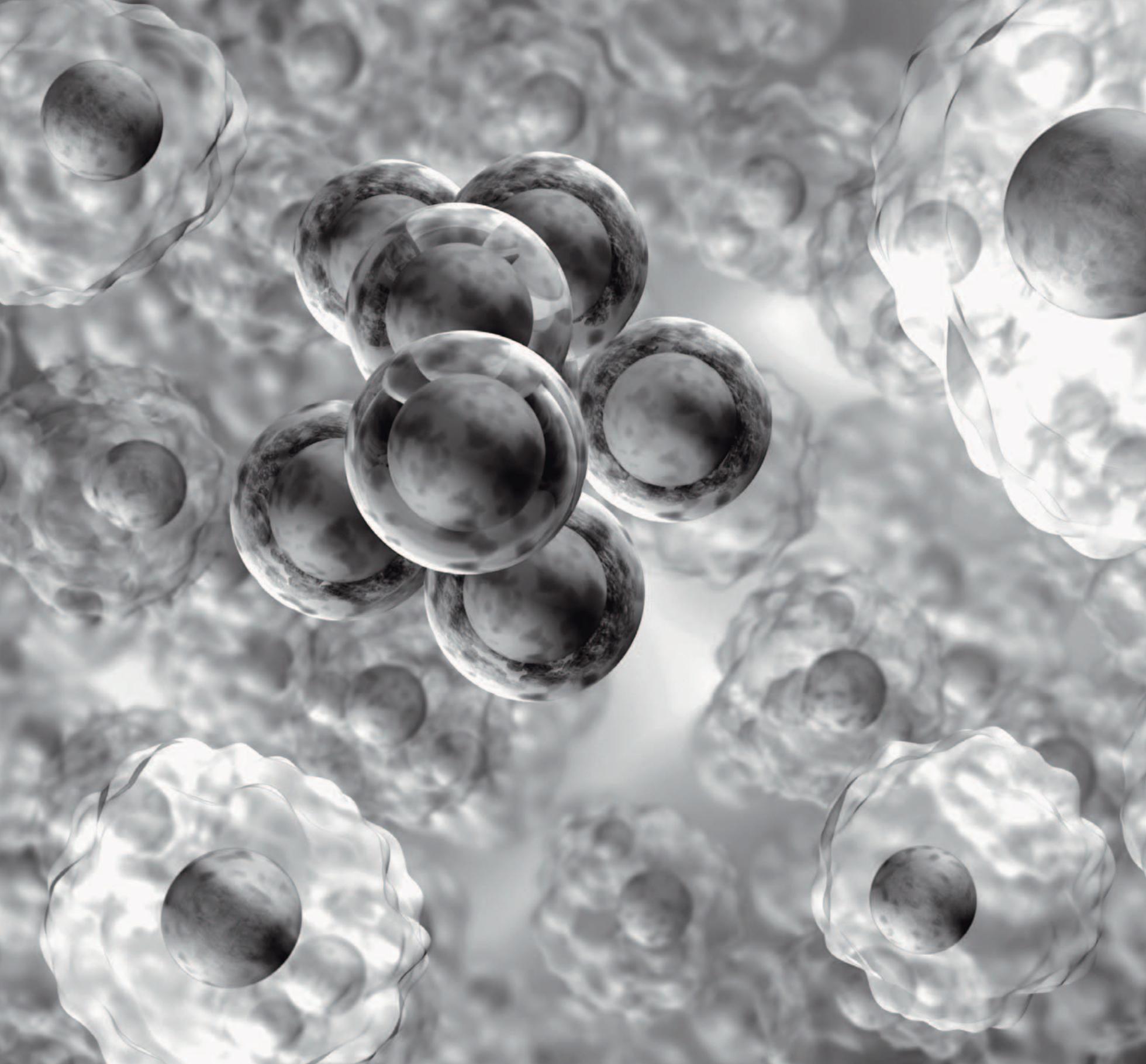
1911 T. Morgan y colaboradores elaboran los primeros mapas genéticos con las posiciones de los genes en los cromosomas de la mosca de la fruta.

1922	A. Flemming descubre la penicilina.	1960	A. Kornberg aisla la enzima de ADN polimerasa, que se utiliza en las técnicas de amplificación de genes.
1933	Se comercializa el primer híbrido de maíz mejorado.	1961	S. Brenner y colaboradores descubren el ARN mensajero y demuestran que tiene la información y la capacidad para dirigir la incorporación de aminoácidos en la síntesis de las proteínas.
1942	Se produce penicilina comercialmente por cultivos de hongos.		
1944	O. Avery, C. McLeod y M. McCarthy demuestran que el ADN es la sustancia en donde reside la información genética.		M. Nirenberger y colaboradores, establecen con base en las propuestas de F. Crick el código genético universal.
1951	Se logra la primera inseminación artificial de ganado.		F. Jacob y colaboradores aislan el primer elemento que regula la expresión de los genes.
1953	J. Watson y F. Crick describen la estructura conformacional de la doble hélice del ADN.	1967	Se aisla la enzima ligasa del ADN, que permite unir fragmentos de ADN de diferentes orígenes.
1957	B. McClinton postula la existencia de los transposones para explicar el rearrreglo del material genético que ocurre en los granos de diferentes colores en las mazorcas de maíz.	1970	H. Smith y colaboradores aislan la primera enzima nucleasa de restricción que corta en sitios específicos las moléculas de ADN.
1958	M. Messelson y F. Stahl demuestran que la replicación del ADN ocurre a través de la separación de las dos hélices del ADN y del copiado <i>de novo</i> , de sus dos hélices para formar dos dobles helices idénticas a partir de la original.	1973	S. Cohen y H. Boyer desarrollan el primer organismo transgénico, mediante la inserción de un fragmento de ADN de rana en un plásmido bacteriano, introducido luego en la bacteria <i>Escherichia coli</i> .
	Se sintetiza ADN en el tubo de ensayo por primera vez.	1977	R. Maxam y W. Gilbert, así como F. Sanger y colaboradores, desarrollan simultáneamente méto-

	dos para determinar la secuencia de los nucleótidos del ADN.	1982	P. Valenzuela y colaboradores desarrollan el primer producto de origen transgénico que se utiliza como vacuna en humanos, para inmunizar contra el virus de la hepatitis.
	Se descubren los intrones y los exones en los genes de los organismos superiores.		
	K. Itakura y colaboradores crean el primer organismo transgénico que permite la síntesis de una hormona humana en bacterias.		Se produce insulina comercialmente como el primer medicamento de origen transgénico.
1978	Se reporta la secuencia genómica completa de un virus; el del ØX174.	1983	M. Montagu y colaboradores diseñan y construyen las primeras plantas transgénicas.
1979	Se crea la primera compañía en ingeniería genética: Genentech, Inc., en EUA.	1985	Se descubren marcadores genéticos para identificar enfermedades en humanos.
	D. Goeddel y colaboradores reportan la producción de insulina humana por organismos transgénicos.	1987	K. Mullis y colaboradores desarrollan el sistema de reacción en cadena de polimerasa de ADN (PCR por sus siglas en inglés), que permite amplificar millones de veces fragmentos específicos de ADN.
	Se produce hormona de crecimiento humana recombinante en organismos transgénicos.	1988	Los Institutos Nacionales de Salud en EUA, a iniciativa de J. Watson, establecen la Oficina para la Investigación del Genoma Humano.
1980	La Suprema Corte de Justicia de los EUA aprueba el patentamiento de organismos vivos.		Se produce interferón humano de origen recombinante como el primer medicamento biológico de origen transgénico para el tratamiento del cáncer.
1981	Se reporta la secuencia del genoma de la mitocondria humana.		
	Se produce el primer animal transgénico al incorporar genes de humano en un ratón.		Se produce la primera planta transgénica de maíz (maíz <i>Bt</i>) resistente a plagas.

- 1990 Tres grupos desarrollan simultáneamente el método de electroforesis capilar que permitió optimizar la automatización de los métodos para la secuenciación del ADN.
- 1992 La Agencia Federal de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) en EUA, aprobó el uso de la hormona de crecimiento de origen transgénico para incrementar la producción de leche bovina.
- 1993 Se aprueba el primer medicamento recombinante para el tratamiento de la esclerosis múltiple.
- Se firma por 150 países el Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas.
- 1994 Se descubre el primer gene relacionado con el cáncer de pecho.
- 1995 Se reporta la secuencia nucleotídica del primer genoma de un organismo vivo, el de la bacteria *H. influenzae*.
- Se incorporan los anticuerpos recombinantes de origen transgénico para el tratamiento contra el cáncer.
- 1996 Se reporta la secuencia nucleotídica del primer genoma de un eucariote, el de la levadura *S. cerevisiae*.
- Se comercializa el primer cultivar de origen transgénico.
- Se incorpora al mercado el activador de plasminógeno humano recombinante usado para la disolución de coágulos generados por infartos al miocardio.
- 1997 Se crea Dolly; el primer animal de establo clonado a partir de una célula de adulto.
- 1998 Se reporta la secuencia nucleotídica del primer genoma de un animal; el del gusano *C. elegans*.
- Se aprueba en Estados Unidos el uso del primer medicamento recombinante para el tratamiento de cáncer de pecho.
- 1999 Se reporta por primera vez la secuencia nucleotídica completa de un cromosoma humano (el número 22).
- 2000 Se reporta por vez primera la secuencia nucleotídica del genoma de una planta; el de *Arabidopsis thaliana*.
- Se aprueban en Kenya las pruebas de campo para la primera papa recombinante resistente a un virus.
- Se aprueba el Protocolo de Cartagena, previsto en el Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas.

- 2001 Los grupos de investigación de C. Venter y F. Collins reportan en forma simultánea, el borrador de la secuencia nucleotídica del genoma humano.
- 2002 Se reportan las secuencias nucleotídicas de los genomas del ratón y del arroz.
- Se aprueba en EUA la primera planta transgénica de maíz resistente al gusano de la raíz.
- 2003 Se completa la secuencia nucleotídica del genoma humano.
- Entra en vigor el Protocolo de Cartagena.
- 2004 La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés), señala que los cultivos transgénicos para la producción de alimentos son una herramienta importante para contender con las necesidades de alimentación global.
- 2005 Se aprueba en México la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados.
- 2006 Se aprueba en EUA la vacuna recombinante contra el virus del papiloma.
- 2007 Se aprueba en EUA la vacuna contra el virus de la influenza H5N1.
- 2009 En EUA se aprueba el uso del primer animal transgénico para la producción de la proteína humana antitrombina.
- Se reporta la secuencia del genoma del maíz.
- La Unión Europea aprueba el uso de papa transgénica y otras variedades de maíz transgénico, tras un largo debate sobre la bioseguridad.
- 2011 En 27 países se siembran nueve diferentes cultivos de organismos transgénicos y éstos se han consumido en 50 países, por más de 300 millones de habitantes.



ANEXO 4: DOCUMENTO ELECTRÓNICO DE LA OMS



20 PREGUNTAS SOBRE LOS ALIMENTOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (GM)

Estas preguntas y respuestas han sido preparadas por la OMS en respuesta a preguntas y preocupaciones de una cantidad de Gobiernos de Estados Miembro de la OMS con respecto a la naturaleza y la inocuidad de los alimentos genéticamente modificados.

P1. ¿Qué son los organismos genéticamente modificados (GM) y los alimentos GM?

Los organismos genéticamente modificados (OGM) pueden definirse como organismos en los cuales el material genético (ADN) ha sido alterado de un modo artificial. La tecnología generalmente se denomina “biotecnología moderna” o “tecnología genética”, en ocasiones también “tecnología de ADN recombinante” o “ingeniería genética”. Ésta permite transferir genes seleccionados individuales de un organismo a otro, también entre especies no relacionadas.

Dichos métodos se utilizan para crear vegetales GM – que luego se utilizan para desarrollar cultivos de alimentos GM.

P2. ¿Por qué se producen alimentos GM?

Los alimentos GM se desarrollan –y comercializan- porque se percibe cierta ventaja tanto para los productores como para los consumidores de estos alimentos. Esto tiene como objetivo traducirse en un producto con un menor precio, mayores beneficios (en términos de durabilidad o valor nutricional) o ambos. En un principio, los individuos que desarrollaban semillas GM deseaban que sus productos fueran aceptados por los productores, por lo tanto, se concentraron en innovaciones que los agricultores (y la industria alimentaria en general) pudiera apreciar.

El objetivo inicial del desarrollo de vegetales sobre la base de organismos GM fue aumentar la protección de los cultivos. Los cultivos GM actualmente en el mercado tienen como objetivo principal aumentar el nivel de protección de los cultivos mediante la introducción de resistencia a enfermedades causadas por insectos o virus a los vegetales o mediante una mayor tolerancia a los herbicidas.

