



Sección B: Datos disponibles hasta ahora

## 4. Repercusiones económicas de los cultivos transgénicos

Como toda innovación tecnológica en la agricultura, la de los cultivos transgénicos tendrá efectos económicos para los agricultores, los consumidores y el conjunto de la sociedad. En este capítulo se analizan los datos económicos que van apareciendo con respecto a las repercusiones que, en el ámbito de las explotaciones agrícolas y de toda la economía, está teniendo el cultivo transgénico que más se ha adoptado en los países en desarrollo: el algodón resistente a los insectos. Se reseñan también los estudios económicos examinados por especialistas de que se dispone acerca de la cuantía y distribución de los beneficios económicos derivados de la adopción del algodón resistente a los insectos en los Estados Unidos y en los cinco países en desarrollo donde se aprobó su producción comercial (Argentina, China, India, México y Sudáfrica). En otro estudio aparte se calculan las posibles consecuencias económicas del algodón transgénico para los agricultores de cinco países del África occidental en los que todavía no se ha aprobado (véase el Recuadro 16, pág. 62). Además de los estudios específicos sobre el algodón, se incluye en el capítulo un breve análisis de las repercusiones de carácter económico general de la soja tolerante a los herbicidas en la Argentina y los Estados Unidos, que son los mayores productores de dicho cultivo. En el Recuadro 13 se presenta un análisis preliminar de los posibles beneficios del «arroz dorado» para los consumidores.

### Fuentes de las repercusiones económicas

Las repercusiones económicas generales de los cultivos transgénicos dependerán de una amplia gama de factores, tales como los efectos de la tecnología en las prácticas agronómicas y los rendimientos, el deseo de los consumidores de comprar alimentos y otros productos derivados de cultivos transgénicos, y los requisitos reglamentarios y costos correspondientes. A largo plazo, otros factores, como la concentración industrial en la producción y comercialización de la tecnología de cultivos transgénicos, podrán influir también en la medida y distribución de los beneficios económicos.

Es posible que los agricultores que adoptan la nueva tecnología, especialmente quienes la adoptaron antes, hayan conseguido beneficios gracias a la reducción de los costos de producción y al aumento de la producción. Otros agricultores podrían verse en desventaja competitiva según evolucionen las preferencias de los consumidores y los regímenes reglamentarios (véase el Capítulo 6). Si los consumidores aceptan en general los cultivos transgénicos y los requisitos reglamentarios no son demasiado onerosos, los agricultores que los adopten saldrán ganando y quienes no lo hagan perderán. En cambio, si crece la oposición de los consumidores, los agricultores que no los adopten podrían obtener de ello una ventaja

## RECUADRO 13

**Proyecciones sobre las repercusiones económicas del «arroz dorado» en Filipinas**

El arroz dorado es un producto de ingeniería genética para obtener beta-caroteno, sustancia precursora de la vitamina A. El arroz dorado fue puesto a punto por investigadores de universidades de Alemania y Suiza (Ye *et al.*, 2000). Los propietarios de las patentes, que intervinieron en la ideación del arroz dorado, las han donado para fines humanitarios, lo que significa que los agricultores de países en desarrollo (cuyas ventas no alcancen el valor de 10 000 dólares EE.UU.) podrían cultivar y reproducir este arroz sin pagar derechos de tecnología.

La carencia de vitamina A afecta a más de 200 millones de personas en todo el mundo y se calcula que es la causa de 2,8 millones de casos de ceguera en niños menores de cinco años (FAO, 2000a). Se ha propuesto el arroz dorado para las poblaciones cuya dieta consiste fundamentalmente en arroz. Se aduce como crítica que se trata una solución costosa de alta tecnología a un problema que debería resolverse con la diversificación de la dieta y complementos alimenticios. Sus partidarios están de acuerdo en que lo ideal sería la diversificación de la dieta, pero aducen que esta meta es inalcanzable para los millones de personas que no pueden conseguir más que una dieta de subsistencia. ¿Es el arroz dorado un mecanismo económicamente eficiente para proporcionar a los pobres vitamina A?

Zimmermann y Qaim (2002) realizaron el primer estudio de las repercusiones económicas potenciales del arroz dorado en Filipinas. Se está adaptando actualmente ese producto a las condiciones de cultivo locales en el Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI), con sede en Filipinas. Los autores estiman que el costo financiero inicial necesario para

crear el arroz dorado fue de unos 3 millones de dólares y que se necesitarán otros 10 millones para completar las investigaciones de adaptación en Filipinas y realizar las necesarias pruebas de seguridad. Por otra parte, consideran que con el consumo de este arroz se podrían evitar casi 9 000 nuevos casos de ceguera y 950 muertes al año solamente en Filipinas. Aplicando el índice de pérdidas económicas debidas a la salud y muerte prematura, elaborado por el Banco Mundial, los autores calculan en unos 137 millones de dólares los beneficios económicos potenciales en Filipinas. Esto representa un beneficio de 10 a 1 en relación con los costos totales de puesta a punto del arroz dorado y de 13 a 1, en relación con los costos marginales de la adaptación y prueba del producto específicamente para Filipinas.

Los autores reconocen que estas estimaciones dependen de una serie de parámetros que no se conocen con certeza, tales como el nivel de beta-caroteno producido en el arroz dorado, la cantidad de beta-caroteno que la gente podrá absorber de él, la eficacia de una dosis adicional de vitamina A para prevenir la enfermedad y el número de personas que podrían consumir el arroz dorado. Aún suponiendo cifras pesimistas para cada uno de estos factores, los autores estiman que los beneficios serían más que el doble que los costos de la adaptación y prueba del producto para el mercado filipino. Según los autores, el costo de otros tratamientos de la carencia de vitamina A en Filipinas asciende a unos 25 millones de dólares al año (complementos alimenticios y enriquecimiento con vitaminas), mientras que el arroz dorado no entrañaría costos recurrentes. Concluyen que este producto es una alternativa sostenible y de bajo costo a otros tratamientos.

competitiva y exigir un sobreprecio para los productos no modificados genéticamente.

Los consumidores se benefician en general de las innovaciones tecnológicas en la agricultura ya que bajan los precios y/o aumenta la calidad de los productos que compran. La cuestión relativa a los cultivos transgénicos es más complicada, al menos, por dos razones. En primer lugar, los requisitos reglamentarios, como el etiquetado obligatorio y la segregación en el mercado, podrían elevar los costos de producción y comercialización de los cultivos transgénicos e impedir que bajen los precios para el consumidor. Por otra parte, algunos consumidores se oponen fuertemente a la tecnología y podrían experimentar una pérdida de bienestar si se vieran obligados a consumir productos derivados de cultivos transgénicos o a comprar productos orgánicos más caros para evitarlos.

El efecto económico neto de los cultivos transgénicos en la sociedad es, por lo tanto, un concepto muy complejo y dinámico que no se mide fácilmente. En primer lugar, los cultivos transgénicos se adoptarán de forma generalizada solamente si proporcionan beneficios económicos a los agricultores. En los países en desarrollo, en particular, hay varios factores económicos e institucionales que influyen en la rentabilidad de los cultivos transgénicos para las explotaciones agrícolas, además de sus meras características agronómicas. Las investigaciones económicas empiezan a mostrar que los cultivos transgénicos pueden generar beneficios para la explotación agrícola en los casos en que resuelvan graves problemas de producción y los agricultores tengan acceso a nuevas tecnologías. Sin embargo, hasta ahora, estas condiciones se dan sólo en unos pocos países, que han podido aprovechar las innovaciones desarrolladas por el sector privado para los cultivos de climas templados del Norte. Además, tales países tienen todos ellos sistemas de investigación agraria, procedimientos reglamentarios sobre bioseguridad, regímenes de derechos de propiedad intelectual y mercados locales de insumos bien desarrollados en el ámbito nacional. Es posible que los países en los que no se dan estas condiciones queden excluidos de la revolución genética.

La literatura disponible sobre los efectos de los cultivos transgénicos en los países

en desarrollo es bastante limitada, sobre todo porque se producen sólo desde hace pocos años y en unos pocos países. Raramente se dispone de datos de más de dos o tres años y la mayoría de los estudios abarcan un número relativamente reducido de agricultores. Tamaños de muestra tan pequeños hacen que resulte especialmente difícil aislar el impacto de un cultivo transgénico de otras muchas variables que influyen en el rendimiento de los cultivos, tales como las condiciones meteorológicas, la calidad de la semilla y los plaguicidas, la densidad de las plagas y los conocimientos técnicos de los agricultores. Además, es posible que los agricultores necesiten varios años de experiencia con una nueva tecnología, como la del algodón resistente a los insectos, para poder utilizarla eficientemente. Un problema más al tratar de sacar conclusiones sólidas de estos primeros datos es que los primeros en adoptar cualquier tecnología agrícola suelen beneficiarse más que quienes la adoptan más tarde. Esto se debe a que los primeros consiguen una ventaja de costos con respecto a los demás, lo que supone una prima por su innovación. A medida que aumenta el número de los agricultores que adopta la tecnología, la reducción de los costos llega a traducirse en una reducción del precio del producto que beneficia a los consumidores, pero hace bajar los beneficios para los agricultores. Un tercer peligro en relación con los cultivos transgénicos es que, en su mayor parte, están controlados por unas pocas grandes empresas. Aunque tales empresas no parecen estar obteniendo beneficios de monopolio de las ventas de sus productos, al no haber una competencia ni una reglamentación eficaz, no hay ninguna garantía de que sigan haciéndolo en el futuro.

El algodón transgénico se cultiva ahora en un número suficientemente grande de países, en distintas condiciones institucionales y de mercado y por diferentes tipos de agricultores, lo que permite extraer conclusiones provisionales sobre los beneficios y problemas potenciales derivados del uso de cultivos transgénicos en los países en desarrollo. Aunque es arriesgado extrapolar los resultados de un país o cultivo a otros, los primeros datos relativos al algodón transgénico indican

## RECUADRO 14

## ¿Qué es el algodón Bt y por qué se cultiva?

Se han introducido genes de la bacteria común del suelo *Bacillus thuringiensis* (Bt) en plantas de algodón, lo que las hace producir una proteína que es tóxica para determinados insectos. El algodón Bt es muy eficaz para combatir plagas de orugas, como la rosada del algodónero (*Pectinophora gossypiella*) y la de la cápsula del algodónero (*Helicoverpa zea*), y es parcialmente eficaz para combatir la oruga del brote del tabaco (*Heliothis virescens*) y la oruga negra (*Spodoptera frugiperda*). Estas plagas constituyen un problema importante en muchas zonas algodonerías, pero hay otras plagas del algodón, como el gorgojo del algodónero, que no son susceptibles a la Bt y se siguen necesitando plaguicidas químicos para combatirlos (James, 2002b). Como consecuencia de ello, el efecto de la introducción del algodón Bt en la utilización de plaguicidas varía de una región a otra según las poblaciones de plagas locales.

Las primeras variedades de algodón Bt se introdujeron comercialmente por medio de un acuerdo de concesión de licencias entre el descubridor del gen, Monsanto, y la principal empresa americana de germoplasma del algodón, Delta and Pine Land Company (D&PL). Estas variedades contienen el gen *Cry1Ac* y se comercializan con el nombre comercial de Bollgard®. En 1997 se introdujeron en los Estados Unidos variedades con transgenes que proporcionan juntamente resistencia a los insectos y tolerancia a los herbicidas (Bt/TH). Monsanto recibió recientemente la aprobación reglamentaria en algunos mercados para un nuevo producto que

incorpora dos genes Bt, *Cry1Ac* y *Cry2Ab2*. Este producto denominado Bollgard II®, se comercializó en 2003. Se espera que la incorporación de dos genes Bt mejore la eficacia del producto y retrase el desarrollo de plagas resistentes.

Se hallan en el mercado de los Estados Unidos más de 35 variedades diferentes de algodón Bt y Bt/TH (datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Estas variedades y la mayoría de las variedades Bt existentes en todo el mundo contienen genes con licencia de Monsanto. China es una excepción, ya que se dispone de una fuente independiente de protección de Bt. La Academia China de Ciencias Agronómicas desarrolló un gen Bt modificado que es una fusión de los genes *Cry1Ac* y *Cry1Ab*. Además, dicha Academia aisló un gen del caupí, el *CpTi*, que produce resistencia a los insectos por medio de un mecanismo diferente. Ha unido también el gen *CpTi* con el gen de fusión Bt y los ha incorporado en más de 22 variedades localmente adaptadas para su distribución en las provincias de China. Se espera que las variedades con unión de genes, producidas por la Academia, retrasen el desarrollo de plagas resistentes. El gen *Cry1Ac* de Monsanto está también disponible en China a través de, al menos, cinco variedades producidas por D&PL (Pray *et al.*, 2002). En Argentina, México, Sudáfrica y otros países, todas las variedades de algodón Bt contienen el gen *Cry1Ac* de Monsanto, en muchos casos en variedades puestas a punto inicialmente para el mercado de los Estados Unidos.

La producción de algodón convencional

que los pequeños productores con escasez de recursos de los países en desarrollo pueden obtener notables beneficios de la adopción de los cultivos transgénicos en términos de rendimientos efectivos más elevados y más estables, menor gasto en plaguicidas y reducción de los riesgos para la salud derivados de la exposición a los plaguicidas químicos. Para confirmar

estos resultados preliminares, se necesitan estudios de larga duración, que evalúen cuidadosamente la densidad de las plagas, el rendimiento de los cultivos, el comportamiento de los agricultores y los beneficios económicos. Los estudios de casos que se presentan a continuación indican que los factores más importantes para asegurar que los agricultores tengan acceso

depende decisivamente de los plaguicidas químicos para combatir las orugas y otras clases de insectos. Se estima que la producción algodонера consume alrededor del 25 por ciento de los plaguicidas agrícolas utilizados en todo el mundo, incluyendo algunos de los más tóxicos. Hidrocarburos clorados (como el DDT) se utilizaron ampliamente en la producción algodонера hasta su prohibición en los decenios de 1970 y 1980 por razones sanitarias y ambientales. Los productores de algodón sustituyeron entonces el DDT con organofosfatos, muchos de los cuales son también muy tóxicos. En muchas regiones las plagas crearon rápidamente resistencia a los organofosfatos, lo que hizo que en los decenios de 1980 y 1990 se generalizara el uso de piretroides que son menos tóxicos que los organofosfatos. Las plagas no tardaron en ofrecer resistencia a los piretroides, y la resistencia múltiple a los productos químicos llegó a ser un grave problema en muchas regiones productoras. En zonas donde la oruga de la cápsula del algodón es la principal plaga y se plantea el problema de su resistencia a los productos químicos, las variedades de algodón Bt han contribuido a reducir espectacularmente el empleo de plaguicidas.

Una importante ventaja del Bt con respecto a la lucha química contra las plagas, desde el punto de vista de la producción, es que la lucha mediante el Bt está siempre en acto en la planta. Dado que los agricultores aplican los métodos químicos sólo después de observar la presencia de plagas en las

plantas del algodón, para cuando los apliquen habrán ocurrido ya algunos daños. La eficacia de los insecticidas químicos, a diferencia del Bt transgénico, depende también de las condiciones meteorológicas, ya que la lluvia puede arrastrar el producto. El algodón Bt ofrece a los agricultores una certeza mayor de combatir las plagas ya que es eficaz contra insectos que han creado resistencia a los plaguicidas químicos disponibles. Por ello, las variedades Bt tienen rendimientos superiores en una amplia gama de condiciones de cultivo (Fernández-Cornejo y McBride, 2000). La diferencia de rendimientos estimada entre el algodón Bt y el convencional varía mucho en el tiempo y el espacio debido a que las infestaciones de insectos son muy diversas. El mayor rendimiento relativo del algodón Bt se obtiene en condiciones en que la presión de las plagas es más fuerte y se ha generalizado la resistencia a los plaguicidas químicos.

La principal preocupación con respecto a la utilización de algodón Bt es la posibilidad de que las plagas manifiesten resistencia al Bt, lo mismo que a los plaguicidas químicos. Esto constituiría un grave problema para los productores de algodón orgánico que utilicen exclusivamente el Bt para combatir las plagas. La generalización de la resistencia al Bt reduciría la eficacia de esta opción. La gestión de la resistencia a las plagas es una parte importante del proceso de aprobación reglamentaria del algodón transgénico. Se trata más en detalle esta cuestión en el Capítulo 5.

a los cultivos transgénicos en condiciones económicas favorables y con una supervisión reglamentaria apropiada, son:

- suficiente capacidad nacional de investigación para evaluar y adaptar las innovaciones;
- sistemas activos, públicos y/o privados, de entrega de insumos;
- procedimientos fiables y transparentes de bioseguridad, y

- políticas equilibradas de derechos de propiedad intelectual.

### Adopción mundial del algodón resistente a los insectos

El algodón transgénico, que contiene un gen de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) resistente a determinadas plagas de insectos

**CUADRO 5**  
**Superficie cultivada con algodón Bt y Bt/TH en 2001**

País	(miles de ha) Superficie
Estados Unidos	2 400
China	1 500
Australia	165
México	28
Argentina	9
Indonesia	4
Sudáfrica	30
Total	4 300 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> El total no corresponde a la suma de las cifras de los países porque se han redondeado éstas y se han hecho estimaciones.

Fuente: James, 2002b.

(Recuadro 14), se cultivó por primera vez en Australia, México y los Estados Unidos en 1996 y, posteriormente, se ha introducido comercialmente en otros seis países: Argentina, China, Colombia, India, Indonesia y Sudáfrica (Cuadro 5). La superficie total sembrada con variedades de algodón Bt y variedades que son a la vez Bt y tolerantes a los herbicidas (Bt/TH) aumentó de menos de 1 millón de ha en 1996 a 4,6 millones en 2002 (en 2002 se cultivó algodón tolerante a los herbicidas en otros 2,2 millones de ha). Las variedades de algodón Bt y Bt/TH se cultivaron aproximadamente en un 15 por ciento de la superficie dedicada al algodón en todo el mundo en 2002, frente a solamente el 2 por ciento en 1996.