La resistencia a los insectos se logra incorporando a la planta alimenticia el gen productor de toxinas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (BT). Esta toxina se usa actualmente como un insecticida convencional en la agricultura y es inocua para el consumo humano. Se ha demostrado que los cultivos GM que producen esta toxina en forma permanente requieren menores cantidades de insecticidas en situaciones específicas, por ejemplo, donde la presión de plagas es elevada.

La resistencia viral se logra mediante la introducción de un gen de ciertos virus que causan enfermedad en los vegetales. La resistencia viral reduce la susceptibilidad de

los vegetales a enfermedades causadas por dichos virus, lo que da como resultado un rendimiento mayor de los cultivos.

La tolerancia a herbicidas se logra mediante la introducción de un gen de una bacteria que le confiere resistencia a ciertos herbicidas. En situaciones donde la presión de la maleza es elevada, el uso de dichos cultivos ha producido una reducción en la cantidad de herbicidas utilizados.

P3. ¿Se evalúan los alimentos GM en forma diferente de los alimentos tradicionales?

En general, los consumidores consideran que los alimentos tradicionales (que usualmente se han consumido por miles de años) son inocuos.

Cuando se desarrollan alimentos nuevos por métodos naturales, se pueden alterar algunas de las características existentes en los alimentos, tanto en forma positiva como negativa. Se podría convocar a las autoridades nacionales de alimentos a examinar los alimentos tradicionales, pero esto no siempre ocurre. En realidad, puede ocurrir que los vegetales nuevos desarrollados mediante técnicas tradicionales de reproducción no se evalúen rigurosamente usando técnicas de evaluación de riesgos.

Con los alimentos GM, la mayoría de las autoridades nacionales consideran que son necesarias evaluaciones específicas. Se han establecido sistemas específicos para una evaluación rigurosa de organismos GM y alimentos GM relativos tanto a la salud humana como al medio ambiente. Por lo general, no se realizan evaluaciones similares para los alimentos tradicionales. Por lo tanto, hay una diferencia significativa en el proceso de evaluación antes de la comercialización para estos dos grupos de alimentos.

Uno de los objetivos del Programa de Inocuidad Alimentaria de la OMS es colaborar con las autoridades nacionales en la identificación de los alimentos que deben someterse a evaluaciones de riesgos, incluyendo alimentos GM, y recomendar las evaluaciones correctas

P4. ¿Cómo se determinan los riesgos potenciales para la salud humana?

La evaluación de inocuidad de los alimentos GM generalmente investiga: (a) los efectos directos sobre la salud (toxicidad), (b) las tendencias a provocar una reacción alérgica (alergenicidad); (c) los componentes específicos con sospecha de tener propiedades nutricionales o tóxicas; (d) la estabilidad del gen insertado; (e) los efectos nutricionales asociados con la modificación genética; y (f) cualquier efecto no deseado que podría producirse por la inserción genética.

P5. ¿Cuáles son los principales temas de preocupación para la salud humana?

Si bien las discusiones teóricas han abarcado una amplia gama de aspectos, los tres temas principales debatidos son las tendencias a provocar una reacción alérgica (alergenicidad), la transferencia de genes y el cruzamiento lejano (*outcrossing*).

Alergenicidad. Por una cuestión de principios, se desalienta la transferencia de genes de alimentos comúnmente alergénicos a menos que pueda demostrarse que el producto proteico del gen transferido no es alergénico. Si bien los alimentos desarrollados en forma tradicional no se evalúan generalmente en cuanto a alergenicidad, los protocolos para pruebas de alimentos GM han sido evaluados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la

OMS. No se han hallado efectos alérgicos en relación con los alimentos GM que se encuentran actualmente en el mercado.

Transferencia genética. La transferencia genética de alimentos GM a células del organismo o a bacterias del tracto gastrointestinal causarían preocupación si el material genético transferido afectara en forma adversa a la salud humana. Esto sería particularmente relevante si fueran a transferirse genes de resistencia a antibióticos usados para crear OGM. Si bien la probabilidad de transferencia es baja, un panel de expertos reciente de FAO/OMS ha incentivado el uso de tecnología sin genes de resistencia a antibióticos.

Outcrossing. El desplazamiento de genes de vegetales GM a cultivos convencionales o especies silvestres relacionadas (llamado "outcrossing"), así como la combinación de cultivos provenientes de semillas convencionales con aquellos desarrollados usando cultivos GM, puede tener un efecto indirecto sobre la inocuidad y la seguridad de los alimentos. Este riesgo es real, como se demostró cuando aparecieron rastros de un tipo de maíz que sólo fue aprobado para alimentación animal en productos del maíz para consumo humano en los Estados Unidos de América. Muchos países han adoptado estrategias para reducir la combinación, incluyendo una clara separación de los campos dentro de los cuales se desarrollan cultivos GM y cultivos convencionales.

Se está discutiendo la factibilidad y los métodos para monitorear los productos alimentarios GM después de la comercialización, para la vigilancia continua de la inocuidad de los productos alimentarios GM.

P6. ¿Cómo se realiza una evaluación de riesgos para el medio ambiente?

Las evaluaciones de riesgos del medio ambiente abarcan tanto los OGM involucrados como el potencial medio ambiente receptor. El proceso de evaluación incluye una evaluación de las características del OGM y sus efectos y estabilidad en el medio ambiente, combinado con las características ecológicas del medio ambiente en el cual tendrá lugar la introducción. La evaluación también incluye los efectos no deseados que podrían surgir por la inserción del nuevo gen.

P7. ¿Cuáles son los temas de preocupación en cuanto al medio ambiente?

Los temas de preocupación incluyen: la capacidad de los OGM para dispersarse e introducir potencialmente los genes de ingeniería genética dentro de poblaciones silvestres; la persistencia del gen una vez que el OGM ha sido cosechado; la susceptibilidad de los organismos no objetivo (por ej., los insectos que no son plaga) al producto genético; la estabilidad del gen; la reducción del espectro de otros vegetales incluyendo pérdida de biodiversidad; y un mayor uso de sustancias químicas en la agricultura. Los aspectos de inocuidad del medio ambiente de los cultivos GM varían considerablemente de acuerdo con las condiciones locales.

Las investigaciones actuales se concentran en: el efecto potencialmente perjudicial sobre los insectos beneficiosos o una inducción más rápida de insectos resistentes; la generación potencial de nuevos patógenos vegetales; las potenciales consecuencias perjudiciales para la biodiversidad vegetal y la vida silvestre, y un menor uso de la práctica importante de rotación de cultivos en ciertas situaciones locales; y el desplazamiento de genes de resistencia a los herbicidas a otros vegetales.

P8. ¿Son inocuos los alimentos GM?

Los diferentes organismos GM incluyen genes diferentes insertados en formas diferentes. Esto significa que cada alimento GM y su inocuidad deben ser evaluados individualmente, y que no es posible hacer afirmaciones generales sobre la inocuidad de todos los alimentos GM.

Los alimentos GM actualmente disponibles en el mercado internacional han pasado las evaluaciones de riesgo y no es probable que presenten riesgos para la salud humana. Además, no se han demostrado efectos sobre la salud humana como resultado del consumo de dichos alimentos por la población general en los países donde fueron aprobados. El uso continuo de evaluaciones de riesgo en base a los principios del Codex y, donde corresponda, incluyendo el monitoreo post comercialización, debe formar la base para evaluar la inocuidad de los alimentos GM.

P9. ¿Cómo se reglamentan los alimentos GM a nivel nacional?

La forma en que los países han reglamentado los alimentos GM es variada. En algunos países, los alimentos GM no están reglamentados todavía. Los países que cuentan con legislación, se concentran principalmente en evaluaciones de riesgos para la salud de los consumidores. Los países que tienen disposiciones para los alimentos GM, usualmente también reglamentan los OGM en general, teniendo en cuenta los riesgos para la salud y el medio ambiente así como los temas relacionados con control y comercio (como los regímenes potenciales de prueba y etiquetado). Dada la dinámica del debate sobre alimentos GM, es probable que la legislación continúe evolucionando.

P10. ¿Qué tipos de alimentos GM se encuentran en el mercado internacional?

Todos los cultivos GM disponibles en el mercado internacional en la actualidad han sido diseñados usando una de tres características básicas: resistencia al daño causado por insectos, resistencia a las infecciones virales; y tolerancia a ciertos herbicidas. Todos los genes usados para modificar cultivos provienen de microorganismos.

<i>Cultivo</i>	<i>Característica</i>	<i>Áreas/países con aprobación</i>
Maíz	Resistencia a insectos	Argentina, Canadá, Sudáfrica, Estados Unidos, UE
	Tolerancia a herbicidas	Argentina, Canadá, Estados Unidos, UE
Soja	Tolerancia a herbicidas	Argentina, Canadá, Sudáfrica, Estados Unidos, UE (sólo para procesamiento)
Colza	Tolerancia a herbicidas	Canadá, Estados Unidos
Achicoria	Tolerancia a herbicidas	UE (sólo para reproducción)
Calabazas	Resistencia a virus	Canadá, Estados Unidos
Papa	Resistencia a insectos/ Tolerancia a herbicidas	Canadá, Estados Unidos

P11. ¿Qué ocurre cuando se comercializan internacionalmente alimentos GM?

No hay en la actualidad sistemas reglamentarios internacionales específicos. Sin embargo, muchas organizaciones internacionales están involucradas en el desarrollo de protocolos para OGM.

La Comisión del Codex Alimentarius (Codex) es el organismo conjunto de FAO/OMS responsable de compilar los estándares, los códigos de práctica, los lineamientos y las recomendaciones que componen el Codex Alimentarius: el código alimentario internacional. El Codex está desarrollando principios para el análisis de riesgos para la salud humana de los alimentos GM. La premisa de estos principios dicta una evaluación previa a la comercialización, realizada en forma individual y que incluya una evaluación tanto de los efectos directos (del gen insertado) como de los efectos no deseados (que pueden surgir como consecuencia de la inserción del nuevo gen). Los principios están en una etapa avanzada de desarrollo y se espera que sean adoptados para julio de 2003. Los principios del Codex no tienen un efecto de obligatoriedad sobre la legislación nacional, pero son mencionados específicamente en el Acuerdo Sanitario y Fitosanitario (Acuerdo SPS) de la Organización Mundial de Comercio, y pueden usarse como referencia en el caso de disputas comerciales.

El Protocolo de Cartagena sobre Bioinocuidad (CPB, siglas en inglés), un tratado ambiental legalmente obligatorio para sus Partes, regula los movimientos transfronterizos de los organismos vivos modificados (LMO, siglas en inglés). Los alimentos GM entran en el ámbito del Protocolo sólo si contienen LMO capaces de transferir o replicar el material genético. La piedra angular del CPB es un requisito de que los exportadores soliciten el consentimiento de los importadores antes del primer envío de LMO con intenciones de ser liberados al medio ambiente. El Protocolo entrará en vigencia 90 días después de que el 50º país lo haya ratificado, lo que puede ocurrir a principios de 2003 en vista de las aceleradas declaraciones registradas desde junio de 2002.

P12. ¿Han pasado una evaluación de riesgos los productos GM en el mercado internacional?

Todos los productos GM actualmente en el mercado internacional han pasado las evaluaciones de riesgos desarrolladas por las autoridades nacionales. Estas evaluaciones diferentes por lo general siguen los mismos principios básicos, incluyendo una evaluación del riesgo para el medio ambiente y la salud humana. Estas evaluaciones son minuciosas - no han indicado ningún riesgo para la salud humana.

P13. ¿Por qué hubo preocupación entre algunos políticos, grupos de interés y consumidores, especialmente en Europa, sobre los alimentos GM?

Desde la primera introducción en el mercado a mediados de los '90 de un alimento GM importante (sojas resistentes a herbicidas), hubo cada vez más preocupación sobre dichos alimentos entre políticos, activistas y consumidores, especialmente en Europa. Hay muchos factores involucrados. A fines de los '80, principios de los '90, los resultados de décadas de investigación molecular alcanzaron dominio público. Hasta ese momento, los consumidores por lo general no estaban muy informados del potencial de esta investigación. En el caso de alimentos, los consumidores comenzaron a preguntarse sobre inocuidad porque perciben que la biotecnología moderna está originando la creación de nuevas especies.

Los consumidores se preguntan con frecuencia: "¿Cuál es la ventaja para mí?". En el campo de los medicamentos, muchos consumidores han aceptado más rápidamente la biotecnología como beneficiosa para su salud (por ej., los medicamentos con un mejor potencial de tratamiento). En el caso de los primeros alimentos GM introducidos en el mercado europeo, los productos no tenían un beneficio directo aparente para los consumidores (no eran más económicos, no aumentaban su fecha de vencimiento, no tenían mejor sabor). El potencial de las semillas GM para brindar mayor producción por área cultivada debería resultar en precios más bajos. Sin embargo, la atención del

público se ha concentrado en el aspecto de los riesgos de la ecuación riesgo-beneficio.

La confianza de los consumidores en la inocuidad de los suministros de alimentos en Europa ha disminuido significativamente como resultado de una cantidad de sobresaltos alimentarios que tuvieron lugar en la segunda mitad de los '90 que no están relacionados con los alimentos GM. Esto también tuvo un impacto sobre las discusiones sobre la aceptación de los alimentos GM. Los consumidores han cuestionado la validez de las evaluaciones de riesgos, tanto en relación los riesgos para la salud de los consumidores como para el medio ambiente, concentrándose principalmente en los efectos a largo plazo. Otros temas de debate de las organizaciones de consumidores incluyeron alergenicidad y resistencia antimicrobiana. Las preocupaciones de los consumidores desencadenaron una discusión sobre la conveniencia del etiquetado de los alimentos GM que permite una elección consciente. Al mismo tiempo, ha sido difícil detectar rastros de OGM en los alimentos: esto significa que las concentraciones muy bajas por lo general no pueden detectarse.

P14. ¿De qué forma ha afectado esta preocupación a la comercialización de alimentos GM en la Unión Europea?

Las preocupaciones de la población sobre los alimentos GM y los OGM en general han tenido un impacto significativo en la comercialización de los productos GM en la Unión Europea (UE). De hecho, han dado como resultado que se colocara en el mercado la denominada moratoria sobre aprobación de productos GM. Por lo general, la comercialización de alimentos GM y OGM es objeto de extensiva legislación. La legislación comunitaria ha existido desde principios de los '90.

El procedimiento de aprobación para la liberación de OMG al medio ambiente es un tanto complejo y básicamente requiere del acuerdo entre los Estados Miembro y la Comisión Europea. Entre 1991 y 1998, la comercialización de 18 OMG fue autorizada por una decisión de la Comisión en la UE.

A partir de octubre de 1998, no se concedieron más autorizaciones y en la actualidad hay 12 aplicaciones pendientes. Algunos Estados Miembro han invocado una cláusula de salvaguardia para prohibir temporalmente la colocación de maíz y productos de colza GM en el mercado de su país. Hay en la actualidad nueve casos en curso. Ocho de ellos han sido examinados por un Comité Científico sobre Vegetales, el cual en todos los casos consideró que la información presentada por los Estados Miembro no justificaba estas prohibiciones.

Durante la década de los '90, el marco regulador se extendió y perfeccionó más en respuesta a las preocupaciones legítimas de los ciudadanos, las organizaciones de consumidores y los operadores económicos (descrito en la *Pregunta 13*). En octubre de 2002 entra en vigencia una directiva revisada. La misma actualiza y refuerza las normas existentes respecto del proceso de evaluación de riesgos, gestión de riesgos, y toma de decisiones respecto de la liberación de OGM al medio ambiente. La nueva directiva también prevé el monitoreo obligatorio de los efectos prolongados asociados con la interacción entre OGM y el medio ambiente.

En la UE, el etiquetado es obligatorio para los productos derivados de la biotecnología moderna o productos que contengan organismos GM. La legislación también considera el problema de la contaminación accidental de los alimentos convencionales con material GM. Introduce un umbral mínimo de un 1% para ADN o proteína proveniente de modificación genética, debajo del cual no se requiere etiquetado.

En el año 2001, la Comisión Europea adoptó dos nuevas propuestas legislativas sobre OGM respecto de la rastreabilidad, reforzando las normas actuales sobre etiquetado y racionalizando el procedimiento de autorización para los OGM en alimentos para humanos y animales y para su liberación deliberada al medio ambiente.

La Comisión Europea opina que estas nuevas propuestas, basadas en la legislación existente, tienen como objetivo encarar las preocupaciones de los Estados Miembro y crear la confianza de los consumidores en la autorización de productos GM. La Comisión espera que la adopción de estas propuestas allane el camino para reanudar la autorización de nuevos productos GM en la UE.

P15. ¿Cuál es el estado del debate público sobre alimentos GM en otras regiones del mundo?

La liberación de OGM al medio ambiente y la comercialización de alimentos GM han ocasionado un debate público en muchas partes del mundo. Es posible que este debate continúe, probablemente en el contexto más amplio de otros usos de la biotecnología (por ejemplo, en medicina humana) y sus consecuencias para las sociedades humanas. A pesar de que los temas que se están debatiendo son por lo general muy similares (costos y beneficios, temas de inocuidad), el resultado del debate difiere de país en país. En temas como etiquetado y rastreabilidad de alimentos GM como una forma de encarar las preocupaciones de los consumidores, no hay hasta la fecha ningún consenso. Esto quedó claro durante las discusiones dentro de la Comisión del Codex Alimentarius durante los últimos años. A pesar de la falta de consenso sobre estos temas, se han hecho progresos significativos en la armonización de opiniones concernientes a la evaluación de riesgos. La Comisión del Codex Alimentarius está a punto de adoptar principios sobre evaluación de riesgos antes de la comercialización, y las disposiciones del Protocolo de Cartagena sobre Bioinocuidad también revelan un mayor entendimiento a nivel internacional.

Más recientemente, la crisis humanitaria en el sur de África ha atraído la atención sobre el uso de alimentos GM como ayuda alimentaria en situaciones de emergencia. Una cantidad de gobiernos de la región expresaron su preocupación en torno de las alarmas sobre medio ambiente e inocuidad alimentaria. Si bien se han encontrado soluciones factibles para la distribución de grano molido en algunos países, otros han restringido el uso de alimentos GM y obtenido productos que no contienen GMO.

P16. ¿Hay una relación entre la reacción de la gente y las diferentes actitudes hacia los alimentos en diversas regiones del mundo?

Dependiendo de la región del mundo, las personas con frecuencia tienen actitudes diferentes hacia los alimentos. Además del valor nutricional, los alimentos frecuentemente tienen connotaciones sociales e históricas, y en algunos casos pueden tener importancia religiosa. La modificación tecnológica de los alimentos y la producción alimentaria puede provocar una respuesta negativa entre los consumidores, especialmente en ausencia de buena comunicación sobre los esfuerzos de evaluación de riesgos y las evaluaciones de costo-beneficio.

P17. ¿Hay implicancias para los derechos de los agricultores a ser dueños de sus cultivos?

Sí, es probable que los derechos de propiedad intelectual sean un elemento de debate sobre alimentos GM con un impacto sobre los derechos de los agricultores. Se han discutido los derechos de propiedad intelectual (IPR, siglas en inglés), especialmente las obligaciones de patentamiento del Acuerdo TRIPS (un acuerdo de la Organización

Mundial de Comercio sobre los aspectos de los derechos de propiedad intelectual relacionados con el comercio) a la luz de sus consecuencias sobre la mayor disponibilidad de una diversidad de cultivos. En el contexto de los temas relacionados con el uso de tecnología genética en medicina, la OMS ha revisado el conflicto entre los IPR y el acceso igualitario a los recursos genéticos y la coparticipación de beneficios. Esta revisión ha considerado los problemas potenciales de la monopolización y las dudas sobre las nuevas reglamentaciones de patentes en el campo de las secuencias genéticas en medicina humana. Es probable que dichas consideraciones también afecten el debate sobre alimentos GM.

P18. ¿Por qué están preocupados ciertos grupos por la creciente influencia de la industria química en la agricultura?

Ciertos grupos están preocupados sobre lo que ellos consideran un nivel no deseado de control de los mercados de semillas por parte de unas pocas compañías químicas. La biodiversidad y la agricultura sustentable se benefician más por el uso de una rica variedad de cultivos, tanto en términos de buenas prácticas de protección de cultivos como por la perspectiva de la sociedad en general y los valores asociados con los alimentos. Estos grupos temen que como resultado del interés de la industria química en los mercados de semillas, la gama de variedades utilizada por los agricultores pueda reducirse principalmente a cultivos GM. Esto impactaría en la canasta de alimentos de una sociedad así como en la protección de cultivos a largo plazo (por ejemplo, con el desarrollo de resistencia contra plagas de insectos y tolerancia a ciertos herbicidas). El uso exclusivo de cultivos GM resistentes a herbicidas también haría al agricultor dependiente de estas sustancias químicas. Estos grupos temen una posición dominante de la industria química en el desarrollo agropecuario, una tendencia que no consideran sostenible.

P19. ¿Qué otros desarrollos pueden esperarse en el área de los OGM?

Es probable que los organismos GM futuros incluyan vegetales con una mayor resistencia a enfermedades o sequías, cultivos con mayores niveles de nutrientes, especies de peces con mejores características de desarrollo y vegetales o animales que produzcan proteínas farmacéuticamente importantes como las vacunas.

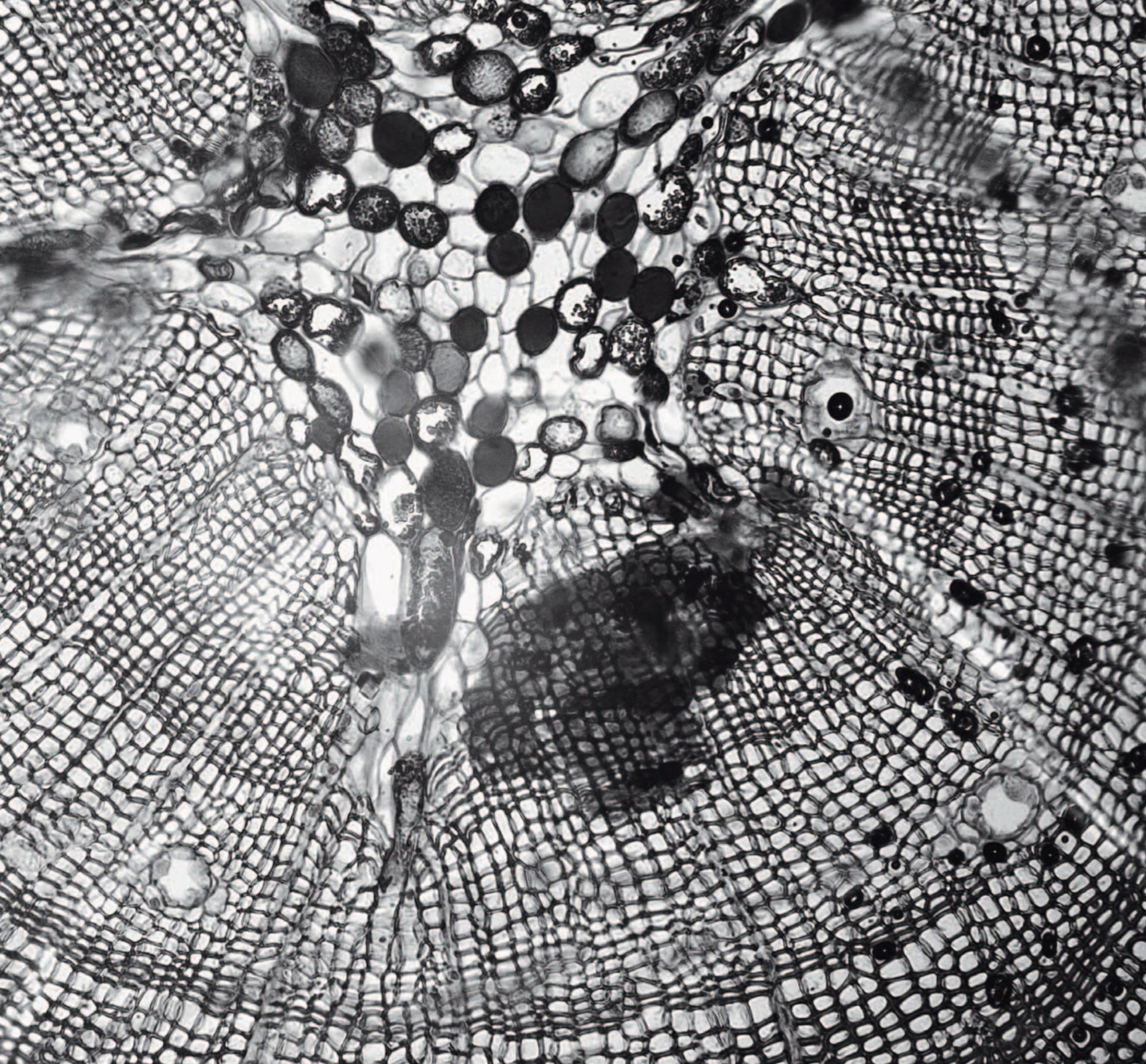
A nivel internacional, la respuesta a los nuevos desarrollos puede hallarse en las consultas de expertos organizadas por FAO y OMS en los años 2000 y 2001, y la labor posterior de la Fuerza de Trabajo ad hoc del Codex sobre Alimentos Derivados de Biotecnología. Este trabajo ha dado como resultado un marco mejorado y armonizado para la evaluación de riesgos de alimentos GM en general. Se han tratado cuestiones específicas como la evaluación de la alergenicidad de alimentos GM o la inocuidad de alimentos derivados de microorganismos GM, y una consulta de expertos organizada por FAO y OMS en el año 2003 se concentrará en alimentos derivados de animales GM.