La adopción del algodón Bt es muy distinta en las diversas regiones productoras de China, México, los Estados Unidos y otros lugares, según los problemas particulares de cada una de ellas en la lucha contra las plagas. Las variedades de algodón Bt han sido aceptadas rápidamente por los agricultores en zonas donde la oruga de la cápsula es el problema principal, especialmente cuando la resistencia a los plaguicidas químicos es elevada. Cuando hay densas poblaciones de otras plagas, los agricultores utilizan una mezcla de productos químicos de amplio espectro que sirven también para combatir las orugas, lo que reduce el valor de la lucha con el Bt.

## Repercusiones económicas del algodón transgénico

Las principales consecuencias económicas de los actuales cultivos transgénicos para las explotaciones agrícolas son el resultado de los cambios en la utilización de insumos y en los daños causados por las plagas. Si las nuevas semillas reducen la necesidad de pulverizaciones con productos químicos, como puede ocurrir con los cultivos resistentes a las plagas, es posible que los agricultores gasten menos dinero en productos químicos y dediquen menos tiempo y esfuerzos a aplicarlos. Si las nuevas semillas proporcionan una protección más eficaz contra las malezas y las plagas, los rendimientos efectivos de los cultivos serán mayores<sup>3</sup>. Estos ahorros en gastos y aumentos de producción pueden traducirse en mayores beneficios netos en la explotación agrícola. Las ganancias económicas en la explotación dependen de los costos y rendimientos de la nueva tecnología en comparación con los de otras prácticas posibles.

La consideración de las repercusiones en toda la economía y en la distribución de los beneficios causadas por la introducción de variedades transgénicas debe incluir también el hecho de que los agricultores pueden acrecentar la producción debido a que la nueva tecnología reduce su costo. Esta respuesta de la oferta puede presionar a la baja de los precios, lo que beneficiaría a los consumidores que, en tal caso, aumentarían su demanda del producto. A medida que cambian las compras de semillas y otros insumos que realizan los agricultores, pueden cambiar también los precios de tales artículos, especialmente si el suministrador de los mismos ejerce un monopolio en el mercado. Estas fuerzas de toda la economía influirán en la medida general de los beneficios económicos y en la distribución de los mismos entre los agricultores, los consumidores y la industria.

<sup>3</sup> Cuando en este capítulo se habla de rendimientos, se trata de rendimientos reales o efectivos en oposición a rendimientos agronómicos potenciales. El rendimiento real o efectivo tiene en cuenta las pérdidas causadas por las plagas.

CUADRO 6  
Adopción del algodón Bt por los agricultores de los Estados Unidos,  
por estados, 1998-2001

	(Porcentaje)			
	1998	1999	2000	2001
Alabama	61	76	65	63
Arizona	57	57	56	60
Arkansas	14	21	60	60
California	5	9	6	6
Carolina del Norte	4	45	41	52
Carolina del Sur	17	85	70	79
Florida	80	73	75	72
Georgia	47	56	47	43
Luisiana	71	67	81	84
Misisipi	60	66	75	80
Misuri	0	2	5	22
Nuevo México	38	32	39	32
Oklahoma	2	51	54	58
Tennessee	7	60	76	85
Texas	7	13	10	13
Virginia	1	17	41	30

Fuente: USDA-AMS, varios años.

### Repercusiones económicas en los Estados Unidos

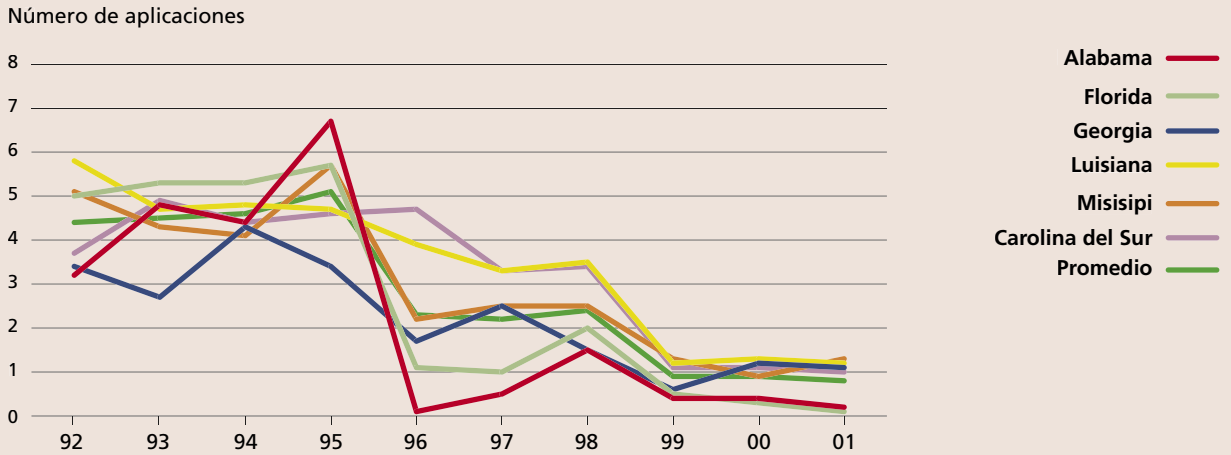
En el primer año en que se dispuso comercialmente en los Estados Unidos del algodón Bt, éste se sembró en unas 850 000 ha o el 15 por ciento de la superficie total dedicada al producto en el país. En 2001, se sembró con variedades de algodón Bt y Bt/TH un 42 por ciento de la superficie algodонера (USDA-AMS, varios años). Estados Unidos sigue siendo el mayor productor de algodón Bt y Bt/TH, pero el porcentaje de la superficie mundial cultivada con algodón transgénico correspondiente a este país disminuyó del 95 por ciento en 1996 al 55 por ciento en 2001, al aumentar su cultivo en otros países.

Los agricultores estadounidenses adoptaron muy rápidamente el algodón Bt, especialmente en los estados del sur donde la presión de las plagas es elevada y donde más acentuada es la resistencia a los plaguicidas químicos (Cuadro 6). La adopción del

algodón Bt ha tenido grandes repercusiones en el uso de plaguicidas en los Estados Unidos. El promedio de aplicaciones de plaguicidas contra las orugas de la cápsula ha disminuido de 4,6 en 1992-95 a 0,8 en 1999-2001 (Figura 8). Carpenter y Gianessi (2001) y Gianessi *et al.* (2002) estiman que la utilización media anual de plaguicidas en el algodón en los Estados Unidos ha disminuido en aproximadamente 1 000 toneladas de ingrediente activo.

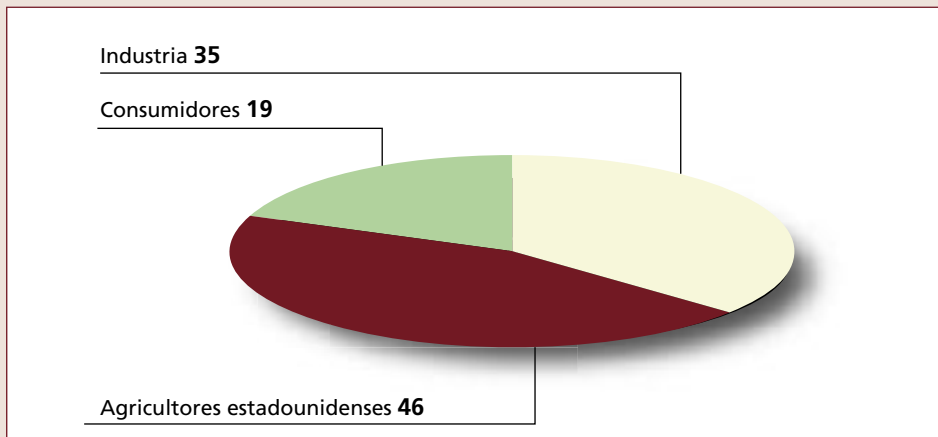
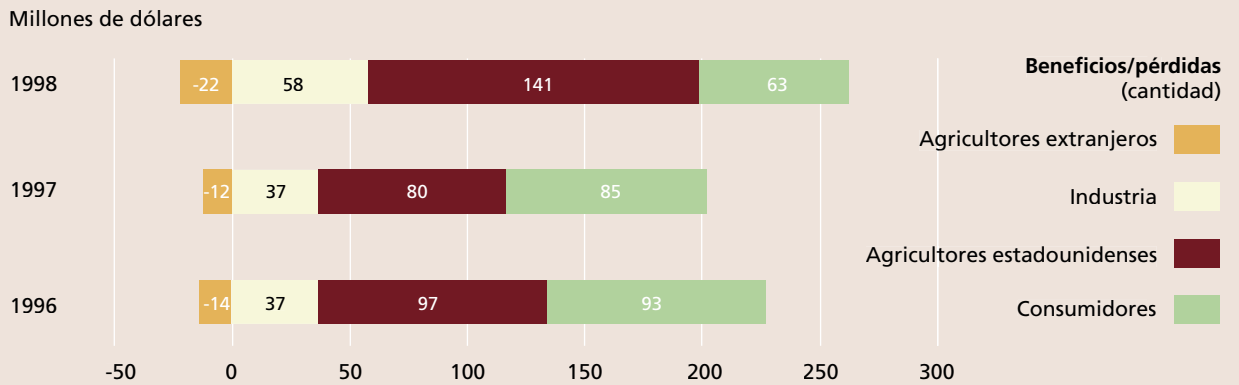
Falck-Zepeda, Traxler y Nelson (1999, 2000a, 2000b) calcularon los efectos anuales de la adopción del algodón Bt en los Estados Unidos por los productores, consumidores, suministradores de germoplasma estadounidenses y extranjeros de algodón en el período 1996-98 utilizando un modelo uniforme de excedente económico (Alston, Norton y Pardey, 1995). La cantidad y distribución estimadas de los beneficios de la introducción del algodón Bt varían de un año a otro; por ello también se indican en la

**FIGURA 8**  
**Aplicaciones de plaguicidas para combatir a la vez la oruga del brote y la oruga de la cápsula en determinados estados de los Estados Unidos, 1992-2001**



Fuente: Falck-Zepeda, Traxler y Nelson, 1999.

**FIGURA 9**  
**Distribución de los beneficios de la adopción de algodón Bt en los Estados Unidos, 1996-98**



Fuente: Falck-Zepeda, Traxler y Nelson, 1999, 2000a, 2000b.



Figura 9 promedios del período 1996-98. Los ingresos netos de los productores algodoneros de los Estados Unidos aumentaron en total unos 105 millones de dólares EE.UU. al año como consecuencia de la adopción del Bt, que redujo sus costos de producción y elevó los rendimientos efectivos. La industria –principalmente Monsanto y D&PL– ganó unos 80 millones de dólares gracias a las ventas de la tecnología Bt. El aumento de la producción de algodón redujo los precios al consumidor, dando lugar a beneficios de unos 45 millones de dólares al año para los consumidores de los Estados Unidos y otros lugares. Los agricultores de otros países perdieron alrededor de 15 millones de dólares debido al descenso de los precios de producción del algodón. El total de los beneficios anuales netos fue en promedio de unos 215 millones de dólares, que se repartieron de la forma siguiente: un 46 por ciento para los agricultores estadounidenses, un 35 por ciento para la industria y un 19 por ciento para los consumidores de algodón. Las pérdidas para los productores extranjeros fueron inferiores al 1 por ciento del beneficio total neto generado por la adopción del algodón Bt en los Estados Unidos.

### Repercusiones económicas del algodón transgénico en los países en desarrollo

Se han realizado estudios de campo sobre el rendimiento del algodón Bt en cinco países en desarrollo durante períodos de uno a tres años: Argentina (Qaim y de Janvry, 2003), China (Pray *et al.*, 2002), India (Qaim y Zilberman, 2003), México (Traxler *et al.*, 2003) y Sudáfrica (Bennett, Morse e Ismael, 2003). Los resultados de estos estudios se resumen en el Cuadro 7 y se examinan a continuación. Si bien las variedades de algodón Bt dieron mayores rendimientos medios, tales variedades permitieron reducir el uso de plaguicidas y proporcionaron beneficios netos superiores en relación con sus homólogos convencionales en todos los países en desarrollo en los que se hicieron estudios; en estos países los rendimientos tanto del algodón Bt como del convencional están sujetos a un grado elevado de variabilidad estacional y entre distintos terrenos. Por ello, no es posible extraer conclusiones sólidas basándose en datos de dos o tres años y de unos pocos centenares

de agricultores. Aunque los datos disponibles y la rapidez con que los agricultores están adoptando el algodón Bt indican que obtienen beneficios de él, es demasiado pronto para evaluar de forma concluyente la cuantía y estabilidad de los rendimientos de las variedades Bt en comparación con las convencionales, ya que dependen, entre otras cosas, de las infestaciones de plagas y las prácticas agronómicas, las cuales varían ampliamente.

Se han estudiado las repercusiones en la distribución de los beneficios del algodón Bt en Argentina (Qaim y de Janvry, 2003), China (Pray y Huang, 2003), México (Traxler *et al.*, 2003) y Sudáfrica (Kirsten y Gouse, 2003). Los datos disponibles indican que las variedades de algodón transgénico son indiferentes a la escala de las operaciones tanto en lo que respecta a la rapidez de la adopción como a los beneficios por hectárea. En otras palabras, los pequeños agricultores tienen una probabilidad igual o mayor que los grandes de beneficiarse del algodón Bt. Esto no es sorprendente debido a la forma en que las variedades de algodón Bt simplifican la labor de los agricultores. Qaim y Zilberman (2003) sostienen que es probable que el rendimiento relativo del algodón Bt sea mayor cuando lo utilizan los pequeños agricultores de países en desarrollo donde la presión de las plagas es elevada y hay menos posibilidad de combatirlas con medios químicos, debido a que estos agricultores suelen sufrir grandes pérdidas causadas por las plagas. Apoyan esta idea los datos internacionales disponibles hasta la fecha, que muestran que los mayores aumentos de rendimientos se han obtenido en Argentina, China y la India.

#### Argentina

Qaim y de Janvry (2003) estudiaron la cuestión del algodón Bt en Argentina durante dos temporadas de cultivo, 1999/2000 y 2000/01. El algodón Bt fue homologado por primera vez en Argentina en 1998 por la CDM Mandiyú SRL, empresa mixta privada compuesta por Monsanto, Delta and Pine Land Company (D&PL) y la empresa argentina Ciagro. Las variedades Bt comercializadas en Argentina se habían creado en un principio para el mercado de los Estados Unidos. La tecnología del algodón Bt está patentada en Argentina y los agricultores tienen que

## RECUADRO 15

**Soja tolerante a los herbicidas en Argentina y los Estados Unidos**

Los cultivos tolerantes a los herbicidas obtenidos por ingeniería genética tienen un gen procedente de la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens*, que los hace tolerantes a una amplia gama del glifosato herbicida. Mediante esta tecnología flogenética se puede facilitar la gestión de las malas hierbas en los campos de los agricultores y reducir los costos de producción sustituyendo con el glifosato otros herbicidas más caros (y más tóxicos). Se simplifica la periodicidad y la elección de los herbicidas para los cultivos tolerantes a los herbicidas debido a que el glifosato combate eficazmente tanto las malas hierbas de hoja ancha como las gramíneas y puede aplicarse oportunamente en muchos momentos. La tolerancia al herbicida para distintos cultivos fue puesta a punto por Monsanto con el nombre de RoundupReady® (RR).

La soja RR se distribuyó comercialmente en Argentina y los Estados Unidos en 1996. La venta y utilización de la tecnología RR están protegidas en los Estados Unidos por patentes y por un contrato de venta con los agricultores, pero no se aplica ninguna de estas formas de protección de la propiedad intelectual en Argentina. Por ello, en este país, la soja RR puede

conseguirse fácilmente de fuentes distintas de Monsanto, y los agricultores pueden utilizar legalmente semillas reservadas en su explotación. Así pues, los agricultores argentinos pagan un sobreprecio relativamente pequeño, del 30 por ciento aproximadamente, por la tecnología RR, mientras que los estadounidenses pagan por término medio un 43 por ciento más (datos de la General Accounting Office de los Estados Unidos, 2000). La adopción procedió rápidamente en ambos países. Se estima que, en 2002, se cultivaron con semillas RR el 99 y el 75 por ciento, respectivamente, de la superficie dedicada a la soja en Argentina y los Estados Unidos (James, 2002a).

Los rendimientos de la soja RR no son muy diferentes de los obtenidos con la convencional tanto en Argentina como en los Estados Unidos, pero la reducción de los costos de los herbicidas y la escarda genera beneficios en la explotación agrícola. Muchos agricultores empezaron a utilizar prácticas de poco o incluso ningún laboreo gracias a la adopción de la soja RR, lo que redujo también los costos en maquinaria y mano de obra y contribuyó a mejorar la conservación de los suelos. También los costos de la recolección son inferiores debido a la

pagar derechos por aplicarla. Según la ley argentina, los agricultores pueden reservar y reproducir semillas para otra campaña antes de que se les exija comprar material nuevo certificado. Sin embargo, Mandiyú exige a los agricultores firmar contratos especiales de compra que les prohíben utilizar semillas reservadas en la explotación para el algodón Bt. A diferencia de otros países (o de lo que ocurre con la soja TH en Argentina), la adopción del algodón Bt ha sido lenta y, en 2001, se cultivó con él un 5 por ciento solamente de la superficie algodonera total del país.

Los rendimientos del algodón Bt en Argentina fueron en promedio 531 kg/ha (33 por ciento) más altos que los de las variedades convencionales. Qaim y de

Janvry (2003) señalan que las variedades convencionales cultivadas en Argentina están de hecho mejor adaptadas a las condiciones locales y tienen rendimientos potenciales agronómicos más altos que las Bt, por lo que la diferencia en los rendimientos, atribuible a que las Bt sufrieron menos daños de plagas, sería incluso mayor que el 33 por ciento. Como hubo pocas diferencias entre los precios de mercado del algodón Bt y del no Bt, el aumento de los rendimientos de las variedades Bt dio lugar a un incremento medio del 34 por ciento en los ingresos brutos. El número de aplicaciones de plaguicidas fue menor y los gastos en plaguicidas se redujeron casi a la mitad. En cambio, los gastos en semillas fueron seis veces superiores para las variedades Bt

menor incidencia de malezas verdes (Qaim y Traxler, 2004).

En Argentina, el costo variable total de producción es un 8 por ciento (21 dólares/ha) menor con la soja RR que con la convencional. Los resultados son menos claros en los Estados Unidos. Moschini, Lapan y Sobolevsky (2000) calcularon una ventaja en cuanto al costo de 20 dólares/ha en 2000 para los Estados Unidos en conjunto, y Duffy (2001) determinó reducciones insignificantes de los costos en Iowa en 1998 y 2000. Tomando el promedio de todas estas fuentes, resulta que la reducción de los costos en los Estados Unidos es semejante a la obtenida en Argentina.

Qaim y Traxler (2004) calcularon que la soja RR aportó beneficios económicos por valor de más de 1 200 millones de dólares en 2001, es decir, alrededor del 4 por ciento del valor de la cosecha mundial de soja. Los consumidores de soja de todo el mundo obtuvieron un beneficio de 652 millones de dólares (53 por ciento de los beneficios totales) como consecuencia de la reducción de los precios. Las empresas de semillas recibieron 421 millones de dólares (34 por ciento) como ingresos por tecnología<sup>1</sup>, en su mayor parte procedentes del mercado

de los Estados Unidos. Los productores de soja de Argentina y los Estados Unidos obtuvieron beneficios de más de 300 y 145 millones de dólares, respectivamente, mientras que los productores de países donde no se dispone de la tecnología RR se enfrentaron con pérdidas de 291 millones de dólares en 2001, debido al descenso inducido en los precios del mercado mundial, que fue del 2 por ciento aproximadamente (4,06 dólares por tonelada). Los agricultores, en conjunto, obtuvieron un beneficio de 158 millones de dólares, el 13 por ciento de las ganancias económicas totales producidas por el uso de la tecnología.

<sup>1</sup> Lo mismo que en los estudios sobre el algodón, se utilizaron los ingresos brutos aportados por la tecnología como medida del rendimiento del monopolio. No se dedujo ningún costo de investigación, comercialización o administración. Si se supone, por ejemplo, que estos últimos costos representan un 33 por ciento de los ingresos de los derechos de la tecnología, el rendimiento del monopolio descendería a unos 280 millones de dólares (26 por ciento del excedente total).

que para las convencionales, por lo que los costos variables fueron un 35 por ciento más elevados. Los ingresos netos fueron mayores para las variedades Bt que para las no Bt, pero por un valor absoluto bastante pequeño y con un margen notablemente menor que en otros países.

Qaim y de Janvry (2003) concluyen que los costos elevados de las semillas son la razón principal de que sean relativamente bajos los márgenes de beneficio para la explotación agrícola que produce el Bt en Argentina, lo que, a su vez, explica la baja tasa de adopción de este algodón en comparación con la rápida adopción de la soja TH en este país (Recuadro 15). Dichos autores utilizan un método de valoración contingente para estimar que el precio que los agricultores

argentinos desearían pagar por las semillas Bt es inferior a la mitad del actual. Con ese precio, los ingresos netos de los agricultores aumentarían notablemente, pero serían también mayores los ingresos de la empresa debido a que los agricultores comprarían más semillas. Esta conclusión plantea una cuestión importante con respecto a la razón por la que Mandiyú pone precios más altos que el nivel de máximo beneficio. Los autores conjeturan que es posible que la empresa reciba presiones para mantener los precios de la tecnología del algodón Bt en niveles comparables a los de los Estados Unidos. Se plantean también preocupaciones con respecto a que los monopolios privados puedan seguir extrayendo beneficios excesivos de los agricultores durante mucho

CUADRO 7  
Diferentes rendimientos del algodón Bt y el convencional

	Argentina	China	India	México	Sudáfrica
<b>RENDIMIENTO EN FIBRA</b>					
(kg/ha)	531	523	699	165	237
(Porcentaje)	33	19	80	11	65
<b>PULVERIZACIONES QUÍMICAS (núm.)</b>					
	-2,4	...	-3,0	-2,2	...
<b>INGRESO BRUTO</b>					
(\$EE.UU./ha)	121	262	...	248	59
(Porcentaje)	34	23	...	9	65
<b>LUCHA CONTRA LAS PLAGAS</b>					
(\$EE.UU./ha)	-18	-230	-30	-106	-26
(Porcentaje)	-47	-67	...	-77	-58
<b>COSTOS DE SEMILLAS</b>					
(\$EE.UU./ha)	87	32	...	58	14
(Porcentaje)	530	95	...	165	89
<b>COSTOS TOTALES</b>					
(\$EE.UU./ha)	99	-208	...	-47	2
(Porcentaje)	35	-16	...	-27	3
<b>BENEFICIO</b>					
(\$EE.UU./ha)	23	470	...	295	65
(Porcentaje)	31	340	...	12	299

**Fuentes:**

Argentina: Qaim y de Janvry, 2003. Los datos se basan en una encuesta sobre 299 agricultores de dos de las principales provincias productoras, con promedios de dos campañas de cultivo, 1999/2000 y 2000/01.

China: Pray *et al.* (2002). Los datos se basan en encuestas sobre explotaciones en todas las provincias productoras de algodón donde se dispuso de variedades Bt, con promedios de tres temporadas de cultivo, 1999-2001. El número de parcelas cultivadas con algodón Bt y no Bt fue de 337 y 45, respectivamente, en 1999, de 494 y 122 en 2000, y de 542 y 176 en 2001.

India: Qaim y Zilberman, 2003. Los datos se basan en ensayos de campo realizados en siete estados indios durante la temporada de cultivo, 2001. Los ensayos incluían 157 parcelas de algodón Bt y otras tantas del convencional no Bt.

México: Traxler *et al.*, 2003. Los datos se basan en encuestas sobre explotaciones agrícolas en la Comarca Lagunera, con promedios de dos temporadas de cultivo, 1997 y 1998.

Sudáfrica: Bennett, Morse e Ismael, 2003. Los datos se basan en registros y encuestas de explotaciones agrícolas en las llanuras de Makhathini, con promedios de tres temporadas de cultivo, 1998/99-2000/01. Se examinaron registros de 1 283 explotaciones (89 por ciento de todas las de la zona) en 1998/99, 441 en 1999/2000 y 499 en 2000/01.

tiempo a falta de una competencia o de limitaciones normativas apropiadas al monopolio.

**China**

En China más de 4 millones de pequeños agricultores cultivan el algodón Bt en un 30 por ciento de la superficie algodонера total. La parte correspondiente a China de la superficie cultivada con algodón Bt en todo el mundo ha aumentado considerablemente desde que comenzó a comercializarse la variedad en 1997, ascendiendo a más del

35 por ciento en 2001. Pray *et al.* (2002) encuestaron a los productores de algodón de China durante tres temporadas, de 1999 a 2001. Se realizaron las encuestas en las principales provincias algodoneras, en las que se disponía tanto de variedades Bt, como no Bt. En la encuesta inicial se incluyó a agricultores de las provincias de Hebei y Shandong. La adopción ha avanzado rápidamente en estas provincias debido a que la oruga de la cápsula es la plaga principal y se ha generalizado una grave resistencia a los plaguicidas químicos.

CUADRO 8

Distribución de los beneficios de la adopción del algodón Bt, por tamaño de la explotación o categoría de ingresos, en China, 1999

	Bt en porcentaje de las observaciones	(kg/ha)	(\$EE.UU./ha)	(\$EE.UU./ha)
		Aumento de rendimientos	Cambio en el costo total	Cambio en los ingresos netos
<b>TAMAÑO DE LA EXPLOTACIÓN</b>				
0,0-0,47 ha	86	410	-162	401
0,47-1 ha	85	-134	-534	466
Más de 1 ha	87	-124	-182	185
<b>INGRESOS DEL HOGAR (\$EE.UU.)</b>				
1-1 200	85	170	-302	380
Más de 1 200	91	65	-54	157
<b>INGRESOS PER CÁPITA (\$EE.UU.)</b>				
1-180	85	456	-215	446
180-360	83	8	-284	303
Más de 360	97	-60	1	-15

Nota: Todos los valores monetarios se han convertido de yuan renminbi en dólares EE.UU., al tipo de cambio oficial de: 1,00 dólar EE.UU. = 8,3 ¥RMB.

Fuente: Pray and Huang, 2003.

La adopción asciende al 100 por ciento en Hebei y supera el 80 por ciento en Shandong. En 2000 se incluyó en la encuesta la provincia de Henan. En ella la adopción se ha limitado a un 30 por ciento aproximadamente, pese a los graves daños causados por la oruga de la cápsula, debido, al parecer, a que los agricultores no tienen acceso a las mejores variedades Bt. En 2001 se introdujeron en el estudio las provincias de Anhui y Jiangsu, en las cuales la adopción había comenzado más tarde y más lentamente debido en parte a que en ellas es más grave el problema de la araña roja (que no es susceptible al Bt).

En China, el aumento de los rendimientos del algodón Bt fue por término medio de 523 kg/ha o del 19 por ciento, en comparación con las variedades convencionales, en el período de tres años de 1999 a 2001. Esto se tradujo en un aumento medio de los ingresos del 23 por ciento. Los costos de las semillas de las variedades Bt eran casi el doble de los de las variedades convencionales. Sin embargo, en comparación con lo que ocurre en Argentina, este sobrepeso es bastante bajo, lo que, según Pray et al. (2002), se debe a la

presencia de una fuerte competencia en el mercado entre las variedades de la Academia China de las Ciencias Agrarias, creadas por el sector público, y las obtenidas de Monsanto. Contrarrestó el sobrepeso de las semillas la disminución de un 67 por ciento del gasto en plaguicidas, con lo que los costos totales fueron un 16 por ciento menores que para el algodón convencional. Por término medio, los beneficios totales fueron de 470 dólares más por hectárea para los productores de variedades Bt que para los de variedades no Bt, los cuales perdieron de hecho dinero en cada uno de los tres años.

Pray et al. (2002) estiman que los productores de algodón Bt de China utilizaron en promedio 43,8 kg/ha de plaguicidas químicos menos que los productores de algodón convencional. Las mayores reducciones se registraron en las provincias de Hebei y Shandong, donde la plaga principal son las orugas. La reducción del uso de plaguicidas se tradujo en un gasto menor en productos químicos y mano de obra para la pulverización, pero se determinaron también otros beneficios para el medio ambiente y la salud humana.

Se estima que el cultivo del algodón Bt permitió utilizar en China 78 000 toneladas menos de plaguicidas en 2001, cifra equivalente a un cuarto de la cantidad total de plaguicidas químicos utilizados en el país en un año normal. Como los productos químicos se suelen aplicar en China con pulverizadores de mochila y los agricultores raramente utilizan ropa protectora, éstos quedan expuestos frecuentemente a niveles peligrosos de plaguicidas. Los productores de algodón Bt experimentaron una incidencia mucho menor de envenenamiento por plaguicidas que los productores de variedades convencionales (5-8 por ciento frente a 12-29 por ciento).

Pray y Huang (2003) estudiaron la distribución de los beneficios económicos en China por tamaños de explotaciones agrícolas y categorías de ingresos. Determinaron que las explotaciones de menos de 1 ha habían obtenido un aumento neto de sus ingresos por hectárea doble que el de las de más de 1 ha (Cuadro 8). Los hogares y personas más pobres obtuvieron también aumentos netos de los ingresos por hectárea mucho mayores que los ricos. Estos resultados indican que el algodón Bt da lugar a grandes aumentos de los ingresos netos de los pobres en China.

#### *India*

La comercialización del algodón Bt se aprobó en la India solamente en 2003, por lo que no se dispone todavía de estudios basados en el mercado. Qaim y Zilberman (2003) analizaron datos de ensayos de campo realizados en la India en 2001 y señalaron cambios en los rendimientos de los cultivos y en la utilización de plaguicidas entre el algodón convencional y el Bt. Inició los ensayos la empresa india, Maharashtra Hybrid Seed Company (Mahyco), en 395 explotaciones de siete estados indios. Tales ensayos fueron supervisados por las autoridades normativas y fueron realizados por los agricultores utilizando las prácticas habituales. Se comparó el rendimiento y el uso de productos químicos de un híbrido Bt, el mismo híbrido sin el gen Bt y una variedad popular no Bt, cultivándolas en parcelas adyacentes de 646 m<sup>2</sup>. El análisis se basó en los resultados de 157 explotaciones representativas en las que se mantuvieron registros completos. En el Cuadro 7 (pág. 56), se ha ofrecido una comparación entre el

híbrido Bt y el mismo híbrido sin el gen Bt.

Los rendimientos efectivos medios del híbrido Bt fueron superiores a los del híbrido no Bt en un 80 por ciento, lo que se debe a la elevada presión de las plagas durante la temporada de cultivo y a la falta de otros medios para combatirlas. Esta diferencia de rendimientos es mucho mayor que la encontrada en China, México y los Estados Unidos. Qaim y Zilberman (2003) señalan que la diferencia de rendimientos del algodón Bt es mayor en la India que en otros lugares porque la presión de las plagas es elevada y los agricultores no tienen acceso a plaguicidas eficaces y baratos. Sostienen asimismo que los rendimientos del híbrido no Bt son tan malos como los de las variedades populares, lo que indica que el potencial de rendimiento no influye en la diferencia de rendimientos entre los híbridos Bt no Bt. Los autores reconocen que los resultados de un único año pueden no ser representativos y citan datos de ensayos de campo más limitados realizados por Mahyco, que muestran un aumento medio de los rendimientos del 60 por ciento en el período de cuatro años de 1998-2001. Otros estudios basados en ensayos de campo en la India han determinado aumentos de rendimientos del algodón Bt que varían del 24 al 56 por ciento (promedio del 39 por ciento) en los años 1998/99 y 2000/01 (James, 1999; Naik, 2001).

Qaim y Zilberman (2003) señalan que la resistencia a los insecticidas está muy difundida en la India, de manera que cada año hay que pulverizar cantidades cada vez mayores de plaguicidas. Los resultados de su estudio de 2001 indican que el número de pulverizaciones químicas contra las orugas disminuyó por término medio de 3,68 a 0,62 por temporada, si bien el número de pulverizaciones contra otros insectos no varió sensiblemente. La cantidad total de plaguicidas utilizados disminuyó un 69 por ciento, y toda la reducción se produjo en productos altamente peligrosos como los organofosfatos, carbamatos y piretroides, que pertenecen a las clases internacionales de toxicidad I y II.

#### *México*

La cantidad de algodón que se cultiva en México varía mucho de un año a otro según las políticas gubernamentales, los tipos de cambio, los precios mundiales y

## CUADRO 9

## Adopción del algodón Bt y distribución geográfica de los problemas de plagas en las principales zonas algodoneras de México, 1997-98

Plaga	Eficacia del Bt	Otras plantas huéspedes	Gravedad del problema <sup>1</sup>					
			Comarca Lagunera	Tamaulipas	Norte de Chihuahua	Sur de Chihuahua	Sonora	Baja California
Gusano rosado	Total	Ninguna	Altísima	Ninguna	Menor	Media	Media	Media
Oruga de la cápsula	Alta	Maíz, tomate	Alta	Alta	Media	Media	Menor	Menor
Oruga del brote del tabaco	Parcial	Maíz, tomate	Media	Alta	Media	Media	Media	Menor
Oruga gregaria	Parcial	Muchas	Menor	Alta	Media	Media	Menor	Menor
Gorgojo del algodnero	Ninguna	Ninguna	Erradicada	Altísima	Menor	Altísima	Menor	Ninguna
Mosca blanca	Ninguna	Muchas	Menor	None	Ninguna	Ninguna	Altísima	Altísima
Adopción de Bt en 2000 (porcentaje)			96	37	38	33	6	1

<sup>1</sup> Altísima: exige múltiples aplicaciones anualmente, daños potencialmente graves para los cultivos; alta: se necesitan 2 ó 3 aplicaciones la mayoría de los años, algunos daños al cultivo; media: se necesitan 1 ó 2 aplicaciones la mayoría de los años, daños menores a los cultivos; menor: no se necesitan pulverizaciones la mayoría de los años, algunos daños al cultivo.

Fuente: Traxler *et al.*, 2003.

la disponibilidad de agua para el riego. La superficie dedicada al algodón disminuyó de unas 250 000 ha a mediados del decenio de 1990 a unas 80 000 ha en 2000, mientras que la proporción dedicada a variedades Bt aumentó del 5 al 33 por ciento aproximadamente.

La adopción de variedades Bt en las distintas regiones de México ha dependido del grado de la infestación de plagas y las consiguientes pérdidas económicas (Cuadro 9). Donde más rápida fue la adopción es en la Comarca Lagunera, región que comprende partes de los estados de Coahuila y Durango, y es la más gravemente afectada por las orugas de la cápsula. En las demás regiones algodoneras de México se padecen plagas de dichas orugas y otras plagas no susceptibles al Bt, por lo que deben emplearse métodos químicos. La adopción del Bt es, por lo tanto, baja en estas regiones. El algodón Bt no se cultiva en los estados sureños de Chiapas y Yucatán, donde existen especies silvestres de *Gossypium hirsutum*, un pariente nativo del algodón (Traxler *et al.*, 2003).

Las variedades de algodón Bt cultivadas en México fueron creadas inicialmente para el mercado de los Estados Unidos, por D&PL en cooperación con Monsanto. Monsanto exige que los agricultores mexicanos firmen

un contrato que les prohíbe reservar semillas y les exige desmotar el algodón sólo en las plantas autorizadas por Monsanto. Les exige también seguir una estrategia específica de gestión de la resistencia y que permitan a los agentes de Monsanto inspeccionar sus campos para ver si cumplen las restricciones relativas a refugios y reserva de semillas (Traxler *et al.*, 2003).