P20. ¿Qué acciones está implementando la OMS para mejorar la evaluación de los alimentos GM?

La OMS tomará un papel activo en relación con los alimentos GM, principalmente por dos razones: (1) debido a que la salud pública podría beneficiarse enormemente por el potencial de la biotecnología, por ejemplo por un aumento en el contenido de nutrientes de los alimentos, menor alergenicidad y producción alimentaria más eficiente; y (2) en base a las necesidades de examinar los efectos negativos potenciales para la salud humana del consumo de alimentos producidos mediante modificación genética, también a nivel mundial. Es claro que se deben evaluar minuciosamente las

tecnologías modernas si van a constituir una mejoría real en la forma de producción de los alimentos. Dichas evaluaciones deben ser holísticas y abarcativas, y no pueden detenerse en los sistemas de evaluación anteriormente separados, no coherentes, que sólo enfocaban los efectos sobre el medio ambiente o la salud humana en forma aislada.

Por lo tanto, la OMS está trabajando para presentar un punto de vista más amplio de la evaluación de alimentos GM para permitir la consideración de otros factores importantes. Esta evaluación más holística de organismos GM y productos GM considerará no sólo la inocuidad sino también la seguridad alimentaria, los aspectos sociales y éticos, el acceso y la creación de capacidades. El trabajo internacional en esta nueva dirección presupone el compromiso de otras organizaciones internacionales claves en esta área. Como primer paso, la Junta Ejecutiva de la OMS debatirá en enero de 2003 el contenido de un informe de la OMS que abarca este tema. El informe está siendo desarrollado en colaboración con otras organizaciones claves, principalmente la FAO y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, siglas en inglés). Se espera que este informe pueda sentar las bases para una iniciativa futura hacia una evaluación más sistemática, coordinada, multi-organizativa e internacional de ciertos alimentos GM.



EXTRACTOS CURRICULARES DE LOS AUTORES

Carlos Federico Arias Ortiz

Investigador titular C del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Obtuvo la licenciatura en la Facultad de Química y el doctorado en Investigación Biomédica Básica en la UNAM. Posteriormente realizó estudios postdoctorales en el Instituto Tecnológico de California (CalTech), EUA. Su área de investigación es la virología molecular, con particular interés en el estudio de la epidemiología y la biología molecular de virus causantes de gastroenteritis infantiles, incluyendo a los rotavirus y los astrovirus. Más recientemente ha iniciado una línea de investigación dedicada al estudio de la variabilidad genética y evolución molecular del virus de la influenza, para comprender los determinantes moleculares asociados a su virulencia y resistencia a fármacos, así como al desarrollo de métodos diagnósticos para patógenos virales asociados a enfermedades gastrointestinales y respiratorias. Ha publicado más de 100 artículos en revistas de circulación internacional, entre las que se encuentran el *Journal of Virology*, *Virology*, *Nucleic Acids Research*, *Journal of Molecular Biology*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *EMBO Reports* y *Trends in Microbiology*. Sus trabajos han sido citados en más de 2,000 ocasiones en la literatura mundial. Ha formado 38 estudiantes, 13 de licenciatura, 16 de maestría y nueve de doc-

torado. Ha presentado más de 250 ponencias en congresos nacionales e internacionales. Ha sido revisor de trabajos enviados a numerosas revistas internacionales y editor invitado del *Annual Review of Genetics*. Fue editor huésped de un número especial de *Virus Research* sobre Interferencia de RNA en virus animales y actualmente es miembro del comité editorial de *Archives of Medical Research* y del *Journal of Virology* y de *Virology*, las dos revistas especializadas más importantes del área. Ha sido profesor invitado en el Instituto Nacional de Salud de Japón, en el Instituto Tecnológico de California y en el Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS) de Francia. Entre sus distinciones se encuentran el Premio Weizmann, el Premio de Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias en el área de Ciencias Naturales, el premio Carlos J. Finlay otorgado por la UNESCO, el nombramiento de Investigador Internacional del Instituto Médico Howard Hughes, durante 15 años y el premio TWAS 2008 en Biología. Actualmente es director del Instituto de Biotecnología y pertenece al nivel III del Sistema Nacional de Investigadores.

Elena Arriaga Arellano

Maestra en Ciencias Médicas Odontológicas y de la Salud, con campo de estudio principal en Bioética de la UNAM. Concluyó la maestría en Administración en el ITAM; realizó

un diplomado en Administración de la Tecnología, y es Ingeniera Bioquímica por la UAM-I. Es miembro del personal académico del Instituto de Biotecnología de la UNAM y de la Academia Nacional Mexicana de Bioética. La maestra Arriaga tuvo a su cargo la Secretaría de Transferencia de Tecnología del IBT/UNAM durante 10 años. Posteriormente, fue invitada a coordinar la Secretaría de Gestión, Vinculación y Desarrollo Tecnológico, en la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM. Entre las actividades desarrolladas en estas dependencias estuvieron la coordinación de identificación, difusión y gestión de solicitudes de apoyo a la investigación, el apoyo a los investigadores en la negociación de convenios de colaboración y transferencia de tecnología con empresas y organismos de México y del extranjero, así como en el diseño de estrategias para protección de la propiedad intelectual, con patentes. Ha participado en el desarrollo de proyectos y estudios sobre las patentes en biotecnología, acceso a recursos genéticos, análisis del marco jurídico relacionado con la biotecnología, diagnóstico y prospección de la biotecnología en México, recomendaciones para el desarrollo de la biotecnología en México, y sobre aspectos relacionados con la bioseguridad y bioética de los organismos genéticamente modificados (OGM). Participó en el estudio desarrollado sobre las oportunidades y amenazas de la ampliación de la protección de las patentes para la protección de biotecnologías en México, auspiciado por la ONU; apoyó en la coordinación técnica de estudios sobre prioridades de cooperación técnica internacional, contratados por el PNUD y la Secretaría de Relaciones Exteriores; asesoró a profesoras de la Facultad de Química de la UNAM en el proyecto SIMBIOSIS para la construcción de Indicadores en Biotecnología en algunos países sudamericanos, apoyado por la OEA. Ha participado en la publicación de artículos y libros sobre los temas antes mencionados y ha

expuesto sus trabajos de investigación en congresos y reuniones nacionales e internacionales. Con base en los estudios realizados por el Comité de Biotecnología, integró los documentos: Programa Nacional de Biotecnología y Genómica, y su resumen ejecutivo, los cuales formaron parte del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología 2001-2006, que después de ser revisados por un Comité *ad hoc*, organizado por el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, fueron publicados por el CONACYT. Desde el año 2010 ha participado en el grupo de trabajo para la elaboración de la Norma Oficial sobre el reporte de la liberación de los organismos genéticamente modificados, coordinado por la SEMARNAT. Actualmente la maestra Arriaga desarrolla el proyecto de investigación "Hacia una propuesta para la evaluación integral del riesgo sistémico: el caso de las plantas transgénicas".

Hugo Alberto Barrera Saldaña

Bioquímico por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) en 1979, se doctoró en Ciencias Biomédicas con especialidad en Biología Molecular (Escuela de Graduados en Ciencias Biomédicas de la Universidad de Texas, Houston, 1982; laboratorio del Dr. Grady F. Saunders) y realizó un posdoctorado en el laboratorio del Prof. Pierre Chambon en LGMR-CNRS de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, Francia (1984). Asimismo, es especialista en conversión de tecnología a capital (IC² Institute UT-Austin y el ITESM, 1999). Actualmente es secretario de regulación de la Subdirección de Investigación, jefe del Laboratorio de Genómica y Bioinformática, y director de la Unidad de Biotecnología Médica, todos en la Facultad de Medicina de la UANL. Es pionero en Latinoamérica en el diagnóstico molecular de varias enfermedades, en protocolos clínicos de terapia génica (cáncer de próstata) y en investigación de reconocimiento internacional sobre regulación, evo-

lución, disfunción y aprovechamiento biotecnológico de los genes de las hormonas del crecimiento. Junto con investigadores de Genentech, Inc., y de las universidades de Texas y Washington, estableció en 1988 el récord mundial por la extensión más larga de genes humanos secuenciados manualmente, considerado evidencia de la factibilidad del proyecto del genoma humano. Ha contribuido a la creación de dos posgrados (Biología Molecular e Ingeniería Genética en la UANL y Biotecnología Genómica en el IPN), una licenciatura (Biotecnología Genómica en la UANL) y varias asignaturas. El Dr. Barrera ha fundado y dirigido varios centros de investigación, como la Unidad de Laboratorios de Ingeniería y Expresión Genéticas, las unidades de servicio de diagnóstico molecular y de biotecnología médica de la UANL, el Centro de Biotecnología Genómica del IPN, en Reynosa, Tamps., y contribuyó a modernizar unidades de investigación en genética humana en México, Colombia, Venezuela y Perú. Ha sido distinguido con el mayor número (18) de premios de investigación de la UANL (triple en 1994 y dobles en 2003 y 2004), y con más de 20 de carácter nacional, como el Premio Nacional de Alimentos, el de Investigación Médica Dr. Jorge Rosenkranz (en 1989 y 2005), el de la Fundación GlaxoSmithKline (2005), y varios de CANIFARMA y CARPERMOR, entre otros. Fue seleccionado en 1998 como el ex alumno distinguido de la Escuela de Graduados en Ciencias Biomédicas de la Universidad de Texas, en Houston. La revista *Nature Medicine* le dedicó un perfil en su número de julio de 2003, mientras que en febrero de 2006 la revista *Contenido* hizo lo mismo. Es miembro de muchas sociedades científicas del país y del extranjero, y es autor de más de 115 publicaciones indizadas con más de 2,500 citas, de un libro, de dos patentes en biotecnología y de varias transferencias tecnológicas a los sectores productivos. Fue presidente del Comité Científico Nacional de BioMonterrey 2006, de

comités de evaluación del CONACYT y del SNI, secretario técnico de la Semana de Cultura de Salud y Calidad de Vida del Forum Universal de las Culturas, así como miembro del Consejo Consultivo de la CIBIOGEM y primer coordinador de la Red Nuevas Tendencias en la Medicina del CONACYT. Fue declarado ciudadano distinguido de su ciudad natal (Miguel Alemán, Tamaulipas) y condecorado con la Medalla al Mérito Académico y Científico en el quincuagésimo aniversario de su fundación.