Se suele clasificar a los productores algodoneros de la Comarca Lagunera en uno de estos tres grupos: ejidos, pequeños productores y productores independientes. Los ejidos tienen superficies de 2 a 10 ha; los pequeños productores, de 30 a 40 ha; y los independientes poseen superficies un poco mayores pero normalmente menores de 100 ha. Los ejidos y los pequeños propietarios están organizados en asociaciones de agricultores con el fin de obtener créditos y asistencia técnica. Cada grupo de agricultores tiene un consultor técnico que trabaja para la asociación. Traxler *et al.* (2003) hicieron una encuesta sobre los productores de algodón de la Comarca Lagunera en las temporadas de cultivo de 1997 y 1998, sirviéndose de consultores técnicos de la asociación SEREASA, que es una de las mayores de la Comarca Lagunera y, durante el período del estudio, incluía 638 agricultores que poseían

**CUADRO 10**  
**Estimaciones de la distribución de los beneficios económicos, región de la Comarca Lagunera de México, 1997 y 1998**

	1997	1998	Promedio
<b>A</b> Costo por hectárea para producir semillas Bt (\$EE.UU.)	30,94	30,94	30,94
<b>B</b> Ingresos de Monsanto/D&PL por hectárea (\$EE.UU.)	101,03	86,60	93,82
<b>C = B - A</b> Ingresos netos de Monsanto/D&PL por hectárea <sup>1</sup> (\$EE.UU.)	70,09	55,66	62,88
<b>D</b> Cambio en los beneficios de la explotación por hectárea (\$EE.UU.)	7,74	582,01	294,88
<b>E</b> Superficie con Bt en la Comarca Lagunera (ha)	4 500	8 000	6 250
<b>F = C × E</b> Ingresos netos totales de Monsanto/D&PL <sup>1</sup> (\$EE.UU.)	315 405	445 280	380 342
<b>G = D × E</b> Beneficios totales de los agricultores (\$EE.UU.)	34 830	4 656 080	2 345 455
<b>H = F + G</b> Beneficios <sup>1</sup> totales producidos (\$EE.UU.)	350 235	5 101 360	2 725 798
<b>I = F/H</b> Participación de Monsanto/D&PL en los beneficios <sup>1</sup> totales (porcentaje)	90	9	14
<b>J = G/H</b> Participación de los productores en los beneficios totales (porcentaje)	10	91	86

<sup>1</sup> El beneficio neto de Monsanto/D&PL se calculó sin incluir gastos administrativos y de ventas ni cualquier compensación a los agentes mexicanos de distribución de semillas.

Fuente: Traxler *et al.*, 2003.

casi 5 000 ha de tierra. De esta superficie total, entre 2 000 y 2 500 ha estaban dedicadas al algodón, lo que representaba alrededor del 12 por ciento de la superficie aldonera de la Comarca Lagunera. En 1997 se sembraron variedades Bt en el 52 por ciento de la superficie aldonera de la Comarca y, en 1998, en un 72 por ciento. Según los autores, el grupo de muestra era bastante representativo de los productores pequeños-medianos, pero probablemente estaban infrarrepresentados los grandes productores.

La diferencia entre los promedios de los rendimientos efectivos del algodón Bt y del convencional era de 165 kg/ha o el 11 por ciento aproximadamente, la cual es considerablemente inferior a la registrada en los demás países que figuran en el Cuadro 7. La diferencia de rendimientos varió mucho entre las dos temporadas de cultivo incluidas en la encuesta, de casi cero en 1997 a un 20 por ciento en 1998. Los autores observaron que 1997 fue un año de baja presión de plagas en la Comarca Lagunera. Los gastos en plaguicidas fueron un 77 por ciento más bajos para el algodón Bt que para el convencional y se hicieron menos pulverizaciones químicas. Los gastos

en semillas fueron casi tres veces más altos para el algodón Bt, lo que refleja un sobreprecio bastante alto por la tecnología. Por consiguiente, la diferencia media entre los beneficios de los dos años fue de 295 dólares /ha, pero varió de menos de 8 dólares en 1997 a 582 en 1998.

Traxler *et al.* (2003) calcularon la distribución de los beneficios económicos derivados del algodón Bt en la Comarca Lagunera entre los agricultores de la región y las empresas abastecedoras de dichas variedades, Monsanto y D&PL. En los años del estudio, los agricultores obtuvieron por término medio el 86 por ciento del beneficio total, frente al 14 por ciento que correspondió a los suministradores de germoplasma (Cuadro 10). Como se ha señalado ya, el aumento de los beneficios de los agricultores por hectárea fue muy diverso en los dos años, ya que varió de menos de 35 000 a casi 5 millones de dólares. Durante los dos años, se estima que se produjeron beneficios de casi 5,5 millones de dólares, la mayoría de ellos en el segundo año y que correspondieron en su mayor parte a los agricultores. En este cálculo, toda la cantidad atribuida a Monsanto y D&PL no puede considerarse realmente



un beneficio neto para las empresas, ya que no se incluyeron costos como los de distribución de semillas, administración y comercialización. Un beneficio de 1,5 millones de dólares obtenido de las ventas de semillas no es una gran suma para una empresa como Monsanto, que tiene unos beneficios anuales del orden de 5 490 millones de dólares. Las grandes fluctuaciones anuales se debieron sobre todo a la variabilidad en la infestación por plagas; en los años de fuerte presión de plagas, el algodón Bt presenta una notable ventaja con respecto a las variedades convencionales. Como México produce una pequeña parte del algodón mundial, no se registran efectos económicos generales en los precios y el bienestar del consumidor.

#### Sudáfrica

El algodón Bt fue el primer cultivo transgénico que se distribuyó comercialmente en el África subsahariana después de la entrada en vigor, en 1999, de la Ley sobre la modificación genética de los organismos de 1997. En 2002 se sembraron en Sudáfrica unas 30 000 ha de algodón Bt, 5 700 de las cuales en la zona de las llanuras de Makhathini de la provincia KwaZulu-Natal. Bennett, Morse e Ismael (2003) examinaron la experiencia de los pequeños productores algodoneiros con escasos recursos de las llanuras de Makhathini.

Vunisa Cotton es una empresa privada de las llanuras de Makhathini que suministra a los agricultores insumos para el cultivo del algodón (semillas, plaguicidas y créditos) y compra su producción. Bennett, Morse e Ismael (2003) utilizaron los registros de los distintos agricultores, mantenidos por Vunisa Cotton, para recoger datos sobre empleo de insumos, rendimientos, características de las explotaciones y otra información correspondientes a tres temporadas de cultivo a partir de la de 1998/99. Además, se hicieron entrevistas personales con una muestra aleatoria de pequeños productores en 1998/99 y 1999/2000, mientras que en 2000/01 se realizaron 32 entrevistas monográficas detalladas.

Los autores señalan que quienes adoptaron el algodón Bt se beneficiaron de unos rendimientos más altos (como consecuencia de la reducción de los daños causados por plagas), menor uso de plaguicidas y

menos empleo de mano de obra para las aplicaciones de éstos. Sus rendimientos fueron por término medio 264 kg/ha (65 por ciento) más elevados. La diferencia en los rendimientos fue particularmente grande en la mala temporada de la estación húmeda de 1999/2000, en la que ascendió al 85 por ciento. Quienes lo adoptaron utilizaron menos semillas por hectárea que quienes no lo hicieron, pero, al ser más altos los precios de las semillas Bt, sus gastos totales en semillas fueron un 89 por ciento más elevados. Se compensó esto con la reducción de los gastos en plaguicidas y mano de obra, por lo que los costos totales fueron sólo un 3 por ciento más altos por término medio para el algodón Bt. El aumento de los rendimientos con costos casi iguales hizo que los cultivadores del Bt alcanzaran beneficios netos 3 a 4 veces superiores a los productores convencionales en todas las temporadas de cultivo, siendo la diferencia especialmente grande en 1999/2000, en la que los productores convencionales perdieron dinero.

Los autores examinaron la dinámica de la adopción del Bt y la distribución de los beneficios según los tamaños de las explotaciones. En 1997/98, Vunisa Cotton centró intencionadamente la distribución del algodón Bt en unos pocos agricultores relativamente grandes. En 1998/99, primera temporada de cultivo de este estudio, aproximadamente el 10 por ciento de los pequeños productores de Makhathini habían adoptado el algodón Bt, mientras que en el segundo año fue el 25 por ciento y en el tercero, el 50 por ciento. Para la cuarta temporada, la de 2001/02, que no se incluyó en el análisis por limitaciones de datos, se estima que el 92 por ciento de los pequeños productores de algodón de la región habían adoptado la variedad Bt. Los autores señalan que, en la primera campaña, los productores mayores, más ancianos, varones y más ricos estuvieron más dispuestos a adoptar la variedad Bt, pero para la segunda y tercera, la cultivaron también agricultores menores de distintas edades y de ambos sexos. El análisis mostró que, con el algodón Bt, los márgenes de beneficio bruto por hectárea eran realmente mayores para los pequeños productores que para los mayores terratenientes.

#### RECUADRO 16

#### Costos de la no adopción del algodón Bt en el África occidental

En un estudio sobre cinco países productores de algodón del África occidental, Cabanilla, Abdoulaye y Sanders (2003) examinaron los beneficios económicos que podrían obtener los productores algodoneeros si se introducía la variedad Bt en la región. El algodón es una importante fuente de ingresos de exportación en estos países –Malí, Burkina Faso, Benin, Côte d'Ivoire y Senegal– y fuente de ingresos en metálico para millones de agricultores con escasos recursos. Dependiendo de la tasa de adopción y del aumento real de los rendimientos, los beneficios potenciales para el conjunto de estos países podrían variar de 21 a 205 millones de dólares EE.UU.

El análisis de Cabanilla, Abdoulaye y Sanders (2003) se basó en las semejanzas de estos países, en cuanto a poblaciones de plagas y utilización de productos químicos, con otros países en desarrollo en los que se ha introducido el algodón Bt. Las principales plagas de insectos en el África occidental son las orugas de la cápsula, que actualmente se combaten pulverizando hasta siete veces por campaña con insecticidas de amplio espectro, consistentes normalmente en una combinación de organofosfatos y piretroides. Como en otras regiones en las que se utilizan estos plaguicidas, se ha señalado resistencia de las plagas.

Dadas las condiciones actuales, los autores concluyen que el algodón Bt probablemente sería muy eficaz para combatir las plagas existentes en la región.

Los autores utilizaron la experiencia de otros países en desarrollo para indicar la gama de aumentos de rendimientos y reducciones de costos que podría entrañar la adopción del algodón Bt. Se utilizaron después estas hipótesis para calcular una gama de efectos económicos potenciales en los cinco países en distintas situaciones de adopción del Bt. En la situación hipotética más optimista (aumento de rendimientos del 45 por ciento y adopción del 100 por ciento), los beneficios netos de los agricultores de los cinco países aumentarían en 205 millones de dólares: Malí 67 millones, Burkina Faso 41 millones, Benin 52 millones, Côte d'Ivoire 38 millones y Senegal 7 millones. En la situación hipotética más pesimista (aumento de rendimientos del 10 por ciento y adopción del 30 por ciento), los beneficios totales se reducirían a 21 millones de dólares, distribuidos entre los cinco países en la misma proporción que en la situación anterior. Estos resultados equivalen a aumentos del 50-200 por ciento de los ingresos por hectárea en las explotaciones.

En 2003, el Gobierno de Burkina Faso emprendió la evaluación del algodón Bt en cooperación con Monsanto.

### Conclusiones

Se ha examinado en este capítulo la experiencia obtenida hasta la fecha en la utilización de variedades de cultivos transgénicos, especialmente el algodón Bt, en países en desarrollo. Se han obtenido los datos de estudios sobre las repercusiones económicas de la difusión del algodón Bt en Argentina, China, India, México y Sudáfrica, así como en los Estados Unidos. Se han examinado también otros datos sobre las repercusiones de la adopción de la soja TH en Argentina y los Estados Unidos. Del examen

de tales cultivos surgen algunas conclusiones generales, si bien hay que actuar con cautela al extrapolar de un cultivo o país a otro, de un plazo breve a otro largo y de una pequeña muestra de agricultores a todo un sector.

Los cultivos transgénicos han aportado grandes beneficios económicos a los agricultores en algunas zonas del mundo durante los últimos siete años. En varios casos, los ahorros por hectárea, especialmente gracias al algodón Bt, han sido notables en comparación con casi todas las demás innovaciones tecnológicas introducidas en los últimos decenios. Sin

embargo, incluso en los países en los que se ha dispuesto de productos transgénicos, las tasas de adopción han variado mucho según los entornos de producción, dependiendo de los condicionamientos específicos para la producción existentes en cada zona y de la disponibilidad de cultivares adecuados. Los cultivos transgénicos pueden ser útiles en determinadas circunstancias, pero no son la solución a todos los problemas.

La disponibilidad de cultivares transgénicos adecuados depende de la capacidad de investigación nacional y su accesibilidad para los pequeños agricultores depende siempre de la existencia de un sistema eficaz de entrega de insumos. Los agricultores de algunos países han podido aprovechar las innovaciones y las variedades de cultivos creadas para el mercado de América del Norte, pero, para gran parte del resto del mundo, será esencial el desarrollo de cultivares ecológicamente específicos y adaptados localmente. En todos los países en que los pequeños agricultores han adoptado el algodón transgénico, se dispone de un mecanismo de entrega de semillas que, en algunos casos, ha estado orientado específicamente a los pequeños agricultores. En la mayoría de los países han cumplido esta función las empresas nacionales de semillas en cooperación con una empresa transnacional y, en muchos casos, con el apoyo del gobierno nacional y de organizaciones de agricultores.

Las repercusiones económicas del algodón Bt dependen del marco reglamentario en que se introduce. En todos los casos estudiados, los países cuentan con un proceso de bioseguridad que aprueba la siembra comercial del algodón Bt. Es posible que los países que carecen de protocolos de bioseguridad o de la capacidad para aplicarlos de forma transparente, previsible y fiable no tengan acceso a las nuevas tecnologías. Un problema conexo es la posibilidad de que los agricultores de algunos países siembren cultivos transgénicos que no han sido evaluados ni aprobados por medio de procedimientos nacionales adecuados de bioseguridad. Es posible que tales cultivos hayan sido aprobados en un país vecino o sean variedades no autorizadas de un cultivo aprobado. En los casos en que un cultivo no haya sido aprobado por medio de una evaluación de

riesgos de bioseguridad que tenga en cuenta las condiciones agroecológicas locales, puede haber un riesgo mayor de perjuicios ambientales (véase el Capítulo 5). Además, es posible que las variedades no autorizadas no proporcionen a los agricultores la eficacia esperada en la lucha contra las plagas, lo que hará que se sigan necesitando plaguicidas químicos y exista un riesgo mayor de desarrollo de resistencia de las plagas (Pemsl, Waibel y Gutierrez, 2003).

Aunque en la mayoría de los casos los cultivos transgénicos se han distribuido por medio del sector privado, sus beneficios se han repartido ampliamente entre la industria, los agricultores y los consumidores finales. Esto indica que la posición de monopolio creada por la protección de la propiedad intelectual no conduce automáticamente a beneficios excesivos de la industria. Sin embargo, de los resultados del algodón Bt registrados en Argentina, se deduce que el equilibrio entre los derechos de propiedad intelectual de los suministradores de la tecnología y los medios financieros de los agricultores influye decisivamente en la adopción de los productos y, por lo tanto, en la cuantía y distribución de los beneficios. El caso de China demuestra que la intervención del sector público en la investigación y desarrollo y en la entrega del algodón transgénico puede contribuir a garantizar que los agricultores pobres tengan acceso a las nuevas tecnologías y participen debidamente de sus beneficios económicos.

Los efectos ambientales del algodón Bt han sido positivos. Prácticamente en todos los casos, el uso de insecticidas en el algodón Bt ha sido notablemente menor que en las variedades convencionales. Además, en lo relativo a la soja TH, el glifosato ha sustituido a herbicidas más tóxicos y persistentes y, en muchos casos, se ha reducido el laboreo en el cultivo de la soja TH y del algodón. Hasta la fecha no se han documentado consecuencias ambientales negativas en ningún entorno en el que se han generalizado cultivos transgénicos, si bien hace falta un seguimiento continuo.

Los datos de China (Pray y Huang, 2003), Argentina (Qaim y de Janvry, 2003), México (Traxler *et al.*, 2003) y Sudáfrica (Bennett, Morse e Ismael, 2003) indican que los pequeños agricultores no tienen más

dificultades que los grandes en la adopción de las nuevas tecnologías. En algunos casos, parece que los cultivos transgénicos simplifican los procesos de gestión lo que favorece a los agricultores menores.

Por lo tanto, la cuestión que se plantea no es si la biotecnología es capaz de beneficiar a los pequeños agricultores con escasos recursos, sino más bien cómo se puede aprovechar este potencial científico

para resolver los problemas agrícolas de los agricultores de países en desarrollo. La biotecnología entraña una gran promesa como nuevo instrumento científico para crear tecnologías agrícolas aplicadas. La tarea que debe realizarse actualmente es la de proyectar un sistema de información que centre este potencial en los problemas de los países en desarrollo.

## 5. Repercusiones de los cultivos transgénicos en la salud y el medio ambiente

Todavía no se dispone más que de los primeros datos científicos acerca de las repercusiones de la ingeniería genética en el medio ambiente y la salud. En este capítulo se hace un resumen del estado actual de los conocimientos científicos sobre los posibles riesgos para la salud y el medio ambiente (Recuadro 17) derivados de la ingeniería genética en la agricultura y la alimentación, al que sigue un examen de la función de los órganos internacionales de normalización en la armonización de los procedimientos de análisis de riesgos para estos productos (Recuadro 18). Los datos científicos presentados en este capítulo se basan en gran parte en un informe reciente del Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC) (2003)<sup>4</sup>. El informe del CIUC se basa en 50 evaluaciones científicas independientes realizadas por grupos autorizados de distintas partes del mundo, entre los que figuran la Comisión del Codex Alimentarius FAO/OMS, la Comisión Europea, la OCDE y las academias nacionales de ciencias de muchos países, como Australia, Brasil, China, Francia, India, los Estados Unidos y el Reino Unido. Además, este capítulo se basa en evaluaciones científicas realizadas recientemente por el Nuffield Council on Bioethics (2003 – al que se llamará en adelante Nuffield Council)<sup>5</sup>, el grupo de examen de la ciencia de la modificación

genética del Reino Unido, GM Science Review Panel (2003<sup>6</sup> y la Royal Society (2003)<sup>7</sup>. Estas evaluaciones no estaban disponibles cuando se preparó el informe del CIUC. Existe un consenso sustancial dentro de la comunidad científica sobre muchas de las principales cuestiones de seguridad relacionadas con los productos transgénicos, pero los científicos no están de acuerdo en algunos problemas y sigue habiendo lagunas en los conocimientos.

### Repercusiones relacionadas con la inocuidad de los alimentos

Los cultivos transgénicos actualmente disponibles y los alimentos de ellos derivados han sido considerados seguros para su consumo y los métodos utilizados para probar su inocuidad se han considerado apropiados. Estas conclusiones representan el consenso resultante de las pruebas científicas examinadas por el CIUC (2003) y están en consonancia con las opiniones de la OMS (2002). Para determinar si estos alimentos aumentan los riesgos para la salud humana, varias instituciones nacionales de normalización (entre otras, las de Argentina, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos y el Reino Unido) los han evaluado utilizando sus procedimientos nacionales de inocuidad de los alimentos (CIUC). Hasta la fecha no se han descubierto en ninguna parte del mundo efectos tóxicos

<sup>4</sup> El Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC) es una organización no gubernamental que representa a la comunidad científica internacional. Incluye como miembros a academias nacionales de las ciencias (101 miembros) y uniones científicas internacionales (27 miembros). Como el CIUC está en contacto con cientos de miles de científicos de todo el mundo, se le convoca frecuentemente para representar a la comunidad científica mundial.

<sup>5</sup> El Nuffield Council on Bioethics es una organización británica sin fines de lucro financiada por el Medical Research Council, la fundación Nuffield y Wellcome Trust.

<sup>6</sup> El GM Science Review Panel es un grupo establecido por el Gobierno del Reino Unido para realizar un examen imparcial y completo de los datos científicos relacionados con los cultivos modificados genéticamente.

<sup>7</sup> La Royal Society es una academia científica independiente del Reino Unido, dedicada a promover la excelencia en la ciencia.

## RECUADRO 17

## Naturaleza del riesgo y análisis de riesgos

El riesgo es parte integrante de la vida cotidiana. Ninguna actividad está exenta de riesgos. En algunos casos el no actuar entraña también riesgos. La agricultura, en todas sus formas, plantea riesgos para los agricultores, los consumidores y el medio ambiente. El análisis de riesgos consiste en tres etapas: evaluación del riesgo, gestión del riesgo y comunicación del riesgo. La evaluación del riesgo valora y compara las pruebas científicas sobre los riesgos en cuestión con los de otras actividades posibles. La gestión del riesgo –que elabora estrategias para prevenir y controlar los riesgos dentro de límites aceptables– se basa en la evaluación del riesgo y tiene en cuenta varios factores, como valores sociales y la economía. La comunicación del riesgo entraña un diálogo continuo entre los órganos normativos y el público acerca del riesgo y de las opciones para su gestión, a fin de que puedan adoptarse las decisiones apropiadas.

El riesgo suele definirse como «la probabilidad de un peligro». Un peligro, en cambio, es todo lo que cabe pensar que pueda causar perjuicio. El peligro no constituye un riesgo por sí mismo. Por ello, la evaluación del riesgo implica responder a las tres preguntas siguientes: ¿Qué podría ir mal? ¿Qué probabilidad hay de que ocurra? ¿Cuáles son las consecuencias? El riesgo asociado con cualquier acción depende de los tres elementos de la ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{peligro} \times \text{probabilidad} \times \text{consecuencias}$$

El concepto aparentemente sencillo de evaluación de riesgos es, de hecho, bastante complejo y se basa en un juicio, además de la ciencia. Se puede infraestimar el riesgo si no se identifican y caracterizan adecuadamente algunos peligros, si la probabilidad de que ocurra el peligro es mayor de lo previsto o si sus consecuencias son más graves que lo previsto. La probabilidad asociada con un peligro depende también, en parte, de la estrategia de gestión que se utiliza para controlarlo.

En la vida diaria, el riesgo significa cosas diferentes para personas diferentes, según sus características sociales, culturales y económicas. Es posible que las personas que luchan por sobrevivir acepten más riesgos que las que viven bien, si creen que con ello pueden mejorar su vida. Por otra parte, muchos agricultores pobres eligen sólo tecnologías de bajo riesgo porque trabajan en los límites de la supervivencia y no pueden permitirse afrontar riesgos. El riesgo significa también cosas diferentes para la misma persona en distintos momentos, según la situación y el problema concretos. Es más probable que una persona acepte los riesgos relacionados con actividades conocidas y elegidas libremente, incluso aunque sean grandes. En el análisis de riesgos, hay que tener en cuenta las siguientes preguntas: ¿Quién corre el riesgo y quién se beneficia? ¿Quién evalúa el peligro? ¿Quién decide qué riesgos son aceptables?

perjudiciales o nutricionalmente nocivos verificables resultantes del consumo de alimentos derivados de cultivos modificados genéticamente (GM Science Review Panel). Muchos millones de personas han consumido derivados de plantas modificadas genéticamente –principalmente maíz, soja y colza– sin que se hayan observado efectos adversos (CIUC).

Sin embargo, la falta de pruebas de efectos negativos no significa que los

nuevos alimentos transgénicos no entrañen ningún riesgo (CIUC, GM Science Review Panel). Los científicos reconocen que no se sabe lo suficiente sobre los efectos a largo plazo de tales alimentos (ni de la mayoría de los tradicionales). Será difícil detectar efectos a largo plazo porque hay muchos factores que desconciertan, tales como la variedad genética existente en los alimentos y problemas para evaluar los efectos de los alimentos enteros. Además, es posible que

## RECUADRO 18

**Normas internacionales para facilitar el comercio**

Las oportunidades para el comercio agrícola han aumentado considerablemente durante los últimos años como consecuencia de las reformas del comercio internacional realizadas en el ámbito de la Organización Mundial del Comercio (OMC). Estas reformas se centraron en gran medida en la reducción de los aranceles y las subvenciones en varios sectores. El Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (Acuerdo MSF) se adoptó también en el ámbito de la OMC en 1994 y entró en vigor en 1995. En él se establece que los países mantienen su derecho a asegurar que los alimentos y productos animales y vegetales que importan son inocuos y, al mismo tiempo, estipula que los países no deben utilizar sin necesidad medidas rigurosas como obstáculos al comercio encubiertos.

El Acuerdo MSF se ocupa especialmente de proteger la salud y la vida de los animales o preservar los vegetales de los riesgos resultantes de la entrada, radicación o propagación de plagas, enfermedades y organismos patógenos o portadores de enfermedades; proteger la vida y la salud de las personas y de los animales de los riesgos resultantes de la presencia de aditivos, contaminantes, toxinas u organismos patógenos en los productos alimenticios, las bebidas o los piensos; proteger la vida y la salud de las personas de los riesgos resultantes de

enfermedades propagadas por animales, vegetales o productos de ellos derivados, o de la entrada, radicación o propagación de plagas; y prevenir o limitar otros perjuicios resultantes de la entrada, radicación o propagación de plagas.

El Acuerdo MSF establece que los países deberán utilizar normas internacionales acordadas al establecer sus requisitos relativos a medidas sanitarias y fitosanitarias. Para alcanzar este objetivo, se señalan tres organismos internacionales de normalización: la Comisión del Codex Alimentarius en materia de inocuidad de los alimentos, la Oficina Internacional de Epizootias (OIE)<sup>1</sup> en materia de sanidad animal y la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) en materia de preservación de los vegetales. Utilizando las normas de esos organismos, los países pueden alcanzar el grado de protección necesario para salvaguardar la vida o la salud de las personas, los animales o las plantas. Los países pueden adoptar también medidas diferentes de las normas pero, en tales casos, dichas medidas deberán estar justificadas tecnológicamente y basadas en la evaluación de riesgos.

<sup>1</sup> Recibió después el nombre de Organización Mundial de Sanidad Animal, si bien se mantuvo la sigla OIE.

resulte más difícil evaluar otros alimentos transformados genéticamente que son más complejos y más nuevos y que con mayor probabilidad causan efectos no deseados. Los nuevos instrumentos de caracterización genética pueden ser útiles para examinar alimentos enteros a fin de determinar si se producen cambios no deseados en su composición (CIUC).

Las principales preocupaciones relativas a la inocuidad de los productos transgénicos y los alimentos de ellos derivados consisten en la posibilidad de un aumento de alérgenos, toxinas u otros compuestos

nocivos; la transferencia horizontal de genes, especialmente de genes resistentes a los antibióticos; y otros efectos no deseados (FAO/OMS, 2000). Muchas de estas preocupaciones se aplican también a variedades de plantas desarrolladas utilizando métodos convencionales de mejoramiento genético y cultivadas con prácticas agrícolas tradicionales (CIUC). Además de estas preocupaciones, hay beneficios directos e indirectos para la salud relacionados con los alimentos transgénicos que deberían evaluarse de forma más completa.

#### RECUADRO 19

#### Preocupaciones relativas a la salud y el medio ambiente en el fitomejoramiento convencional

Antes de la llegada de la ingeniería genética, el fitomejoramiento no era objeto de una notable reglamentación. Las normas sobre certificación de semillas garantizan la pureza y calidad de las mismas, pero se ha prestado poca atención a los posibles efectos sobre la inocuidad de los alimentos o el medio ambiente que pueden causar las nuevas variedades de plantas derivadas del mejoramiento convencional.

El fitomejoramiento convencional difiere considerablemente de la selección natural. Ésta crea sistemas biológicos con capacidad de adaptación; asegura el desarrollo de un organismo que contiene propiedades que lo adaptan a una diversidad de condiciones ambientales y garantizan la continuación de la especie. La selección artificial y el fitomejoramiento convencional rompen precisamente estos sistemas con capacidad de adaptación, creando combinaciones de genes que difícilmente sobrevivirían en la naturaleza.

El mejoramiento genético ha sido la causa de unos pocos casos de efectos negativos en la salud humana. En un caso se encontró que un cultivar de papas tenía niveles excesivos de toxinas naturalmente presentes; en otro, un cultivar de apio mejorado de forma convencional para aumentar su resistencia a los insectos causaba erupciones cutáneas

si se cosechaba sin guantes. Asimismo, los efectos que cultivos mejorados convencionalmente pueden causar en el medio ambiente o en variedades tradicionales de los agricultores no han dado lugar en general a controles reglamentarios, si bien algunas de las preocupaciones relacionadas con los cultivos transformados genéticamente son también aplicables a los convencionales.

La mayoría de los principales cultivos alimentarios del mundo no son originarios de sus principales zonas de producción, sino que proceden de unos pocos «centros de origen» distintos y han sido trasladados a nuevas zonas de producción por medio de la migración y el comercio. En todo el mundo se cultivan plantas muy domesticadas y la migración fuera de las zonas de cultivo sólo raramente ha causado algún problema grave. Incluso cuando se cultivan en su centro de origen, como las papas en América del Sur o el maíz en México, no se han establecido permanentemente híbridos entre especies cultivadas y silvestres. Hay varios informes sobre el flujo de genes entre plantas cultivadas y sus parientes silvestres, pero en general no se ha considerado que representen un problema.

*Fuente: DANIDA, 2002.*

#### Alérgenos y toxinas

La tecnología genética –lo mismo que el mejoramiento tradicional– puede incrementar o reducir la cantidad tanto de proteínas como de toxinas u otros compuestos nocivos presentes naturalmente en los alimentos. Los alimentos elaborados tradicionalmente no se suelen examinar para determinar estas sustancias, si bien se hallan en muchos casos naturalmente presentes y pueden resultar afectadas por el mejoramiento tradicional. Se desaconseja la utilización de genes de fuentes alérgicas conocidas en experimentos

de transformación y, si se encuentra que un producto transformado plantea un mayor riesgo de alergenidad, deberá interrumpirse su producción. Los alimentos modificados genéticamente que se hallan normalmente en el mercado han sido examinados para determinar si tienen niveles mayores de alérgenos y toxinas conocidas y no se ha encontrado ninguno que los tenga (CIUC). Los científicos están de acuerdo en que estos ensayos normalizados deben evaluarse y mejorarse continuamente y de que hay que actuar con cautela al evaluar todos los alimentos nuevos, incluidos los



derivados de cultivos transgénicos (CIUC, GM Science Review Panel).

### Resistencia a los antibióticos

La transferencia horizontal de genes y la resistencia a los antibióticos son una preocupación relacionada con la inocuidad de los alimentos porque muchos cultivos modificados genéticamente de la primera generación se crearon utilizando genes marcadores resistentes a los antibióticos. Si estos genes pudieran transferirse de un producto alimenticio a las células del cuerpo o a las bacterias del tracto gastrointestinal, se podrían desarrollar cepas de bacterias resistentes a los antibióticos, con consecuencias perjudiciales para la salud. Aunque los científicos creen que la probabilidad de la transferencia es extremadamente baja (GM Science Review Panel), un grupo de expertos de la FAO y la OMS (2000) y otros organismos han desaconsejado la utilización de genes resistentes a los antibióticos. Los investigadores han diseñado métodos para eliminar los marcadores resistentes a los antibióticos de las plantas sometidas a ingeniería genética (Recuadro 20).

### Otros cambios no intencionados

Es posible que se produzcan otros cambios no intencionados en la composición de los alimentos durante la mejora genética por medio del mejoramiento tradicional y/o la tecnología genética. Para determinar los cambios en nutrientes y toxicantes conocidos introducidos en los productos modificados genéticamente de forma programada, se utiliza el análisis químico. Pero los científicos reconocen que pueden necesitarse ensayos adicionales, ya que unas modificaciones genéticas más amplias, que entrañen transgenes múltiples, pueden acrecentar la probabilidad de otros efectos no deseados (CIUC, GM Science Review Panel).

### Beneficios potenciales de los alimentos transgénicos para a salud

Los científicos están de acuerdo en general en que la ingeniería genética puede ofrecer beneficios directos e indirectos para la salud de los consumidores (ICSU). Los beneficios directos pueden derivarse de la mejora de la calidad nutricional de los alimentos (por ejemplo, arroz dorado), la reducción de

la presencia de compuestos tóxicos (por ejemplo, mandioca con menos cianuro) y la disminución de alérgenos en determinados alimentos (por ejemplo, maní y trigo). No obstante, es necesario demostrar que, en los nuevos alimentos, están genéticamente expresados y nutricionalmente disponibles niveles nutricionalmente significativos de vitaminas y otros nutrientes y que no hay efectos no deseados (CIUC). Los beneficios indirectos para la salud pueden derivarse del menor uso de plaguicidas, la menor presencia de micotoxinas (causadas por insectos o enfermedades), la mayor disponibilidad de alimentos accesibles y la eliminación de compuestos tóxicos del suelo. Es preciso documentar mejor estos beneficios directos e indirectos (CIUC, GM Science Review Panel).

### Normas internacionales sobre el análisis de la inocuidad de los alimentos

La Comisión del Codex Alimentarius, en su 26° período de sesiones celebrado del 30 de junio al 7 de julio de 2003, adoptó acuerdos decisivos sobre principios para la evaluación de alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos (FAO/OMS, 2003a) y sobre directrices para la realización de la evaluación de la inocuidad de los alimentos derivados de plantas de ADN recombinante (FAO/OMS, 2003b) y de alimentos producidos utilizando microorganismos de ADN recombinante (FAO/OMS, 2003c). Se halla en examen un cuarto documento sobre el etiquetado.

Estas directrices del Codex indican que el proceso de evaluación de la inocuidad de un alimento transgénico debe realizarse comparándolo con su homólogo convencional, que generalmente se considera inocuo debido al largo historial de su uso, centrándose en la determinación de similitudes y diferencias entre ambos. Cuando se identifique un problema de inocuidad, debe caracterizarse el riesgo asociado al mismo a fin de determinar su relevancia para la salud humana. Se comienza esto con la descripción de los organismos huésped y donante y la caracterización de la modificación genética. La evaluación subsiguiente de la inocuidad

## RECUADRO 20

## Transformación de «genes limpios» en el CIMMYT

*Alessandro Pellegrineschi y David Hoisington<sup>1</sup>*

Desde la introducción de los cultivos modificados genéticamente, una parte de la sociedad civil ha expresado preocupación por los genes con resistencia a los antibióticos y a los herbicidas que se utilizan como marcadores seleccionables en el desarrollo de plantas transgénicas. Aducen los peligros potenciales ecológicos y para la salud, específicamente la evolución de «supermalezas» a partir de la resistencia a los herbicidas y la creación de resistencia a los antibióticos en los patógenos humanos. Aunque la mayoría de los científicos consideran que estas preocupaciones son en gran parte infundadas y ningún peligro se ha materializado realmente, el desarrollo de transgénicos exentos de genes marcadores ayudaría a eliminar tales preocupaciones y podría contribuir a la aceptación pública de cultivos transgénicos (Zuo *et al.*, 2002).

Se han publicado varios métodos para crear plantas transformadas que no lleven genes marcadores, por ejemplo, la cotransformación (Stahl *et al.*, 2002), elementos transponibles (Rommens *et al.*, 1992), recombinación específica del lugar (Corneille *et al.*, 2001) y recombinación intracromosomal (De Vetten *et al.*, 2003). El Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT) se dedica a proporcionar a los agricultores con pocos recursos de países en desarrollo las mejores opciones para aplicar sistemas sostenibles de producción de maíz y trigo. El CIMMYT considera que, aunque los cultivos modificados genéticamente no resolverán todos los problemas de los

agricultores, la tecnología tiene un gran potencial y debería evaluarse.