Francisco Gonzalo Bolívar Zapata (coordinador del Comité)

Nació en la Ciudad de México en marzo de 1948. Doctor en Química (Bioquímica) por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), institución en la que es profesor e investigador emérito. En 1982 fue nombrado primer director del recién creado Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología de la UNAM. En septiembre de 1991 la UNAM transformó este Centro en el Instituto de Biotecnología y Bolívar fue nombrado su primer director, cargo que ocupó hasta 1997. En ese año fue designado coordinador de la investigación científica de la UNAM, puesto que ocupó por espacio de tres años. Durante el período de 1996 a 2000 fungió también como vicepresidente y presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC). Su trabajo de investigación y desarrollo tecnológico es pionero en el ámbito mundial en el área de la biología molecular y la biotecnología, en particular en el aislamiento, la caracterización y la manipulación de genes en microorganismos. Bolívar Zapata fue miembro de un grupo de investigadores que en San Francisco, EUA, lograron por primera vez, en 1977, mediante técnicas de ingeniería genética, la producción de proteínas humanas en bacterias. Además, su trabajo en el área de la ingeniería de vías metabólicas en microorganismos es también pionero en el propósito de la

modificación genética y de la fisiología bacteriana, para el diseño y la optimización de microorganismos productores de metabolitos y proteínas de interés social y comercial. Tiene más de 200 publicaciones en revistas y libros, las cuales han sido citadas más de 13,000 veces en la literatura mundial, incluyendo aquí 800 citas en 330 libros de texto y especializados. Como profesor y tutor ha impartido clases en diferentes programas docentes y ha dirigido más de 60 tesis, siendo la mayor parte de posgrado; muchos de sus alumnos son actualmente profesores-investigadores y técnicos en la UNAM y otras instituciones nacionales e internacionales, incluyendo la industria. Cuenta con 200 contribuciones en congresos y talleres y ha dictado más de 150 seminarios y conferencias docentes y de divulgación. Ha escrito y editado libros de divulgación y opinión, entre ellos cinco tomos de su obra científica y de divulgación, como miembro de El Colegio Nacional. Como presidente de la AMC y a invitación de la Presidencia de la República, participó conjuntamente con el CONACYT y el Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República (CCC), en la elaboración y el consenso de la Iniciativa de Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica la cual fue aprobada de manera unánime por el Congreso de la Unión en 1999, y en la Iniciativa para la Creación de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (OGM), la cual fue creada por acuerdo presidencial en 1999. Como coordinador del Comité de Biotecnología de la AMC organizó a partir del año 2000, los esfuerzos de apoyo al Congreso de la Unión para la elaboración de la Ley de Bioseguridad de OGM, la cual fue aprobada por el Congreso de la Unión en febrero de 2005. También como presidente de la AMC, como coordinador de la Investigación Científica, como director, como investigador de la UNAM y miembro de la AMC, ha realizado numerosas intervenciones ante el Congreso de la Unión y

ante la Presidencia de la República, en defensa y promoción de la ciencia, la tecnología, la universidad y la biotecnología. Por su trabajo, ha recibido varias distinciones y 12 premios, entre los que destacan: en 1980, el Premio Nacional de Química otorgado por el Gobierno Federal; en 1982, el Premio de Investigación en Ciencias Naturales, que otorga la AMC; en 1988, el Premio Manuel Noriega en Ciencia y Tecnología, que otorga la Organización de Estados Americanos; en 1990, el Premio Universidad Nacional; en 1991, el Premio Príncipe de Asturias en Investigación Científica y Técnica, que otorga en España la Fundación Príncipe de Asturias; en 1992, el Premio Nacional de Ciencias y Artes en el campo de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, que otorga el Gobierno de la República; en 1997, el Premio TWAS en el área de la Biología que otorga en Italia la Third World Academy of Sciences, y en 1998, el Premio Luis Elizondo, que otorga el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. La Universidad de Lieja, Bélgica, y la Universidad Autónoma Metropolitana, le han otorgado doctorados *honoris causa* y ha recibido distinciones y reconocimientos de las universidades autónomas de Coahuila, Nuevo León, Morelos y Benemérita de Puebla. Recientemente recibió la Venera José María Morelos y Pavón, Morelenses de Excelencia 2009, por su contribución al desarrollo del estado de Morelos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel III) desde 1984, del Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República desde 1992 y de El Colegio Nacional desde 1994. Fue miembro de la Junta Directiva de la Universidad Autónoma Metropolitana de 1997 a 2005. Actualmente es miembro de las juntas de gobierno de la UNAM, del CONACYT y de la UAEM.

María Mayra de la Torre Martínez

Ingeniera bioquímica egresada del Instituto Politécnico Nacional, obtuvo el doctorado en Microbiología en el mis-

mo Instituto y realizó una estancia posdoctoral en el Instituto Suizo Federal de Tecnología en Zurich, Suiza. De 1977 a 2005 fue investigadora en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Desde 2005 es investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC, en Hermosillo, Sonora. Desde antes de terminar los estudios de licenciatura empezó a realizar investigaciones en tecnología de fermentaciones, área a la que se ha dedicado toda su vida. Sus investigaciones se caracterizan por acoplar la investigación básica con el desarrollo tecnológico, utilizando como herramientas la ingeniería química, la biología molecular y la bioquímica. Entre sus logros se encuentran el desarrollo de varias tecnologías de proceso para la fabricación de productos biotecnológicos que están en el mercado, principalmente para pequeñas y medianas empresas (PYMES). Entre ellos, levaduras para distintos propósitos, productos para el biocontrol de plagas y fitoenfermedades, y productos para la industria alimentaria. Encabezó un grupo de investigación que diseñó y construyó una planta piloto de fermentaciones de propósito múltiple, que se dedicó a investigación, desarrollo e innovación en colaboración con empresas, así como a la fabricación de los productos desarrollados para pruebas de campo, desarrollo de mercados y obtención de registros. Actualmente continúa colaborando con PYMES tanto en investigación, desarrollo e innovación, como en el diseño de plantas industriales. Además fue miembro del Consejo Consultivo Científico de la CIBIOGEM y ha colaborado en la elaboración de las normas para el manejo de organismos genéticamente modificados, correspondientes a Ley de Bioseguridad de OGM. Desarrolló y es responsable de la Plataforma Digital BIONNA para la Innovación en Biotecnología en Las Américas financiada por la Organización de los Estados Americanos. En este momento su inves-

tigación científica básica se centra en un nuevo sistema de *quórum sensing* de *Bacillus thuringiensis*. Cuenta con más de 100 publicaciones en revistas y libros, aproximadamente 50 reportes técnicos confidenciales que fueron entregados a empresas, y varias patentes nacionales e internacionales licenciadas a empresarios. Ha dirigido más de 47 tesis, la mayoría de ellas de posgrado. Por su trabajo ha recibido varias distinciones, siendo la primera mujer que recibió el Premio Nacional de Ciencias y Artes, y el laureado más joven en toda la historia del premio. También ha recibido el premio en Ciencias de la Ingeniería de la TWAS (Academy of Science for Developing World) y el Premio en Ciencias de la Vida de la Organización Interciencia. Es miembro del SNI desde 1985, como investigadora nacional nivel III. Fue presidenta de la Asociación Mexicana de Microbiología y de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Actualmente ocupa la vicepresidencia de la región América Latina y El Caribe de la Organization of Women Scientists for the Developing World, la vicesecretaría del Comité del Área de Agroalimentación del CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) y la presidencia de la Asociación de Interciencia. Es miembro del Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República Mexicana.

Jorge Espinosa Fernández

Nació en la Ciudad de México en 1956. Es licenciado en Derecho por la Universidad Nacional Autónoma de México (1979). En 1981 obtuvo la maestría en Administración Pública (Áreas de Finanzas Públicas y Análisis de Políticas Públicas) por la Universidad de Nueva York. En 1978 fundó su primer bufete jurídico. Fue coordinador de Estudios Jurídico-Administrativos de la Dirección General de Organización y Programación, Departamento de Pesca, durante 1981 y 1982. En 1983 fue jefe de Servicios Administrativos y

Legales del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. Durante 1984-1985 fue director de Programación Regional de la Dirección General de Planeación y Presupuesto, de la Subsecretaría de Planeación de la Secretaría de Salud. De junio de 1985 a marzo de 1987 fue director general de Descentralización y Modernización Administrativa de la Secretaría de Salud. La Dirección General de Asuntos Jurídicos de la Secretaría de Salud estuvo a su cargo durante 1987-1988. En 1989 fungió como director de Legislación y Normas de la Coordinación General Jurídica del Departamento del Distrito Federal. Ese mismo año y hasta 1998 fundó su segundo bufete jurídico y desde marzo de 1998 es socio fundador del despacho Grupo de Asesoría Estratégica, SC, especializado en consultoría jurídica y abogacía. Ha sido consultor jurídico de diversas dependencias, academias, industrias y empresas en ciencia y tecnología, biotecnología, propiedad intelectual, regulación farmacéutica, sistemas de salud y controversias internacionales. También ha sido profesor de Teoría de la Administración en la Facultad de Derecho de la UNAM, miembro de la Comisión de Estudios Jurídicos de la Administración Pública Federal de la Presidencia de la República, representante de la Secretaría de Salud en órganos de gobierno de diversas entidades paraestatales, coordinador de la Subcomisión de Reformas Jurídicas en Salud y Seguridad Social, consultor jurídico de la Secretaría de Desarrollo Social (Derecho Ecológico), consultor jurídico de la Secretaría de Energía, consultor jurídico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y del Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República, enfocado a legislación y amparo, profesor en licenciaturas, diplomados y posgrados de la Universidad Nacional Autónoma de México, la Iberoamericana, la Panamericana, la Anáhuac del Sur y La Salle, así como autor de diversas publicaciones en materia jurídico-administrativa.

Enrique Galindo Fentanes

Nació en la Ciudad de México en 1957. Creció y estudió en Puebla, donde obtuvo la licenciatura en Ingeniería Química en 1979. La maestría en Investigación Biomédica Básica y el doctorado en Biotecnología, los obtuvo en la UNAM en 1983 y 1989, respectivamente. Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de Birmingham (Inglaterra) y una estancia de investigación en el Politécnico de Zurich (ETH), en Suiza. Actualmente es investigador titular C y profesor de asignatura del Instituto de Biotecnología de la UNAM. El Dr. Galindo es autor de un total de 126 artículos de investigación original (102 de ellos en revistas internacionales con arbitraje). Ha sido invitado a escribir contribuciones en diversos foros, destacando capítulos en varios libros y de la Encyclopedia of Life Support Systems. Ha publicado 64 trabajos de revisión y/o divulgación. Es coeditor de los libros *Advances in Bioprocess Engineering* y *Advances in Bioprocess Engineering II* (Kluwer Academic, 1994 y 1998), y editor del libro *Fronteras en biotecnología y bioingeniería* (Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería AC, 1996). Es también autor de seis patentes otorgadas. Ha participado en el desarrollo de tres procesos biotecnológicos que han sido transferidos a sus usuarios. Ha dirigido 26 tesis de licenciatura, 20 de maestría y cinco de doctorado. Algunos de sus trabajos han recibido distinciones como el Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (1987, 1995, 2002) y el Premio del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (1990). Su trayectoria ha sido distinguida con el Premio Nacional de Ciencia - Puebla (1987), la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos (1989), el Premio de la Academia de la Investigación Científica (1994), el Premio Sven Brohult (2004), máxima distinción que otorga la International Foundation for Science, y con el Premio AgroBIO a la trayectoria en Biotecnología Agrícola (2010). Desde 1984 es miembro

del Sistema Nacional de Investigadores, donde tiene el nivel III desde 1999. Es miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias, de la Academia de Ingeniería de México y de la Academia de Ciencias de Morelos, de la que fue presidente en 2007-2008. Fue vicepresidente y presidente de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, AC (1996-2000). Ha formado parte del comité del CONACYT en el área de biotecnología y ciencias agropecuarias, del comité de ingeniería y tecnología del Foro Consultivo Científico y Tecnológico, y de la comisión dictaminadora del SNI en el área de biotecnología y ciencias agropecuarias. Durante 2009-2010 fue coordinador del comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos. Actualmente es jefe del Departamento de Ingeniería Celular y Biocatálisis del Instituto de Biotecnología de la UNAM, en Cuernavaca, Morelos, y forma parte del comité *ad hoc* de biotecnología de la AMC. Sus intereses académicos se centran en la ingeniería de bioprocesos, en particular con aplicaciones en la producción y procesamiento de alimentos y en estudios de los aspectos hidrodinámicos en fermentadores multifásicos. Su grupo ha estudiado la producción de agentes viscosificantes de alimentos (polisacáridos bacterianos), de aromas frutales producidos por hongos y el desarrollo de biosensores para la industria alimentaria. Ha desarrollado tecnologías para la producción y aplicación de agentes de control biológico de la antracnosis del mango que permiten lograr frutos de alta calidad.

Amanda Gálvez Mariscal

Es doctora en Biotecnología por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Realizó estudios de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) y de licenciatura en QFB, Tecnología de Alimentos en la Universidad La Salle.

Es profesora titular de la Facultad de Química de la UNAM, en el Departamento de Alimentos y Biotecnología, desde hace 27 años. Imparte cátedras sobre química de alimentos, biología molecular y bioseguridad alimentaria. Sus áreas de investigación son: la modificación y aplicación de proteínas funcionales y la detección molecular de secuencias transgénicas en granos y alimentos procesados. Sus trabajos han sido reconocidos con el Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos en 1990 y en 2002. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, y coordinadora del Programa Universitario de Alimentos (PUAL), de la UNAM desde agosto de 2004. Asimismo, la Dra. Gálvez ha sido miembro de la delegación mexicana ante el Protocolo de Cartagena de Bioseguridad de 1995 a 2006. Ha sido asesora de la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), en el tema de bioseguridad. En esa área, ha desarrollado trabajos de monitoreo y detección de OGM para la Secretaría de Salud con su equipo de trabajo del PUAL y la Facultad de Química de la UNAM. La Dra. Gálvez funge también como el punto de contacto nacional en las áreas de alimentos, agricultura, pesquerías y biotecnología frente a la Unión Europea, en el Programa Marco 7 de Cooperación Internacional. Desde 2009, el PUAL es el punto de contacto nacional sectorial para el CONACYT y la Secretaría de Relaciones Exteriores en dichas temáticas.