Científicos del CIMMYT han puesto a punto y adaptado una técnica de transformación para el maíz y el trigo que permite producir plantas modificadas genéticamente que no llevan genes marcadores seleccionables. Con esta técnica, se introducen y se integran separadamente en el genoma dos fragmentos de ADN, uno de los cuales contiene un gen marcador seleccionable y el otro, el gen que interesa. Durante el proceso de selección, estos genes se separan el uno del otro, permitiendo seleccionar plantas que tengan sólo el gen que interesa. Científicos del CIMMYT ensayaron esta técnica sencilla utilizando el gen seleccionable *bar* y los genes *Bt*, *Cry1Ab* y *Cry1Ba*, y consiguieron con éxito plantas sin gen marcador seleccionable, pero con el gen *Bt* y que expresaban altos niveles de toxina *Bt*. Las plantas transgénicas no se podían distinguir morfológicamente de las no transformadas y el rasgo introducido se heredaba de forma estable en las generaciones siguientes.

En colaboración con el Kenya National Agricultural Institute y la Syngenta Foundation for Sustainable Agriculture, se está intentando ahora transferir estos «elementos limpios» a variedades locales de maíz de Kenya, para proporcionar a los agricultores con pocos recursos otra posibilidad de combatir los insectos de la forma que mejor conocen, la semilla que siembran. Se está empleando un método semejante para fortalecer otros rasgos importantes, como la tolerancia al estrés abiótico y el contenido de micronutrientes. La mejora de la tolerancia al estrés, especialmente al de la sequía, beneficiaría directamente a los agricultores y las plantas bioenriquecidas podrían ejercer un efecto importante en la salud de los niños de países en desarrollo.

<sup>1</sup> Los autores son, respectivamente, Biólogo celular y Director del Centro de Biotecnología Aplicada del CIMMYT en México.

deberá tener en cuenta factores como la toxicidad, las tendencias a provocar una reacción alérgica (alergenicidad), los efectos del cambio en la composición de nutrientes (antinutrientes) fundamentales y metabolitos, la estabilidad del gen insertado y la modificación nutricional asociada con la modificación genética. Si, después de una evaluación completa de estos factores, se concluye que el alimento modificado genéticamente en cuestión es tan inocuo como su homólogo convencional, se considera que es adecuado para el consumo.

Las críticas de este método comparativo consisten en que se necesitan métodos no orientados específicamente que analicen el contenido de los alimentos completos para evaluar tanto los efectos intencionales como los no intencionales (CIUC). Los científicos están de acuerdo en general en que los alimentos transgénicos deben evaluarse caso por caso, centrándose en el producto en sí y no en el proceso mediante el cual fue creado. Están también de acuerdo en que es preciso evaluar la inocuidad de los alimentos modificados genéticamente antes de que salgan al mercado, debido a que el seguimiento posterior en el mercado será probablemente difícil, costoso y tal vez no produzca datos útiles a causa de la composición compleja de las dietas y la variabilidad genética de las poblaciones (CIUC).

### Principios para el análisis de riesgos de alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos

En los Principios se toma la definición de biotecnología moderna del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, y se incluyen principios sobre la evaluación de riesgos, gestión de riesgos y comunicación de riesgos. Se reconoce en ellos que los métodos de análisis de riesgos, utilizados para abordar peligros químicos relacionados con sustancias como residuos de plaguicidas, contaminantes, aditivos alimentarios y coadyuvantes de elaboración, son difíciles de aplicar a los alimentos enteros. Se aclara que el análisis de riesgos incluye una evaluación de la inocuidad para determinar si existe un peligro o preocupación nutricional de otra índole en cuanto a la inocuidad y, en caso

afirmativo, reunir información sobre su carácter y gravedad. Se refleja en ellos el concepto de equivalencia sustancial en virtud del cual la evaluación de la inocuidad debe incluir una comparación entre el alimento obtenido por medios biotecnológicos modernos y su homólogo convencional, pero no limitarse a ella. La comparación debe determinar similitudes y diferencias entre ambos. La evaluación de la inocuidad debe a) tomar en consideración tanto los efectos intencionales como los no intencionales, b) identificar los peligros nuevos o alterados y c) identificar los cambios de interés para la salud humana que se producen en los nutrientes claves. La evaluación de la inocuidad deberá realizarse caso por caso.

Las medidas de gestión de riesgos deben ser proporcionales al riesgo. Deberán tener en cuenta, cuando sea pertinente, «otros factores legítimos» de conformidad con las decisiones generales de la Comisión del Codex y los Principios de aplicación práctica del Codex para el análisis de riesgos (FAO/OMS, 2003d). Diferentes medidas de gestión de riesgos pueden permitir alcanzar el mismo objetivo. Los encargados de la gestión de riesgos deben tener en cuenta las incertidumbres identificadas en la evaluación de éstos y tomar medidas apropiadas para controlarlas. Las medidas de gestión de riesgos pueden incluir el etiquetado de alimentos, las condiciones para aprobar su comercialización, la vigilancia tras la puesta en el mercado y la elaboración de métodos para detectar o identificar alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos. El rastreo de los productos puede ser también útil para la buena aplicación de las medidas de gestión de riesgos.

Los principios sobre comunicación de riesgos se basan en la premisa de que una comunicación de riesgos eficaz es esencial en todas las fases de la evaluación y gestión de los riesgos. Se trata de un proceso interactivo que estimula el asesoramiento y la participación de todas las partes interesadas. Los procesos deben ser transparentes, completamente documentados y abiertos a la opinión pública, respetando a la vez las preocupaciones legítimas por salvaguardar el carácter confidencial de la información comercial e industrial. Los informes sobre evaluaciones de inocuidad y otros aspectos del proceso de adopción de decisiones deben

### RECUADRO 21

#### Cultivos modificados genéticamente para la alimentación de animales

Se utilizan como piensos muchos cultivos modificados genéticamente, productos derivados de ellos y enzimas derivadas de microorganismos modificados genéticamente. Se estima que el volumen del mercado mundial de piensos asciende a unos 600 millones de toneladas. Se utilizan piensos compuestos principalmente para las aves de corral, cerdos y vacas lecheras y se preparan con una amplia gama de materias primas, como maíz y otros cereales, y semillas oleaginosas como soja y nabina. Se estima que actualmente se cultiva con variedades modificadas genéticamente el 51 por ciento de la superficie mundial dedicada a la soja, el 12 por ciento de la dedicada a la nabina y el 9 por ciento de la dedicada al maíz (utilizado como maíz entero y subproductos como el pienso de gluten de maíz) (James, 2002a).

Las evaluaciones de la inocuidad de los nuevos piensos para el ganado que se realizan en Canadá, los Estados Unidos y otros lugares estudian las características moleculares, de composición, toxicológicas y nutricionales de estos productos en comparación con sus homólogos convencionales. Se tienen en cuenta, entre otras cosas, los efectos en el animal que ingiere el pienso, en los consumidores que comen el producto pecuario resultante, la seguridad del trabajador y otros aspectos ambientales de la utilización de los piensos. Además, en muchos estudios se han hecho comparaciones de la composición nutricional y la salubridad de los piensos que contienen productos

transgénicos con las de los componentes convencionales.

Las principales preocupaciones en relación con el empleo de productos modificados genéticamente en los piensos son si el ADN modificado de una planta puede transferirse a la cadena alimentaria sin consecuencias nocivas y si los genes marcadores resistentes a los antibióticos, que se utilizan en el proceso de transformación, pueden transferirse a las bacterias del animal y, consiguientemente, a bacterias patógenas humanas. Como el proceso de producción de las enzimas utilizadas en los piensos se realiza en condiciones controladas en instalaciones con tanques de fermentación cerrados y se elimina el ADN modificado de los productos finales, estos productos no entrañan ningún riesgo para los animales o el medio ambiente. La enzima fitasa aporta beneficios especiales en la alimentación de cerdos y aves de corral, entre ellos, una notable reducción de la cantidad de fósforo que se libera al medio ambiente.

Los investigadores han examinado los efectos que la elaboración de los piensos causa en el ADN para averiguar si el ADN modificado se mantiene intacto y se introduce en la cadena alimentaria. Se ha determinado que el ADN no se fragmenta en medida notable en el material vegetal crudo y en el ensilaje, sino que se mantiene parcial o completamente intacto. Esto significa que, si se suministran cultivos modificados genéticamente a los animales, éstos probablemente comerán el ADN modificado. Para considerar si el

estar a disposición del público. Deberán crearse procesos de consulta responsable.

#### Directrices para la realización de la evaluación de la inocuidad de los alimentos obtenidos de plantas de ADN recombinante

Las Directrices para la realización de la evaluación de la inocuidad de los alimentos obtenidos de plantas de ADN recombinante fueron aprobadas también en el 26º

período de sesiones de la Comisión del Codex Alimentarius (julio de 2003). Tienen por objeto apoyar los principios para el análisis de riesgos de alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos. Se describe en ellas el método recomendado para hacer una evaluación de la inocuidad de los alimentos obtenidos de plantas de ADN recombinante en los casos en que existe un producto homólogo convencional. Se define el homólogo convencional como «una

ADN modificado o las proteínas derivadas consumidos por los animales tienen el potencial de afectar a la salud del animal o entrar en la cadena alimentaria, es necesario tener en cuenta el destino de estas moléculas dentro del animal. La digestión de los ácidos nucleicos (ADN y ácido ribonucleico, ARN) se produce mediante la acción de nucleasas presentes en la boca, páncreas y secreciones intestinales. En los rumiantes, se produce una degradación física y microbiana adicional. Las pruebas indican que más del 95 por ciento de ADN y ARN se deshace completamente dentro del sistema digestivo. Además, investigaciones realizadas sobre la digestión de proteínas transgénicas en cultivo *in vitro* han demostrado que se produce una digestión casi completa en cinco minutos en presencia de la enzima digestiva pepsina.

Es también causa de preocupación la posibilidad de que la resistencia a los antibióticos se transfiera de los genes marcadores utilizados en la producción de plantas modificadas genéticamente a microorganismos presentes en los animales y, por tanto, a bacterias patógenas para los seres humanos. En un examen encargado por la FAO se ha llegado a la conclusión de que es muy improbable que esto ocurra. No obstante, la conclusión de dicho documento es que, en la producción de plantas transgénicas, no se deben utilizar marcadores que codifican la resistencia a antibióticos de importancia clínica y decisivos para tratar enfermedades infecciosas humanas.

MacKenzie y McLean (2002) examinaron 15 estudios de alimentación de vacas lecheras, vacuno para carne, cerdos y pollos, publicados entre 1995 y 2001. Los piensos estudiados eran maíz y soja resistentes a insectos y/o herbicidas. Se alimentó a los animales con un producto transgénico o convencional durante períodos que variaron de 35 días para las aves de corral a dos años para el vacuno de carne. Ninguno de estos estudios encontró efectos nocivos en los animales alimentados con productos transgénicos con respecto a ninguno de los parámetros medidos, que incluían la composición de nutrientes, peso corporal, ingestión de piensos, conversión del pienso, producción de leche, composición de la leche, fermentación en el rumen, rendimiento de crecimiento o características de la canal. En dos de los estudios se encontraron ligeras mejoras en las tasas de conversión del pienso en los animales alimentados con maíz resistente a los insectos, lo que posiblemente se debió a concentraciones menores de aflatoxinas, antinutrientes que se derivan de daños causados por insectos.

En resumen, se puede concluir que son insignificantes los riesgos para la salud humana y de los animales que pueda causar el uso como piensos de cultivos modificados genéticamente y enzimas derivadas de microorganismos modificados genéticamente. No obstante, algunos países exigen que se indique en la etiqueta la presencia de material modificado genéticamente en las importaciones de sus productos derivados.

variedad afín cuya inocuidad está establecida por la experiencia de su uso común como alimento». Las técnicas que se describen en las Directrices pueden aplicarse a alimentos derivados de plantas que han sido alteradas mediante otras técnicas distintas de los medios biotecnológicos modernos.

Las Directrices ofrecen una introducción y motivación de la evaluación de la inocuidad de los alimentos derivados de plantas de ADN recombinante, y establecen distinciones

entre esta evaluación y la evaluación de riesgos toxicológicos convencional de compuestos individuales, que se basa en estudios sobre animales. «La finalidad de la evaluación de inocuidad es llegar a una conclusión con respecto a si el nuevo alimento es tan inocuo como el homólogo convencional con el que se le compara, y no menos nutritivo que él.» Las Directrices indican que la equivalencia sustancial no es, por sí misma, una evaluación de la

inocuidad, sino que representa un punto de partida para estructurar la evaluación de la inocuidad de un alimento nuevo en relación con su homólogo convencional. Se emplea para determinar analogías y diferencias entre el alimento nuevo y el producto homólogo convencional. Se evalúa después la inocuidad de las diferencias identificadas, teniendo en cuenta los efectos no intencionales derivados de la modificación genética. Los encargados de la gestión del riesgo determinan esto y elaboran medidas para la gestión de los riesgos, según proceda.

#### Directrices para la evaluación de la inocuidad de los alimentos producidos utilizando microorganismos de ADN recombinante

Estas Directrices tienen también por objeto facilitar orientaciones sobre el procedimiento de evaluación de la inocuidad de alimentos producidos utilizando microorganismos de ADN recombinante, basándose en el marco de evaluación de riesgos establecido en los Principios. Lo interesante en el caso de los microorganismos de ADN recombinante es que se recomienda la comparación no sólo entre ellos y sus homólogos (microorganismos) convencionales, sino también entre los alimentos producidos utilizándolos y los alimentos originales.

#### Texto del Codex en examen sobre el etiquetado de alimentos modificados genéticamente

Además de los principios y directrices citados, se halla todavía en examen el Proyecto de recomendaciones para el etiquetado de alimentos obtenidos por medio de determinadas tecnologías de modificación genética (FAO/OMS, 2003e), muchas de cuyas secciones se escriben todavía entre corchetes, lo que significa que no se ha acordado su texto. La finalidad de las directrices es su aplicación para el etiquetado de alimentos e ingredientes de los alimentos en tres situaciones, cuando: (1) sean significativamente diferentes de los homólogos convencionales; (2) contengan o estén compuestos de un organismo modificado genéticamente/sometido a la ingeniería genética o contengan proteína o ADN proveniente de la tecnología de genes; y (3) se produzcan a partir de, pero no contengan, organismos modificados

genéticamente/sometidos a ingeniería genética, proteína o ADN proveniente de la tecnología genética.

Según el CIUC, los científicos no están plenamente de acuerdo sobre la función apropiada del etiquetado. Aunque el etiquetado obligatorio se utiliza tradicionalmente para ayudar a los consumidores a identificar alimentos que pueden contener alérgenos u otras sustancias potencialmente peligrosas, no se utilizan las etiquetas para ayudar al consumidor que desee seleccionar determinados alimentos basándose en su modo de producción, o en motivos ambientales (por ejemplo, orgánicos), éticos (por ejemplo, comercio equitativo) o religiosos (por ejemplo, *kosher*). Son diferentes los tipos de información de etiquetado que los países exigen o permiten. Según el CIUC, «el etiquetado de los alimentos como modificados o no modificados genéticamente puede permitir al consumidor hacer una elección en cuanto al proceso por el que se produce el alimento, pero no facilita ninguna información sobre el contenido de los alimentos ni sobre si existen riesgos y/o beneficios asociados con determinados alimentos». El CIUC sugiere que un etiquetado de los alimentos más informativo, que explique el tipo de transformación y cualesquiera cambios de composición resultantes, podría permitir a los consumidores evaluar los riesgos y beneficios de determinados alimentos. (En el Capítulo 6 se trata más ampliamente el tema del etiquetado.)

#### Repercusiones ambientales

Cualquier tipo de agricultura –de subsistencia, orgánica o intensiva– influye en el medio ambiente, por lo que cabe esperar que también influyan en él las nuevas técnicas genéticas empleadas en la agricultura. El CIUC, el GM Science Review Panel y el Nuffield Council, entre otros, están de acuerdo en que las repercusiones ambientales de los cultivos transformados genéticamente pueden ser positivas o negativas según la forma y el lugar en que se empleen. La ingeniería genética puede acelerar los efectos perjudiciales de la agricultura o contribuir a la aplicación de prácticas agrícolas más sostenibles y a la conservación de los recursos

naturales, incluida la biodiversidad. Se resumen a continuación las preocupaciones ambientales relacionadas con los cultivos transgénicos, junto con el estado actual de los conocimientos científicos al respecto.

Los cultivos transgénicos pueden producir en el medio ambiente efectos directos tales como la transferencia de genes a pariente silvestres o a cultivos convencionales, la propagación de malezas, efectos de rasgos en especies no objetivo y otros efectos no intencionales. Estos riesgos son semejantes para los cultivos transgénicos y para los mejorados convencionalmente (CIUC). Aunque difieren las opiniones de los científicos sobre estos riesgos, hay acuerdo en que es preciso evaluar los efectos ambientales caso por caso y recomiendan el seguimiento ecológico después de la utilización de tales cultivos para detectar efectos no previstos (CIUC, Nuffield Council, GM Science Review Panel). Los cultivos transgénicos pueden entrañar también efectos indirectos positivos o negativos en el medio ambiente, causados por los cambios en las prácticas agrícolas, especialmente las relativas al empleo de plaguicidas y herbicidas, o en los sistemas de cultivo.

Los árboles transgénicos son objeto de preocupaciones ambientales análogas, si bien entrañan otras adicionales debido a su largo ciclo vital. Los microorganismos transgénicos se usan normalmente en la elaboración de alimentos en condiciones limitadas y no suelen considerarse un riesgo para el medio ambiente. Algunos microorganismos pueden utilizarse en el medio ambiente como agentes de lucha biológica o para la eliminación de daños ambientales por medios biológicos (por ejemplo, derrames de petróleo), y sus efectos ambientales deberán evaluarse antes de su utilización. Las preocupaciones ambientales relacionadas con los peces transgénicos se centran principalmente en su potencial de reproducirse con sus parientes silvestres y competir con ellos (CIUC). Es probable que los animales de granja transgénicos se utilicen en condiciones muy controladas, por lo que plantean pocos riesgos ambientales (NRC, 2003) (Recuadro 22).

### Flujo de genes

Los científicos están de acuerdo en que el flujo de genes desde cultivos

modificados genéticamente es posible mediante el cruzamiento de variedades de polinización libre con cultivos locales o parientes silvestres. Como el flujo de genes se ha producido durante milenios entre las variedades originales y los cultivos mejorados convencionalmente, cabe prever razonablemente que ocurra también con los cultivos transgénicos. La tendencia de los cultivos a la exogamia varía y la capacidad de exogamia de un cultivo depende de la presencia de parientes silvestres sexualmente compatibles, lo que varía según el lugar (Recuadro 23) (CIUC, GM Science Review Panel).

Los científicos no están plenamente de acuerdo en si el flujo de genes entre cultivos transgénicos y sus parientes silvestres tiene importancia en sí mismo y por sí mismo (CIUC, GM Science Review Panel). Si un híbrido transgénico/silvestre resultante tuviera alguna ventaja competitiva sobre la población silvestre, podría persistir en el medio ambiente y trastornar el ecosistema. Según el informe del GM Science Review Panel, la hibridación entre cultivos transgénicos y sus parientes silvestres parece «con toda probabilidad transferir genes que son ventajosos en entornos agrícolas, pero no prosperará en el entorno silvestre ... Además, ningún híbrido entre ningún cultivo y sus parientes silvestres ha llegado nunca a ser invasor en el entorno silvestre en el Reino Unido» (GM Science Review Panel, 2003).

Se debate si el flujo, en otros casos benigno, de transgenes a variedades originales o a otras variedades convencionales constituya por sí mismo un problema ambiental, ya que los cultivos convencionales han interactuado de esta forma con las variedades originales durante mucho tiempo (CIUC). Se necesitan investigaciones para evaluar mejor las consecuencias ambientales del flujo de genes, especialmente a largo plazo, y para comprender mejor el flujo de genes entre los principales cultivos alimentarios y las variedades originarias en centros de diversidad (CIUC, GM Science Review Panel).

El carácter de maleza se refiere a la situación en que una planta cultivada o su híbrido llega a establecerse como mala hierba en otros campos o como especie invasora en otros hábitats. Los científicos están de acuerdo en que hay solamente

## RECUADRO 22

### Preocupaciones ambientales relacionadas con los animales modificados genéticamente

Actualmente no se utilizan animales modificados genéticamente en la agricultura comercial en ninguna parte del mundo (Capítulo 2), pero se están investigando varias especies ganaderas y acuáticas para determinar una variedad de rasgos transgénicos. Recientemente han realizado estudios sobre preocupaciones ambientales potenciales relacionadas con los animales modificados genéticamente el National Research Council (NRC, 2002) de los Estados Unidos, la Agriculture and Environment Biotechnology Commission del Reino Unido (AEBC, 2002) y la Pew Initiative on Food and Biotechnology (Pew Initiative, 2003). Estos estudios concluyen que los animales modificados genéticamente pueden tener efectos positivos o negativos en el medio ambiente según el animal, el rasgo y el entorno de producción en que se introduzcan. Las principales preocupaciones ambientales relacionadas con los animales son:

a) la posibilidad de que los animales transgénicos escapen, con los consiguientes efectos negativos en los parientes silvestres o los ecosistemas, y b) cambios potenciales en las prácticas de producción que pueden causar distintos grados de tensiones ambientales. Estos informes recomiendan que se evalúen los animales modificados genéticamente en relación con sus homólogos convencionales.

Los tres estudios están de acuerdo en que es preciso que se evalúe la capacidad de los animales transgénicos de escapar y llegar a establecerse en entornos diferentes. Los estudios del NRC y la AEBC están de acuerdo en que son menos probables los efectos ambientales perjudiciales en las razas de ganado que en los peces, debido a que las especies de animales de granja no tienen parientes silvestres y su reproducción se controla en las granjas y hatos. El peligro de que se hagan salvajes es escaso en lo que respecta al vacuno, ovino y aves domésticas, que son menos móviles y están muy domesticados, pero es mayor en los caballos, camellos, conejos, perros y animales de laboratorio (ratas y ratones). Se sabe que cabras, cerdos y gatos no transgénicos se han vuelto salvajes y han causado graves daños a comunidades ecológicas (NRC, 2002). Los animales de granja transgénicos serían muy valiosos y, por ello, se conservarían en ambientes controlados cuidadosamente. En cambio, los peces de la acuicultura son naturalmente móviles y se cruzan fácilmente con especies silvestres. El informe de la AEBC recomienda que no se críen peces transgénicos en jaulas en alta mar debido a la elevada probabilidad de que escapen. El estudio de la Pew Initiative señala que los efectos de

un riesgo muy bajo de que los cultivos domesticados se conviertan en malas hierbas debido a que los rasgos que los vuelven indeseables como cultivos en muchos casos los hacen menos aptos para sobrevivir y reproducirse en forma silvestre (CIUC, GM Science Review Panel). Las malas hierbas que forman híbridos con cultivos resistentes a herbicidas tienen el potencial de adquirir el rasgo de tolerancia al herbicida, si bien esto les dará una ventaja solamente en presencia del herbicida (CIUC, GM Review Panel). Según el GM Science Review Panel, «experimentos detallados de campo con varios cultivos modificados genéticamente

en una serie de entornos han demostrado que los rasgos transgénicos investigados –tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos– no aumentan sensiblemente la capacidad de las plantas en hábitats seminaturales» (GM Science Review Panel, 2003). Algunos rasgos transgénicos, como la resistencia a plagas o enfermedades, pueden proporcionar una ventaja de aptitud, pero hay pocas pruebas hasta ahora de que esto ocurra o que tenga consecuencias ambientales negativas (CIUC, GM Science Review Panel). Se necesitan más pruebas acerca del efecto que los rasgos que fortalecen la aptitud producen en la



los peces que escapan de las zonas de acuicultura, sean transgénicos o criados convencionalmente, dependen de su «aptitud neta» en comparación con la de las especies silvestres. Señalan que los rasgos genéticos pueden aumentar o reducir la aptitud neta de las especies cultivadas y recomiendan que se evalúen cuidadosamente los peces transgénicos y se regulen de forma integrada y transparente.

Los animales transgénicos podrían causar también efectos ambientales mediante cambios en los mismos animales o en las prácticas de gestión animal. Las modificaciones transgénicas podrían reducir la cantidad de estiércol y emisiones de metano que producen las especies ganaderas y acuícolas (AEBC, 2002; Pew Initiative, 2003) o incrementar su resistencia a las enfermedades (permitiendo utilizar menos antibióticos). Por otra parte, algunas modificaciones genéticas podrían permitir una producción ganadera más intensiva con el correspondiente incremento de los contaminantes ambientales. Por tanto, el problema del peligro ambiental es menos una cuestión de tecnología en cuanto tal que de capacidad para gestionarla.

Otro factor que debe tenerse en cuenta en relación con la biotecnología ganadera es el de los posibles efectos en el bienestar

de los animales, los cuales pueden ser positivos o negativos y deberán evaluarse en comparación con las prácticas de gestión ganadera convencionales (AEBC, 2002). Actualmente, la producción de animales transgénicos y clonados es muy ineficiente pues entraña una elevada mortalidad durante el desarrollo embrional inicial y tasas de éxito de sólo el 1-3 por ciento. De los animales transgénicos nacidos, es posible que los genes insertados no funcionen como se esperaba, lo que frecuentemente da lugar a anomalías anatómicas, fisiológicas y de comportamiento (NRC, 2002). El vacuno producido por métodos de clonación tiende a tener períodos de gestación más largos y mayor peso al nacer, lo que da lugar a una tasa mayor de nacimientos por parto cesáreo (NRC, 2002; AEBC, 2002). Estos problemas pueden plantearse también con animales reproducidos utilizando inseminación artificial/ovulación múltiple y trasplante de embriones (IA/OMTE) y deben evaluarse en el contexto de otras tecnologías de reproducción empleadas en la ganadería (AEBC, 2002). El informe de la AEBC recomienda asimismo que se evalúen los efectos potenciales de todas las tecnologías ganaderas en el bienestar de los animales, teniendo en cuenta consideraciones económicas y ambientales.

tendencia a la invasión (GM Science Review Panel).

Se están diseñando métodos de gestión y genéticos para reducir al mínimo la posibilidad del flujo de genes. Actualmente no se puede aplicar en la práctica el aislamiento completo de los cultivos producidos a escala comercial, ya sean o no modificados genéticamente, si bien se puede reducir al mínimo el flujo de genes, como se hace actualmente entre las variedades de colza cultivadas para la alimentación, piensos o aceites industriales (GM Science Review Panel). Entre las estrategias de gestión figuran la de evitar la siembra de cultivos

transgénicos en sus centros de biodiversidad o donde hay parientes silvestres, o utilizar zonas tampón para aislar las variedades transgénicas de las convencionales u orgánicas. Se puede aprovechar la ingeniería genética para alterar los períodos de floración a fin de evitar la polinización cruzada o asegurar que los transgenes no se incorporen en el polen, y para desarrollar variedades transgénicas estériles (CIUC y Nuffield Council). El GM Science Review Panel y otros órganos de expertos recomiendan que los cultivos modificados genéticamente, que producen sustancias médicas o industriales, se proyecten y

## RECUADRO 23

## Opinión de un ecologista sobre el flujo de genes de cultivos transgénicos

Allison A. Snow<sup>1</sup>

La mayoría de los científicos ecológicos están de acuerdo en que el flujo de genes no es un problema ambiental a menos que provoque consecuencias no deseables. A corto plazo, la difusión de la resistencia transgénica a los herbicidas por medio del flujo de genes puede crear problemas logísticos y/o económicos a los productores. A largo plazo, los transgenes que mayor probabilidad tienen de ayudar a las malas hierbas o de perjudicar a especies no objetivo, son los que confieren resistencia a las plagas y al estrés ambiental y/o incrementan la producción de semillas. Sin embargo, estos resultados no parecen probables para la mayoría de las plantas transgénicas cultivadas actualmente. Muchos rasgos transgénicos son probablemente inocuos desde el punto de vista ambiental y algunos podrían conducir a prácticas agrícolas más sostenibles. Es fundamental que los biólogos moleculares, los fitomejoradores y la industria perfeccionen sus conocimientos sobre cuestiones ecológicas y de evolución relacionadas con

la seguridad de las nuevas generaciones de cultivos transgénicos.

La presencia de parientes silvestres y de malas hierbas varía según los países y regiones. En el gráfico se ofrecen ejemplos de los cultivos principales, agrupados por su capacidad de dispersar polen y por la presencia de parientes silvestres, en los Estados Unidos continentales. Esta sencilla matriz de 2 por 2 puede ser útil para identificar casos en los que es probable un flujo de genes de un cultivo transgénico a un pariente silvestre. En cultivos de los que no hay ningún pariente silvestre o malas hierbas que crezcan en las cercanías, como la soja, el algodón o el maíz que se indican en color verde, no se produciría el flujo de genes al pariente silvestre. El arroz, sorgo y trigo tienen parientes silvestres en los Estados Unidos y muestran una tendencia relativamente baja a la exogamia, que permitiría a los transgenes dispersarse a las poblaciones silvestres. Los cultivos que tienen una elevada tendencia a la exogamia y tienen parientes silvestres en los Estados Unidos se indican en rojo. Hay muchas posibilidades de flujo de genes entre estos cultivos y sus parientes silvestres, por lo que deberán cultivarse con cuidado las variedades transgénicas que puedan conferir una ventaja competitiva sobre sus híbridos.

<sup>1</sup> El Dr. Snow es Profesor del Departamento de Evolución, Ecología y Biología de los Organismos de la Universidad del Estado de Ohio, Columbus, Ohio, Estados Unidos.

		PARIENTES DE MALAS HIERBAS COMPATIBLES CERCANOS	
		NO	SÍ
POTENCIAL DE EXOGAMIA	BAJO	SOJA	ARROZ SORGO TRIGO
	ELEVADO	ALGODÓN MAÍZ	GIRASOL BRASICÉAS ZANAHORIAS CALABAZA RÁBANO ÁLAMO

cultiven de forma que se evite el flujo de genes a los cultivos alimentarios o de piensos (GM Science Review Panel).

### Efectos de algunos rasgos en especies no objetivo

Algunos rasgos transgénicos –como las toxinas plaguicidas expresadas por los genes Bt– pueden afectar a especies no objetivo además de a las plagas que se tratan de combatir (CIUC). Los científicos convienen en que puede ocurrir esto, pero no hay acuerdo sobre la medida de su probabilidad (CIUC, GM Science Review Panel). La controversia sobre la mariposa monarca (Recuadro 24) demostró que es difícil extrapolar de estudios de laboratorio a condiciones de campo. Estudios de campo han demostrado algunas diferencias en la estructura de la comunidad microbiana del suelo entre los cultivos Bt y los no Bt, pero tales diferencias se hallan dentro del margen normal de variación que se encuentra entre cultivares del mismo cultivo y no proporcionan pruebas convincentes de que los cultivos Bt puedan dañar la salud del suelo a largo plazo (GM Science Review Panel). Aunque hasta ahora no se han observado sobre el terreno efectos perjudiciales importantes en fauna y flora silvestres no objetivo o en la salud del suelo, los científicos no están de acuerdo sobre cuántas pruebas se necesitan para demostrar que la producción de cultivos Bt es sostenible a largo plazo (GM Science Review Panel). Están de acuerdo en que es preciso vigilar los posibles efectos en especies no objetivo y compararlos con los efectos de otras prácticas agrícolas actuales, como el uso de plaguicidas químicos (GM Science Review Panel). Reconocen que hace falta elaborar mejores métodos para estudios ecológicos sobre el terreno, incluyendo mejores datos de referencia con los que poder comparar los nuevos cultivos (CIUC).

### Efectos indirectos sobre el medio ambiente

Los cultivos transgénicos pueden ejercer efectos ambientales indirectos como consecuencia del cambio de prácticas agrícolas o ambientales asociadas con las nuevas variedades. Estos efectos indirectos pueden ser favorables o perjudiciales según la naturaleza de los cambios en cuestión (CIUC, GM Science Review Panel).

Los científicos están de acuerdo en que el empleo de plaguicidas y herbicidas agrícolas convencionales ha perjudicado a los hábitats de aves de tierras de labranza, plantas silvestres e insectos y ha reducido gravemente sus poblaciones (CIUC, GM Science Review Panel, Royal Society). Los cultivos transgénicos están cambiando las modalidades de aprovechamiento de la tierra y empleo de productos químicos, así como las prácticas de explotación agrícola, pero los científicos no están plenamente de acuerdo en si el efecto neto de estos cambios será positivo o negativo para el medio ambiente (CIUC). Reconocen que se necesitan más análisis comparativos de las nuevas tecnologías y las actuales prácticas agrícolas.

### Empleo de plaguicidas

Hay acuerdo entre los científicos en que el empleo de cultivos transgénicos Bt resistentes a los insectos está reduciendo el volumen y la frecuencia del empleo de plaguicidas en el maíz, algodón y soja (CIUC). Estos resultados han sido especialmente significativos con respecto al algodón en los Estados Unidos, México, China, Australia y Sudáfrica (Capítulo 4). Entre los beneficios ambientales cabe señalar una menor contaminación del suministro de agua y menores daños a insectos no objetivo (CIUC). La reducción del empleo de plaguicidas indica que los cultivos Bt beneficiarían en general a la biodiversidad dentro del cultivo en comparación con los tradicionales que reciben aplicaciones periódicas de plaguicidas de amplio espectro, si bien tales beneficios disminuirían si se necesitaran aplicaciones complementarias de insecticidas (GM Review Panel). Se han documentado en China (Pray *et al.*, 2002) y Sudáfrica (Bennett, Morse e Ismael, 2003) beneficios demostrables para la salud de los trabajadores agrícolas derivados la reducción de las pulverizaciones de plaguicidas químicos en el algodón.

### Empleo de herbicidas

El empleo de herbicidas está cambiando como consecuencia de la rápida adopción de cultivos TH (CIUC). Se ha producido un cambio notable, del empleo de plaguicidas más tóxicos a menos tóxicos, pero la utilización total de herbicidas ha aumentado (Traxler, 2004). Los científicos están de acuerdo en que los cultivos TH requieren

## RECUADRO 24

**¿El maíz Bt mata a las mariposas monarca?**

John Losey, un entomólogo de la Cornell University, publicó un documento de investigación en la revista científica *Nature* que parecía demostrar que el polen del maíz Bt mataba a las mariposas monarca (Losey, Rayor y Carter, 1999). Losey y sus colegas descubrieron en el laboratorio que, si se dispersaba polen de una variedad comercial de maíz Bt sobre hojas de la mala hierba asclepia y se alimentaba con ellas a orugas de mariposa monarca, éstas morían.

Seis equipos independientes de investigadores realizaron estudios de seguimiento sobre los efectos del polen de maíz Bt en las orugas de mariposa monarca, los cuales se publicaron en 2001 en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Aunque estos estudios coincidían en admitir que el polen utilizado en el estudio original era tóxico en dosis elevadas, determinaban que el polen de maíz Bt constituía un riesgo insignificante para las larvas de monarca en condiciones de campo. Basaban su conclusión en cuatro hechos: a) la toxina Bt se expresa en niveles bastante bajos en el polen de la mayoría de las variedades comerciales de

maíz Bt, b) el maíz y la asclepia (alimento normal de las orugas de mariposa monarca) no se encuentran generalmente juntos en el campo, c) los períodos en que la difusión del polen de maíz en el campo coincide con la actividad de la larva de la mariposa monarca son limitados y d) la cantidad de polen que probablemente se consumirá en condiciones de campo no es tóxica. Estos estudios concluyeron que el riesgo de que el polen del maíz Bt perjudique a las orugas de mariposa monarca es muy pequeño, especialmente en comparación con otras amenazas como los plaguicidas convencionales y la sequía (Conner, Glare y Nap, 2003).