Adolfo Gracia Gasca

Es licenciado en Biología, egresado de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, con maestría y doctorado en Ciencias (Biología) de la misma Facultad. Es investigador titular C y Pride D del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, además de profesor de

posgrado y de licenciatura en la UNAM. Sus líneas de investigación son: ecología pesquera de crustáceos decápodos, aprovechamiento sustentable de recursos marinos, y ecología de comunidades bénticas. Cuenta con más de 70 publicaciones en temas de ecología y biología marina, así como en manejo de recursos pesqueros. Ha dirigido 20 tesis de licenciatura, 13 de maestría y cinco de doctorado. Es investigador del Sistema Nacional de Investigadores nivel II, miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias y de varias sociedades científicas nacionales e internacionales. Ha participado en numerosos cuerpos colegiados de la UNAM y comités nacionales. Fue asesor científico de la Cámara Nacional de la Industria Pesquera y Acuícola (1993-1999), y director del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en dos períodos (1999-2007). De 2008 a la fecha es coordinador del Consejo Académico de las Ciencias Biológicas, Químicas y de la Salud, de la UNAM.

Luis Herrera Estrella

El Dr. Herrera Estrella nació en la Ciudad de México en 1956. Su vida académica se realizó en escuelas públicas, desde la primaria hasta la culminación de estudios profesionales. Graduado como ingeniero bioquímico en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, continuó sus estudios de maestría en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del IPN, y de doctorado en el Departamento de Genética de la Universidad Estatal de Gante, en Bélgica. En 1984, el Dr. Luis Herrera obtuvo el título de doctor en ciencias, obteniendo la distinción máxima que ofrece la Universidad de Gante. En el mismo año, recibió el premio Minuro y Ethel Tsutsui, un reconocimiento bianual que otorga la Academia de Ciencias de Nueva York a la mejor tesis de doctorado en el ámbito internacional por sus investigaciones que condujeron a

obtener las primeras plantas modificadas por ingeniería genética y los métodos que en la actualidad se utilizan para producirlas de manera rutinaria. Esta contribución es considerada un pilar en el desarrollo de la biología molecular y la biotecnología de plantas. Sus descubrimientos posteriores se convertirían en un parteaguas para los estudios de los mecanismos que regulan la expresión génica en plantas y para demostrar el papel fundamental del péptido de tránsito en los procesos de importación de proteínas al interior del cloroplasto. En 1986, después de haber trabajado por dos años como investigador asociado en la Universidad Estatal de Gante regresa a México para fundar y organizar el Departamento de Ingeniería Genética de la Unidad Irapuato del CINVESTAV. Unos años más tarde, un estudio de la UNESCO reconoce este proyecto como uno de los cinco centros de investigación en biología molecular más importantes de los países en desarrollo y, en 1987, la UNESCO le otorga el premio Javed Husain como el investigador joven más destacado en ciencias naturales. Posteriormente, dedica parte de su programa de investigación básica al estudio de problemas relevantes para la agricultura de Latinoamérica. Estudia los mecanismos moleculares de la acción de toxinas producidas por bacterias patógenas de plantas y logra desarrollar plantas transgénicas resistentes a la toxina producida por uno de los patógenos que causan mayores pérdidas en el cultivo del frijol. Usando la experiencia en biología molecular e ingeniería genética obtenida en los años anteriores, su grupo de trabajo desarrolla la metodología para la transformación genética de tomatillo, papaya, maíz criollo y espárrago, especies vegetales de gran importancia en Latinoamérica. Sus contribuciones de investigación básica para el desarrollo de la agricultura en zonas tropicales le valió el reconocimiento de la Academia del Tercer Mundo, organismo que le otorgó en 1994 el premio TWAS en Bio-

logía. Posteriormente ha realizado trabajos pioneros sobre los mecanismos de tolerancia a concentraciones tóxicas de aluminio en suelos ácidos y los mecanismos moleculares que permiten a las plantas adecuar la arquitectura de su raíz para contender con factores ambientales adversos como son la sequía y la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo. Su trabajo de investigación ha quedado plasmado en más de 100 publicaciones de revistas internacionales, que incluyen cinco artículos en *Nature*, cuatro en *Science*, siete en *EMBO Journal*, tres en *PNAS*, dos en *Plant Cell* y uno en *Cell*. El Dr. Herrera ha dirigido 12 tesis de licenciatura y ha graduado a ocho maestros y 29 doctores en ciencias. El impacto de su trabajo científico se ve reflejado en las más de 4,500 citas que han recibido sus publicaciones. En el ámbito del desarrollo tecnológico, el Dr. Herrera también ha realizado importantes contribuciones que han sido reconocidas con cinco patentes internacionales y dos más que se encuentran en trámite. Las aplicaciones generadas de su investigación básica le hicieron merecedor, junto con los ingenieros González Camarena y Celeda Salmón, de la Medalla de Oro de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual como uno de los tres inventores más destacados de México. En el país ha recibido cuatro premios: el Premio de la Academia Mexicana de Ciencias, la Presea Lázaro Cárdenas del Instituto Politécnico Nacional, el Premio Nacional en Ciencias y Artes, y el Premio Luis Elizondo del Tecnológico de Monterrey. Su participación en el panorama científico internacional le ha merecido distinciones importantes, como ser presidente de la Sociedad Internacional de Biología Molecular de Plantas, pertenecer al selecto grupo del International Scholars, del Instituto Médico Howard Hughes durante 20 años, y el haber sido elegido Miembro Extranjero de la Academia de Ciencias de Estados Unidos. La inquietud por las innovaciones científicas continúa presente en sus programas

de investigación, habiendo encabezado recientemente la creación del Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad con el apoyo del CONACYT, la SAGARPA, la SEP y el Gobierno del Estado de Guanajuato.

Alfonso Larqué Saavedra

Biólogo por la Facultad de Ciencias de la UNAM, obtuvo su maestría en Ciencias en el Colegio de Postgraduados y su doctorado en la Universidad de Londres. Realizó estancias posdoctorales y fue investigador visitante en las universidades de Lancaster (1978), Cambridge (1978), Stanford (1984), Essex (1984) y Texas, en Austin (1992-1993). Su trabajo de investigación se ha centrado fundamentalmente en: 1) el control hormonal del agua por las plantas, 2) la bio-productividad y 3) el valor agregado de los recursos naturales. Sus investigaciones han sido publicadas en revistas de su especialidad como *Nature*, *Global Biology and Bioenergy*, *Physiologia Plantarum*, *J. Exp. Botany*, *Planta* y *Molecular Biotechnology*, entre otras. Es pionero en los estudios del efecto de la aspirina en plantas y es responsable de los cursos: El agua en las plantas, Hormonas vegetales, Bases científicas de la productividad, y Fisiología vegetal. El Dr. Larqué es autor de 103 artículos científicos publicados, 21 libros escritos, compilados o editados, 30 artículos de divulgación de la ciencia, 32 capítulos en libros, tres patentes, dos registros de marca, cuatro desarrollos tecnológicos transferidos al sector social. Ha formado a 143 estudiantes de licenciatura, maestría o doctorado. Es miembro del Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República, de la Academia Mexicana de Ciencias (desde 1982), presidente fundador de la Sección Regional Sur-Sureste de la Academia Mexicana de Ciencias, coordinador de la Sección de Agrociencias de la Academia Mexicana de Ciencias (1998-1999 y 2010 a la fecha), miembro fundador de la Academia Mexicana de

Ciencias Agrícolas, y miembro de la TWAS. Fue director del Centro de Botánica del Colegio de Postgraduados (1985-1991), coordinador del Programa de Fisiología Vegetal del Colegio de Postgraduados, director académico del Colegio de Postgraduados (1994-1995), secretario general del Colegio de Postgraduados (1995-1998), y director general de Centro de Investigación Científica de Yucatán (1998-2008). Ha sido jurado del Premio Universidad Nacional-UNAM., del Premio México de Ciencia y Tecnología, y miembro de la Comisión Dictaminadora del Personal Académico del Instituto de Ecología (INECOL), de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), del Comité de Evaluación Externo de El Colegio de Michoacán (COLMICH), y del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC (CIAD). Ha pertenecido a la Comisión Dictaminadora del SNI y ha sido jurado del Premio AgroBIO México 2005 a la investigación y periodismo de investigación en biotecnología agrícola. Asimismo, ha sido miembro de la Junta Directiva de El Colegio de Michoacán (COLMICH), El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), el Centro de Investigación y Asistencia Técnica en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), y del Instituto de Ecología (INECOL). También ha formado parte de la Comisión Dictaminadora de Personal Académico del Centro de Ciencias de la Atmósfera, del Instituto de Biología y de la Facultad de Ciencias, UNAM. El Dr. Larqué ha recibido diversas distinciones entre las que destacan: el Premio Nacional de Ciencias y Artes 2000, otorgado por el Gobierno de la República; el Premio Nacional de Investigación en Alimentos 1987, otorgado por la Secretaría de Pesca-SARH-CONACYT-Conasupo; la Presea Estado de México del Gobierno del Estado de México, en 1988; el Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos del CONACYT y Coca-Cola, en 1992; el Premio Nacional al Mérito en Ciencia y Tecnología

de Alimentos del CONACYT y Coca-Cola, en 1998; el Premio CENTEOTL otorgado por Fundaciones Produce, por sus aportaciones al desarrollo del campo mexicano, en 2007, y en 2010 el Premio de la Academia de Ciencias de los Países en Desarrollo (TWAS) en Agricultura. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel III). Actualmente, el Dr. Larqué es profesor investigador titular del Centro de Investigación Científica de Yucatán, asesor del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico de Yucatán (SIIDETEY), y director del Parque Científico y Tecnológico de Yucatán.

Agustin López-Munguía Canales

Es ingeniero químico, egresado de la Facultad de Química de la UNAM; tiene la maestría en Ingeniería Bioquímica de la Universidad de Birmingham, Inglaterra, y el doctorado en Biotecnología del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia. Es investigador titular C de tiempo completo en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, siendo además el secretario académico. Su área de investigación es la biotecnología alimentaria y, en particular, la ingeniería y tecnología de enzimas. Ha publicado más de 100 artículos de investigación en revistas arbitradas, nacionales e internacionales y cuenta con varias patentes, desarrollos tecnológicos y transferencias de tecnología a la industria, en el área de la biocatálisis. Es editor y autor del libro *Biotecnología alimentaria*, de Editorial Limusa (1993), y de los libros: *Alimentos: del tianguis al supermercado*, de la colección Viaje al Centro de la Ciencia, de CONACULTA (1995), *La biotecnología*, dentro de la colección Tercer Milenio, de CONACULTA (2000), *Alimentos transgénicos*, también dentro de la colección Viaje al Centro de la Ciencia (2002), *Las proteínas*, seleccionado en el concurso Bibliotecas del Aula 2005-2006, dentro del programa Hacia un País de Lectores, de la SEP, y *Los ali-*

mentos, dentro de la serie Huellas de Papel, de Editorial Santillana, en este año. Asimismo, es autor de diversos artículos de divulgación, particularmente para la revista *¿Cómo ves?* Es profesor titular de la materia de Biotecnología en la Facultad de Química de la UNAM. Ha dirigido más de 60 tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Ocupa el nivel III en el Sistema Nacional de Investigadores. Entre las distinciones recibidas destacan la Distinción de la Academia de la Investigación Científica en el área de tecnología, en 1990, el Premio Universidad Nacional 2000 en el área de innovación tecnológica y el Premio Nacional en Ciencias y Artes en el área de tecnología, en 2003.

Adalberto Noyola Robles

Nació en San Luis Potosí en 1956. Realizó estudios de ingeniería ambiental en la Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco (1976-1980) en México DF. Cursó la maestría y el doctorado en ingeniería (tratamiento de aguas residuales) en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA) de Toulouse, Francia (1981-1985). Después de trabajar dos años en la Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, en 1987 se incorporó como investigador en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Es investigador titular C, Pride nivel D, miembro del Sistema Nacional de Investigadores, SNI (1986), y desde 2003 es investigador nivel III. Actualmente es director del Instituto de Ingeniería de la UNAM (2008-2012). Es profesor colaborador de la Universidad Federal de Paraná, Brasil, y ha dictado cursos cortos en varios países de Latinoamérica. Su línea de investigación es el tratamiento de aguas residuales y lodos por vía biológica, en particular los procesos anaerobios. Ha publicado 33 artículos en revistas de circulación internacional, 24 en revistas nacionales, 26 capítulos en libros, y más de 250 presentaciones y conferencias en congresos nacionales e internacionales. Es autor de cinco patentes y

dos desarrollos tecnológicos. Permanece activo en la transferencia de tecnología hacia el sector privado. Ha dirigido y graduado 44 tesis de licenciatura, 12 de maestría y tres de doctorado. Ha participado en un gran número de jurados de tesis de licenciatura y posgrado, en México y en el extranjero. Algunos de los reconocimientos a su trabajo académico son: la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos 1991, el Premio CIBA para la Innovación Tecnológica en Ecología 1993 y el Premio Universitario León Biálik, en dos ocasiones, 1992 y 1998. Tiene reconocimientos otorgados por asociaciones de ingeniería en Colombia y Venezuela. Ha participado en la organización de eventos y congresos nacionales e internacionales, como presidente o como coordinador en los comités científicos. Es árbitro de varias revistas científicas indizadas y participa como evaluador de proyectos para el CONACYT (México), FONDECYT (Chile), COLCIENCIAS (Colombia), CONICYT (Uruguay), CNP (Brasil) y de varias universidades. Es miembro de la Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (FEMISCA) AC, de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería AC, del Colegio de Ingenieros Ambientales de México AC, de la Academia Nacional de Ingeniería AC y de la International Water Association (IWA) en donde participa como miembro del Comité Operativo del Grupo de Especialistas en Digestión Anaerobia. Ha desarrollado una intensa actividad gremial: vicepresidente y presidente de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería AC (1994-1996), presidente de la Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales AC (FEMISCA) (1997-1998), y presidente de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) para el bienio 2006-2008, asociación continental con más de 10,000 socios en 24 países.

Octavio Paredes López

Estudió la carrera de Ingeniería Bioquímica y obtuvo el grado de maestro en Ciencias Alimentarias en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN. Maestro en Ingeniería Bioquímica por la Academia Checa de Ciencias. Posteriormente recibió el grado de doctor en Ciencia de Plantas (PhD) de la Universidad de Manitoba en Winnipeg, Canadá. Ha efectuado estancias de investigación y posdoctorales en Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Francia, Alemania, Suiza, República Checa y Brasil. Nivel III del Sistema Nacional de Investigadores y nombrado Investigador Nacional de Excelencia. Autor de 330 artículos científicos y técnicos, 50 capítulos en libros y revisiones, tres libros internacionales y decenas de artículos periodísticos. Ha dirigido 35 tesis de licenciatura, 46 de maestría y 34 de doctorado. Algunos premios y distinciones que ha recibido son: 1) Banco Nacional de México (BANAMEX), Ramo Agropecuario, 2) Presea Lázaro Cárdenas como investigador distinguido del IPN 1981, 3) Premio Nestlé por Investigación y Desarrollo sobre Alimentación Humana, 4) Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos en cinco diferentes ocasiones, 5) Premio Nacional al Mérito en Ciencia y Tecnología de Alimentos 1986, 6) Premio Nacional de Química 1991 Andrés Manuel del Río, por la Sociedad Química de México, 7) Premio Nacional de Ciencias 1991 otorgado por la Presidencia de la República, 8) doctor *honoris causa* 1992, Universidad Autónoma de Querétaro, 9) profesor invitado de la Universidad de Manitoba (Canadá) y de la Universidad de Texas A&M (Estados Unidos), 10) Presea Lázaro Cárdenas como egresado distinguido del IPN 1993, 11) Premio Miguel Hidalgo y Costilla, Congreso del Estado de Guanajuato 1993, 12) CONACYT Cátedra Patrimonial I, 1994, 13) Ciudadano Distinguido de Irapuato 1995, 14) Hijo Predilecto por el Municipio de Mocorito, Sinaloa, 1994, 15) Premio Científico y Tecno-

lógico Luis Elizondo del Patronato del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 1994, 16) miembro vitalicio de El Colegio de Sinaloa, 1997, 17) Premio Third World Academy of Sciences-Third World Network of Scientific Organizations 1998, Trieste, Italia, 18) fundador de la International Academy of Food Science and Technology dentro del grupo de 30 científicos a nivel mundial seleccionado por la International Union of Food Science and Technology, Sidney, Australia, 1999, 19) editor general y editor asociado de seis revistas científicas internacionales, 20) doctor *honoris causa* ofrecido en 1999 por el Consejo Universitario de la Universidad Autónoma de Sinaloa, 21) premiado con la Presea Vasco de Quiroga, máxima distinción que otorga el Municipio de Irapuato, 2000, 22) vicepresidente (2002-2004) y presidente (2004-2006) de la Academia Mexicana de Ciencias, 23) seleccionado como uno de los 300 líderes más influyentes de México (*Revista Líderes Mexicanos*, 2005 y 2006), 24) doctorado *honoris causa*, Universidad de Manitoba, Canadá, 2005, 25) doctor en Ciencia, Univesidad de Manitoba, Canadá, 2005, 26) Galardón Nacional Ocho Columnas de Oro, área de Ciencia y Tecnología, por la Universidad Autónoma de Guadalajara y el diario *Ocho Columnas*, Jalisco, 2006, 27) reconocimiento especial por méritos científicos por el Consejo Cultural Mundial (World Cultural Council), México, 2006, 28) miembro de la H. Junta de Gobierno de la UNAM 2006, 29) designado sinaloense ejemplar por el Consejo Pro Sinaloenses Ejemplares en el Mundo, Sinaloa 2007, 30) miembro del Consejo Consultivo del St. Catharine's College Society-Branch for Mexico, Universidad de Cambridge 2007, 31) asesor científico del Diplomado y la Maestría en Docencia de la Ciencia (Programa Sinaloense para Profesores de Preescolar hasta Preparatoria) 2007, 32) miembro del Consejo Consultivo del International Center for the Advancement of Health

Regional Innovation and Science (ICAHRS/CIASIRS), Canadá 2008, 33) designado investigador nacional emérito por el Sistema Nacional de Investigadores, 2008. Fue fundador, director y actualmente profesor de la Unidad Irapuato del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV, 1981 a la fecha).

Tonatiuh Ramírez Reivich

Es ingeniero químico de la UNAM y doctor en Ingeniería Química y Bioquímica de la Universidad de Drexel, EUA. Desde 1990 es investigador del Instituto de Biotecnología de la UNAM; es investigador nacional nivel III y ha obtenido diversas distinciones, entre las que destacan: el Premio de Investigación 1998 de la Academia Mexicana de Ciencias; el Premio Universidad Nacional 2010; la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos 2000; Premio Sigma Xi al mejor trabajo de posgrado de la Universidad de Drexel, EUA; el Premio Carlos Casas Campillo de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería; en dos ocasiones el Premio por Mérito Académico al mejor estudiante internacional de la Universidad de Drexel; miembro del Comité Editorial de la revista *Bio-technology and Bioengineering*; Editor Asociado de la revista *Biochemical Engineering Journal* y diversos premios de organizaciones como el Premio Anual Casa de la Ciencia de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Academia Nacional de Ingeniería. Ha sido pionero en México en el área de la bioingeniería del cultivo de las células de eucariotes superiores y en la aplicación de métodos computacionales para el control de bioprocesos entre los que destacan, además del cultivo de células animales, las fermentaciones con microorganismos recombinantes, cultivos mixtos y axénicos, el escalamiento descendente y la producción de pseudopartículas virales con aplicaciones en vacunas y nanomateriales. Ha publicado 75 artículos cien-

tíficos, editado dos libros de difusión internacional, más de 30 artículos de divulgación y capítulos de libros y tiene cerca de 800 citas a sus trabajos en la literatura científica. Su labor ha trascendido del ámbito académico al industrial a través de su amplia labor de asesoramiento y participación en empresas e instituciones, tanto nacionales como extranjeras. Esta labor ha dado diversos frutos como el desarrollo de nuevos productos y procesos biotecnológicos en el área de alimentos, farmacéutica y ambiental.

Sergio Revah Moiseev

Profesor investigador titular C de la Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa, y director de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería desde julio de 2009, donde antes fundó y dirigió por cuatro años el Departamento de Procesos y Tecnología. Hasta septiembre de 2005, perteneció al Área de Ingeniería Química del Departamento de Procesos e Hidráulica de la UAM-Iztapalapa. Inició su carrera académica en la UAM en 1976 como profesor asistente. Continuó con su formación de posgrado en Estados Unidos y Francia y empezó a consolidar su grupo de investigación a partir de 1987. Trabajó inicialmente con proyectos en procesos biotecnológicos en alimentos y posteriormente en aplicaciones al mejoramiento ambiental. En el campo del control de contaminación por procesos biotecnológicos, el laboratorio del Dr. Revah es reconocido mundialmente y ha sido el lugar en donde se han formado numerosos profesionales a nivel licenciatura y posgrado. Como resumen de los logros del Dr. Revah están el haber dirigido cinco tesis de licenciatura, 33 de maestría y 14 de doctorado. Ha participado en más de 250 presentaciones en congresos y reuniones académicas. Tiene varias patentes y ha publicado más de 95 artículos en revistas arbitradas internacionales, 15 en revistas nacionales, 20 capítulos de libro y siete artículos de difusión. Sus trabajos

tienen más de 1,200 citas. Ha participado en los comités científicos de los principales congresos de su campo y ha revisado artículos para las principales revistas. Ha logrado el apoyo, además de la UAM, de instituciones tales como CONACYT, empresas privadas mexicanas y convenios internacionales. Organiza bianualmente uno de los congresos más importantes de su campo siendo el más reciente el Duke- UAM Conference on Biofiltration realizado en Washington DC en octubre de 2010. En aspectos de vinculación ha realizado proyectos con empresas y obtenido apoyos de instituciones nacionales e internacionales. Ha participado en la formación de dos empresas de base tecnológica y en una de ellas, sigue siendo socio y asesor técnico. Ha obtenido diversos reconocimientos como ser miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 3, Premio Ciba- Geigy en Tecnologías Ambientales, el Premio en Ciencia y Tecnología Manuel Noriega Morales, de la Organización de Estados Americanos y recientemente el Premio Nacional de Ciencias y Artes 2010 en el campo de tecnología.

Jorge Soberón Mainero

Nació en la Ciudad de México en 1953. Es biólogo por la Facultad de Ciencias de la UNAM (1977). Realizó su maestría en la misma Facultad (1979) y obtuvo su doctorado en Ciencias en el Imperial College de la Universidad de Londres en 1982. Actualmente es professor y senior scientist en el Biodiversity Research Center de la Universidad de Kansas, EUA. El Dr. Soberón ha publicado más de cien trabajos en revistas internacionales, de divulgación científica, libros y capítulos, artículos en memorias y repotes técnicos. Ha impartido cursos sobre ecología de poblaciones, matemáticas generales, ecología de la conservación y política y diplomacia de la biodiversidad en niveles de licenciatura y posgrado, tanto en la Universidad Nacional Autónoma de

México como en universidades extranjeras (Mérida, Venezuela, Imperial College, Universidad de Londres, Universidad de Kansas). Asimismo, dirige la Cátedra sobre desarrollo sostenible "Andrés Marcelo Sada" en el Instituto Tecnológico de Monterrey y ha dirigido doce tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Ha sido invitado a impartir más 50 conferencias internacionales como ponente principal o magistral. De 1992 a 2005 el Dr. Jorge Soberón fue el Secretario Ejecutivo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Ha sido o es miembro de los consejos directivos o científicos del Fondo para el Medio Ambiente Global (STAP del GEF), Washington DC; del Centro Internacional para la Ecología y Fisiología de los Insectos (ICIPE), en Nairobi, Kenia; del Mecanismo Global para la Información sobre Biodiversidad (GBIF), Copenhague, Dinamarca; del Centro Mundial para el Monitoreo de la Naturaleza (WCMC), Cambridge, Inglaterra; del NatureServe, Washington, DC; de Pronatura, México; de la Fundación All Species, San Francisco, California; del Centro de la Ciencia de la Biodiversidad Aplicada (CABS), Washington, DC; de la Enciclopedia de Vida (EoL), Washington, DC; del Museo Smithsonian, y de la JRS Biodiversity Foundation. También es miembro del Comité Externo Evaluador del Instituto de Ecología, AC. Ha asistido como delegado o jefe de delegación representando a México en las Conferencias de las Partes o en reuniones de grupos de trabajo o comités científicos de los convenios sobre Diversidad Biológica (CDB), Especies Amenazadas por el Tráfico Internacional (CITES), y las reuniones trilaterales sobre Vida Silvestre de los países del TLCAN.

Xavier Soberón Mainero

Originario de la Ciudad de México. Es químico de la Universidad Iberoamericana, doctorado en Investigación Biomédica por la Universidad Nacional Autónoma de

México. Desde 1981 es investigador del Instituto de Biotecnología de la UNAM, habiendo participado en la instalación y consolidación de la ingeniería genética y la biotecnología en la institución. Ha realizado estancias de investigación en el City of Hope Medical Center, en el área de Los Ángeles, California; en la Universidad de California, San Francisco y en la Universidad de California, San Diego. Su investigación se ha centrado en la síntesis química del ADN y sus aplicaciones en el estudio de las proteínas, así como en el desarrollo de biofármacos y vacunas y a la biocatálisis. Ha publicado más de 50 artículos de investigación original en revistas de circulación internacional, así como otros tantos trabajos de análisis y divulgación científica, incluyendo un libro editado por el Fondo de Cultura Económica. Cuenta también con tres patentes que cubren aplicaciones del ADN sintético en el desarrollo de nuevos biocatalizadores, así como en la ingeniería metabólica. Ha coordinado la instalación, el desarrollo y la operación de las unidades de síntesis y secuenciación de macromoléculas y la de cómputo del Instituto de Biotecnología de la UNAM (IBt). Ha sido profesor de los programas de maestría y doctorado en Ciencias Biomédicas y en Ciencias Bioquímicas de la UNAM y ha dirigido una veintena de tesis de licenciatura y posgrado. Asimismo, imparte cátedra en la licenciatura en Ciencias Genómicas de la UNAM, misma que contribuyó a crear. Fue director del IBt durante dos cuatrienios, entre 1997 y 2005. Fue presidente de la Academia de Ciencias de Morelos en el período 2004-2006. Ha recibido varios premios y distinciones, entre los que destacan el Premio Nacional de Química en 1999 y el reconocimiento como investigador nacional nivel III. Ha realizado numerosas actividades de asesoría, entre las que destaca su participación en el Comité de Biotecnología de la Academia Mexicana de Ciencias y en el CONACYT, de manera ininterrumpida desde el año 1998. Fungió como

director del Sistema Nacional de Investigadores en 2008 y 2009, y actualmente es director general del Instituto Nacional de Medicina Genómica de la Secretaría de Salud.

Irineo Torres Pacheco

Se graduó como ingeniero agrónomo especialista en fitomejoramiento en la Facultad de Agrobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Realizó estudios de posgrado en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Unidad Irapuato, en el Departamento de Ingeniería Genética; la maestría en Biología Vegetal y el doctorado en Biotecnología de Plantas. Su actividad como investigador está relacionada con la producción bajo un enfoque multidisciplinario de biosistemas. Ha publicado 59 artículos en 19 revistas internacionales entre las que se encuentran *Phytopathology*, *Journal of General Virology*, *Plant Pathology*, *Sensors*, *Journal of Botany*, *HortScience*, *Journal of Applied Entomology*, *African Journal of Biotechnology*, *Computers and Electronics in Agriculture*, *Revista Mexicana de Fitopatología*, *Chapingo Serie Hortícola*, *Agrociencia*, *Fitotecnia* y *Agricultura Técnica en México* y su trabajos han sido citados en más de 400 artículos relacionados a nivel mundial. Ha dirigido la tesis de 32 estudiantes, 17 de licenciatura, siete de maestría y tres de doctorado. Ha participado con más de 90 ponencias y conferencias en congresos nacionales e internacionales. Fue Investigador Titular y Líder fundador de la Unidad de Laboratorios Sede Nacional de Biotecnología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el Campo Experimental Bajío. Encabezó el proyecto que generó la tecnología para manejar la pudrición en cultivo de chile. Fue miembro del Primer Consejo Consultivo de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados. Fue el Líder Nacional de Investigación en Hortalizas y

en Biotecnología en el INIFAP. Fue también director del Centro de Investigación Regional Centro del INIFAP. Actualmente es revisor de trabajos que se publican en la *Revista Mexicana de Fitopatología* y *Fitotecnia*, las cuales son revistas nacionales indexadas. Es editor de la Editorial Sign Post de Kerala, India, y de Intech de Viena, Austria. Colabora como profesor invitado en la FES Cuautitlán y en la FES Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es profesor investigador categoría VII y coordinador del Cuerpo Académico de Ingeniería de Biosistemas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores nivel II.

Jaime Uribe de la Mora

Ingeniero químico egresado de la Universidad Iberoamericana con posgrado en Economía. Inicia su carrera profesional en las Fábricas de Papel Loreto y Peña Pobre, después en Kimberly Clark y posteriormente trabajó en la industria del plástico en las empresas Manufacturera Aztlán, Mercadotecnia Industrial y finalmente en Plastifin ocupando la dirección general de esa empresa. Fundador junto con otros cuatro socios de Productos Químicos Finos en 1970, ocupó el puesto de responsable de la producción y en 1975 ocupa la dirección general de la empresa y de Proquifin, SA de CV, de la cual también es fundador. Estas empresas se dedicaban a la fabricación de farmoquímicos (principios activos de las medicinas), ya sea por síntesis química o por procesos extractivos. Se fabricaron productos como sulfametazina, sulfamerazina, sulfatiazol, dipironas, vitamina B12, cianocobalamina, hidroxocobalamina, cloramfenicol y sus sales, etc. Por procesos extractivos se fabricó gonadotropina coriónica partiendo de orina de mujeres embarazadas y heparina partiendo de mucosa intestinal de cerdo que se recolectaba de todos

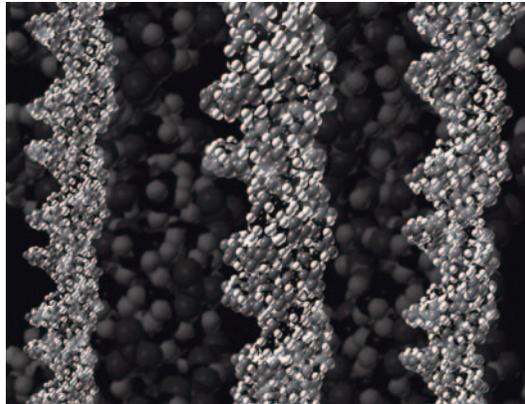
los rastros del país. En 1977 se iniciaron las exportaciones de heparina principalmente a Europa y hasta la fecha continúan las exportaciones, aunque han variado los productos. Desde 1975 inició un laboratorio de investigación y desarrollo para generar nuevas tecnologías, y mejorar y optimizar las existentes con técnicos y científicos mexicanos. También fue director general de los Laboratorios Helber de México, Laboratorios Chemia, y Laboratorios Galen. En 1988 inicia los trabajos para desarrollar proteínas con la tecnología del ADNr. Es pionero de la biotecnología industrial y fabricante único en México de proteínas y vacunas recombinantes. En 1994 adquiere Probiomed y en 1998 inicia la comercialización de productos a base de ADNr, fabricados en México desde el gen y la clonación hasta el medicamento, logrando tener el porcentaje de integración nacional más alto de la industria farmacéutica y el valor agregado de manufactura más alto de toda la industria a nivel nacional, razón por la cual se le otorgó el Premio Nacional de Tecnología en 1999, año en que se instituyó. Siempre ha trabajado en la integración de las cadenas productivas y buscando la vinculación y colaboración del sector académico-científico tanto en México como en el extranjero. En 2008 fue presidente de la Asociación Nacional de Fabricantes de Medicamentos AC (ANAFAM) y, en 2009, presidente de la Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica (CANIFARMA). Actualmente es presidente y director general de Probiomed, presidente de la Fundación en Pro de la Vida y vicepresidente de la Asociación de Empresas Mexicanas de Biotecnología AC (EMBIOMEX).

Gustavo Viniegra González

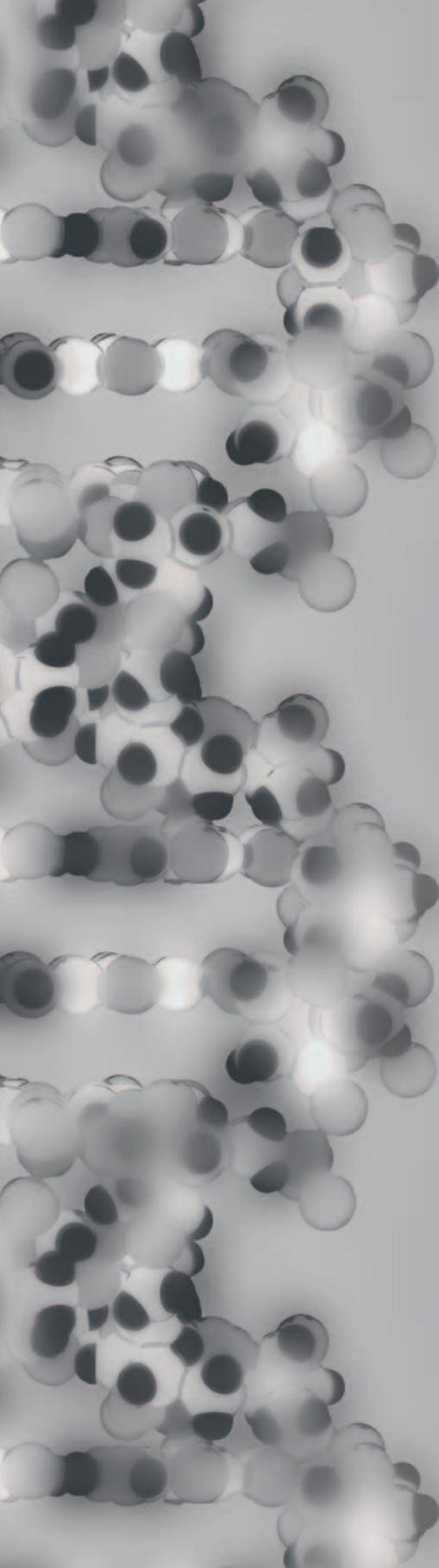
Nació en la Ciudad de México en 1940. Es médico cirujano por la Universidad Nacional Autónoma de México (1965) y en 1967 obtuvo el grado de maestro en ciencias (Bioquímica) por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados

del IPN. Realizó el doctorado en biofísica en la Universidad de California, San Francisco (1971) y fue estudiante de posdoctorado en la Universidad de Pensilvania (1972). En 1972 ingresó como investigador titular A para crear el Departamento de Biotecnología del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM. Fue promovido a investigador titular B en 1976. Desde 1977 ha sido profesor titular C de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Iztapalapa, donde contribuyó a la fundación del Departamento de Biotecnología. Las principales distinciones obtenidas son: en 1982, socio de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería; de 1982 a 1990, miembro de la Junta Directiva de la UAM; en 1985, obtuvo el Premio Nacional al Mérito en Ciencia y Tecnología de los Alimentos y fue admitido a la Academia Mexicana de Ciencias; en 1995 fue nombrado profesor distinguido por acuerdo del Colegio Académico de la UAM; en abril de 2001 se le otorgó el doctorado *honoris causa* de la Universidad Aix-

en-Provence (Marsella, Francia); en enero de 2002 obtuvo el nombramiento de investigador nacional emérito; en 2002 fue electo como representante del Área de Ingeniería y Tecnología del Foro Consultivo Científico y Tecnológico y se le admitió a la Orden de las Palmas Académicas de Francia; de 2006 a 2009 fue coordinador de Vinculación Académica de la UAM Iztapalapa; en 2010 fue investigador visitante de la Universidad Federal de Río de Janeiro. Organizó y supervisó el grupo que registró el primer invento biotecnológico (el proceso Biofermel) licenciado comercialmente por una universidad mexicana. Sus trabajos especializados han merecido más de 743 citas (sin autocitas) publicadas en revistas científicas internacionales con factor de impacto, $h=21$. Las líneas de investigación del doctor Gustavo Viniegra son la fisiología y genética de hongos, el desarrollo de cepas especializadas para fermentaciones de sustratos sólidos y las transformaciones genéticas de *Aspergillus niger* para aumentar la producción de enzimas.



Por un uso responsable de los organismos genéticamente modificados
se terminó de imprimir en Offset Rebosán SA de CV en agosto de 2011.
La edición consta de 2,000 ejemplares.



ISBN: 978-607-95166-3-5



9 786079 516635