Muchos científicos ven con frustración la forma en que se tratan en la prensa asuntos como la controversia sobre la mariposa monarca y otras cuestiones relacionadas con la biotecnología. Mientras el estudio original sobre la mariposa monarca recibió una atención mundial en los medios de difusión, los estudios de seguimiento que lo refutaron no recibieron la misma cobertura. Por ello, mucha gente no sabe que el maíz Bt representa un riesgo mínimo para la mariposa monarca (Pew Initiative, 2002a).

menos laboreo, lo que entraña beneficios para la conservación del suelo (CIUC). Podría haber también beneficios potenciales para la biodiversidad si el empleo selectivo de herbicidas permitiera a algunas malas hierbas aparecer y mantenerse durante más tiempo en los campos de los agricultores, proporcionando así hábitat para las aves de tierras de labranza y otras especies, si bien estos beneficios son teóricos y no se han demostrado sólidamente con ensayos de campo hasta la fecha (GM Science Review Panel). Sin embargo, existe también la preocupación de que un posible aumento del empleo de herbicidas –incluso de los que son menos tóxicos– seguiría erosionando los hábitats de las aves de tierras de labranza y otras especies (CIUC). La Royal Society ha publicado los resultados de numerosos estudios hechos en explotaciones agrícolas

para evaluar los efectos que los cultivos transgénicos TH de maíz, colza de primavera (nabina) y remolacha azucarera causan en la biodiversidad en el Reino Unido. Estos estudios señalan que el efecto principal de tales cultivos en comparación con las prácticas convencionales se ejerció sobre la vegetación de malas hierbas, con los consiguientes efectos sobre los herbívoros, polinizadores y otras poblaciones que se alimentan de ellas. Estos grupos resultaron afectados negativamente en el caso de la remolacha azucarera transgénica TH, positivamente en el caso del maíz y no resultaron afectados en el caso de la colza de primavera. Se concluyó que la comercialización de estos cultivos produciría toda una gama de impactos sobre la biodiversidad en las tierras agrícolas, dependiendo de la eficacia relativa de los regímenes de herbicidas transgénicos y

convencionales y del grado de protección que otorguen los campos circundantes (Royal Society, 2003). Los científicos reconocen que no hay pruebas suficientes para predecir cuáles serán los efectos a largo plazo de los cultivos transgénicos TH sobre las poblaciones de malas hierbas y sobre la correspondiente biodiversidad dentro del cultivo (GM Science Review Panel).

#### *Resistencia de las plagas y malas hierbas*

Los científicos convienen en que la amplia utilización a largo plazo de cultivos Bt y de los herbicidas glifosato y glufosinato, asociados con los cultivos TH, puede fomentar el desarrollo de plagas de insectos y malas hierbas resistentes (CIUC, GM Science Review Panel). Accidentes de este tipo se han producido periódicamente con los cultivos y plaguicidas convencionales y, aunque la protección que ofrecen los genes Bt resulta elevada, no hay ninguna razón para suponer que no se desarrollen plagas resistentes (GM Science Review Panel). En todo el mundo, más de 120 especies de malas hierbas han desarrollado resistencia a los herbicidas utilizados predominantemente con cultivos TH, si bien la resistencia no está necesariamente asociada a las variedades transgénicas (CIUC, GM Science Review Panel). Dado que, si se utilizan en exceso el Bt y glifosato y glufosinato, cabe prever que se desarrollen plantas y malas hierbas resistentes, los científicos aconsejan que se aplique una estrategia de gestión de la resistencia cuando se siembran cultivos transgénicos, pero no están de acuerdo sobre la forma de aplicarla eficazmente, especialmente en los países en desarrollo (CIUC). La medida y la posible gravedad de los efectos de las plagas o malezas resistentes sobre el medio ambiente son objeto de debate (GM Science Review Panel).

#### *Tolerancia al estrés abiótico*

Como se ha indicado en el Capítulo 2, se están poniendo a punto nuevos cultivos transgénicos con tolerancia a varios estreses abióticos (por ejemplo, sal, sequía, aluminio), que pueden permitir a muchos agricultores cultivar suelos baldíos. Los científicos están de acuerdo en que estos cultivos pueden ser beneficiosos o perjudiciales para el medio ambiente según el cultivo y el rasgo y ambiente (CIUC).

### **Evaluación de las repercusiones ambientales**

Hay un amplio consenso en que las repercusiones ambientales de los cultivos transgénicos y otros organismos vivos modificados (por ejemplo, semillas transgénicas) debe evaluarse utilizando procedimientos de evaluación de riesgos de base científica y caso por caso, según la especie, rasgo y agroecosistema de que se trate. Los científicos concuerdan también en que la liberación en el medio ambiente de organismos transgénicos debe compararse con otras prácticas agrícolas y opciones de tecnología (CIUC y Nuffield Council).

Existen procedimientos válidos de evaluación de la inocuidad de los alimentos y la Comisión del Codex Alimentarius FAO/OMS ofrece un foro internacional para la elaboración de directrices de inocuidad de los alimentos relativas a los alimentos transgénicos. En cambio, no hay directrices y normas internacionalmente acordadas para evaluar el impacto ambiental de los organismos transgénicos (CIUC). Los científicos están de acuerdo en que hacen falta metodologías y normas armonizadas internacional y regionalmente para evaluar el impacto ambiental en diferentes ecosistemas (CIUC; FAO, 2004). A continuación se describe la función de los organismos internacionales de normalización para proporcionar orientaciones relativas al análisis de riesgos.

Según el CIUC, los órganos normativos de los distintos países suelen exigir tipos análogos de datos para la evaluación del impacto ambiental, pero difieren en su interpretación de tales datos y en la determinación de lo que constituye un riesgo o peligro ambiental. Los científicos difieren también sobre cuál debe ser la base apropiada para la comparación: con los actuales sistemas agrícolas y/o con datos ecológicos de referencia (CIUC). Una consulta de expertos de la FAO (2004) acordó que los efectos de la agricultura en el medio ambiente son mucho mayores que los efectos mensurables del cambio de la producción de cultivos convencionales a la de transgénicos, por lo que la base de comparación es importante.

Tampoco hay acuerdo entre los científicos sobre el valor de las pruebas de laboratorio

y de campo en pequeña escala y su extrapolación a efectos en gran escala, ni queda claro si los métodos de elaboración de modelos que incorporan datos de sistemas de información geográfica serán útiles para predecir los efectos de los organismos vivos modificados (OVM) en diferentes ecosistemas (CIUC). La comunidad científica recomienda más investigaciones sobre los efectos subsiguientes a la homologación de los cultivos transgénicos. También se necesita un seguimiento orientado más específicamente después de la homologación del cultivo y mejores metodologías para dicho seguimiento (CIUC; FAO, 2004).

### Acuerdos e instituciones internacionales sobre el medio ambiente

Varios acuerdos e instituciones internacionales son pertinentes para los aspectos ambientales de algunos productos transgénicos, especialmente el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. Se describen a continuación las funciones y disposiciones de estos instrumentos.

#### El Convenio sobre la Diversidad Biológica y el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica

La mayor parte de las medidas del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992) se centran en la conservación de los ecosistemas. Sin embargo, dos aspectos relativos a la conservación de la diversidad biológica son pertinentes para la bioseguridad: la gestión de los riesgos asociados con los organismos vivos modificados (OVM) como resultado de la biotecnología y la gestión de los riesgos asociados con especies exóticas.

En el contexto de las medidas de conservación *in-situ*, según estipula el Convenio, las partes contratantes «... establecerán o mantendrán medios

para regular, administrar o controlar los riesgos derivados de la utilización y la liberación de organismos vivos modificados como resultado de la biotecnología que es probable tengan repercusiones adversas que puedan afectar a la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica...». Esta disposición supera el ámbito de aplicación general del Convenio en cuanto exige también que se tengan en cuenta riesgos para la salud humana.

El Convenio establece que las partes contratantes tengan la obligación de impedir la introducción de especies exóticas y de controlar o erradicar las especies exóticas que amenacen los ecosistemas, hábitats o especies. Se consideran especies exóticas invasoras las especies introducidas deliberada o no deliberadamente fuera de sus hábitats naturales, en los casos en que tengan la capacidad para establecerse, invadir, sustituir a las nativas y apoderarse del nuevo entorno.

El Protocolo de Cartagena (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000) fue aprobado por el CDB en septiembre de 2000 y entró en vigor en septiembre de 2003. El objetivo del Protocolo es contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la tecnología moderna. Se consideran también los riesgos para la salud humana. El Protocolo es aplicable a todos los OVM, pero no a los productos farmacéuticos destinados a los seres humanos que ya están contemplados en otros acuerdos u organizaciones internacionales pertinentes.

El Protocolo establece un Procedimiento de acuerdo fundamentado previo para los OVM destinados a su introducción deliberada en el medio ambiente que puedan tener efectos adversos para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica. El procedimiento exige, antes de la primera introducción deliberada en el medio ambiente de la parte de importación:

- una notificación de la parte de exportación que contenga determinada información;
- el acuse de recibo de la notificación, y
- el consentimiento por escrito de la parte de importación.

Están exentas del acuerdo fundamentado previo cuatro categorías de OVM: los OVM en tránsito, los OVM para uso confinado, los OVM incluidos en una decisión adoptada por la Conferencia de las Partes/Reunión de las Partes, en la que se declare que no es probable que tengan efectos adversos para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica, y los OVM destinados para uso directo como alimento humano o animal o para elaboración.

Con respecto a los OVM que pueden ser objeto de un movimiento transfronterizo para uso directo como alimento humano o animal o para elaboración, en el Artículo 11, se exige que una parte que haya adoptado una decisión definitiva en relación con el uso nacional, incluida su colocación en el mercado, informe al respecto a todas las partes, por conducto del Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología, establecido en virtud del Protocolo. La notificación deberá incluir la información mínima exigida en el Anexo II. Una parte contratante podrá adoptar una decisión sobre la importación con arreglo a su marco reglamentario nacional que sea compatible con el objetivo del Protocolo. Una parte que sea país en desarrollo o con economía en transición, podrá declarar, en ausencia de un marco reglamentario nacional, por conducto del Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología, que su decisión anterior a la primera importación de un OVM destinado para uso directo como alimento humano o animal, o para elaboración, se adoptará de conformidad con una evaluación del riesgo. En ambos casos, el hecho de que no tenga certeza científica por falta de información y conocimientos pertinentes suficientes sobre la magnitud de los posibles efectos adversos no impedirá a esa parte contratante de importación adoptar una decisión, según proceda, a fin de evitar o reducir al mínimo los posibles efectos adversos.

Se exigen la evaluación de riesgos y la gestión de riesgos tanto para los casos del acuerdo fundamentado previo como para los del Artículo 11. La evaluación de los riesgos debe ajustarse a los criterios enumerados en el anexo. En principio, deberá ser realizada

por las autoridades nacionales competentes en la adopción de decisiones. Podrá exigirse al exportador que realice la evaluación. La parte de importación podrá exigir al notificante que pague la evaluación del riesgo.

El Protocolo especifica medidas y criterios generales de gestión de riesgos. Toda medida basada en la evaluación de riesgos deberá ser proporcional a los riesgos identificados. Deberán adoptarse medidas para reducir al mínimo la probabilidad de un movimiento transfronterizo involuntario de OVM. Deberá notificarse a los estados afectados o potencialmente afectados cuando su presencia puede dar lugar a un movimiento transfronterizo involuntario.

El Protocolo contiene también disposiciones sobre la manipulación, envasado y transporte de los OVM (Artículo 18). En particular, cada parte contratante deberá adoptar medidas para exigir que la documentación que acompaña a:

- a) los OVM destinados a uso directo como alimento humano o animal, o para elaboración, identifique claramente que «pueden llegar a contener» OVM y «que no están destinados para su introducción intencional en el medio», así como un punto de contacto para solicitar información adicional;
- b) los OVM destinados para uso confinado, los identifique claramente como OVM y especifique los requisitos para su manipulación, almacenamiento, transporte y uso seguros, así como un punto de contacto para obtener más información y las señas de la persona a que se envían;
- c) los OVM destinados a su introducción intencional en el medio ambiente de la parte de importación, los identifique claramente como OVM y especifique la identidad y los rasgos/características pertinentes, los requisitos para su manipulación, almacenamiento, transporte y uso seguros, el punto de contacto para obtener más información, el nombre y la dirección del importador y el exportador y una declaración de que el movimiento se efectúa de conformidad con las disposiciones del Protocolo aplicables al exportador.

Se prevé en el Protocolo un intercambio de

información mediante el establecimiento de un Centro de Intercambio de Información sobre la Seguridad de la Biotecnología. La finalidad de este Centro es facilitar el intercambio de información y experiencia en relación con los OVM y prestar asistencia a las partes en la aplicación del Protocolo. Con arreglo al párrafo 2 del Artículo 20, facilitará también el acceso a otros mecanismos internacionales de intercambio de información sobre seguridad de la biotecnología. La información que debe facilitarse a dicho Centro incluye la relativa a leyes, reglamentos y directrices nacionales existentes para la aplicación del Protocolo, así como la requerida por las Partes para el acuerdo fundamentado previo, acuerdos y arreglos bilaterales, regionales y multilaterales incluidos en el contexto del Protocolo, resúmenes de sus evaluaciones del riesgo y decisiones definitivas.

La participación del público se trata específicamente en el Artículo 23. Las partes:

- a) fomentarán y facilitarán la concienciación, educación y participación del público relativas a la seguridad de la transferencia, manipulación y utilización de los OVM;
- b) procurarán asegurar que la concienciación y educación del público incluyan el acceso a la información sobre los OVM identificados por el Protocolo que puedan ser importados;
- c) celebrarán consultas con el público en el proceso de adopción de decisiones sobre los OVM y darán a conocer al público los resultados de esas decisiones, de conformidad con sus leyes y reglamentaciones nacionales.

En estas actividades deberá respetarse la información confidencial.

En la adopción de decisiones, las partes podrán tener en cuenta las consideraciones socioeconómicas resultantes de los efectos de los OVM para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, especialmente en relación con el valor que la diversidad biológica tiene para las comunidades indígenas y locales. Se alienta a las partes a cooperar en la esfera del intercambio de información e investigación sobre los efectos socioeconómicos de los OVM. En la primera reunión de las partes en el Protocolo se debería establecer un proceso para establecer normas relativas

a la responsabilidad y compensación por daños resultantes de los movimientos transfronterizos de OVM.

### La CIPF y los organismos vivos modificados

La finalidad de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) es actuar eficaz y conjuntamente para prevenir la diseminación e introducción de plagas de plantas y productos vegetales y promover medidas apropiadas para combatirlas. Aunque la CIPF se ocupa del comercio de plantas y productos vegetales, no se limita a este aspecto. El ámbito de aplicación de la CIPF se extiende a la protección de la flora silvestre, además de la cultivada, y abarca los daños tanto directos como indirectos causados por plagas, incluidas las malas hierbas. La CIPF desempeña una importante función en la conservación de la biodiversidad vegetal y en la protección de los recursos naturales. Por lo tanto, las normas elaboradas en el ámbito de la CIPF son también aplicables a elementos fundamentales del CDB, incluidas la prevención y mitigación de los efectos de especies exóticas invasoras, y del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad de la Tecnología. Como consecuencia de ello, el CDB, la FAO y la CIPF han establecido una estrecha relación de colaboración, que se ha ampliado en particular a la inclusión de las preocupaciones del CDB en la elaboración de nuevas normas internacionales para medidas fitosanitarias (NIMF).

Las NIMF elaboradas bajo los auspicios de la CIPF proporcionan a los países directrices internacionalmente acordadas sobre medidas para proteger la vida o la salud de las plantas contra la introducción y propagación de plagas o enfermedades. Una de las normas más importantes elaboradas en el ámbito de la CIPF es la N° 11, *Análisis de riesgo de plagas para plagas cuarentenarias* (FAO, 2001b), aprobada por la Comisión Interina de Medidas Fitosanitarias (CIMF) en su tercera reunión celebrada en 2001. Además, la CIMF, en su quinta reunión celebrada en 2003, aprobó un suplemento a la NIMF N° 11 para tratar los riesgos relativos al medio ambiente, con el fin de tener en cuenta las preocupaciones del CDB, especialmente con respecto a especies exóticas invasoras. Recientemente, la CIPF ha redactado otro



suplemento a la NIMF N° 11 para tratar el análisis de riesgos de plagas en los OVM<sup>8</sup>.

Este proyecto de norma ha sido objeto de amplias consultas y exámenes técnicos a lo largo de su elaboración. A petición de la CIMF, en septiembre de 2001, se convocó un grupo de trabajo de expertos de composición abierta, que incluía expertos designados por los gobiernos de países desarrollados y en desarrollo y expertos representantes de los intereses tanto de la protección vegetal como del medio ambiente, con el fin de examinar la elaboración de esta norma y la necesidad de ofrecer orientaciones detalladas sobre la realización de análisis de riesgos para afrontar los efectos potenciales de los OVM en la salud de las plantas, atendiendo especialmente las necesidades de los países en desarrollo.

El grupo de trabajo consideró que los riesgos fitosanitarios potenciales de los OVM que sería necesario tener en cuenta en un análisis de riesgos de plagas son, entre otros (FAO/2002b):

- Los cambios en las características de adaptación que pueden incrementar el posible carácter de invasor, incluyendo, por ejemplo: la tolerancia de las plantas a la sequía; la tolerancia de las plantas a los herbicidas; las alteraciones en la biología reproductiva; la capacidad de dispersión de las plagas; la resistencia de las plagas; y la resistencia a los plaguicidas.
- El flujo de genes, incluyendo, por ejemplo: la transferencia de genes de resistencia a herbicidas a especies compatibles; el potencial de superar las actuales barreras de reproducción y recombinación.
- El potencial de afectar perjudicialmente a organismos no objetivo, incluyendo, por ejemplo: cambios en la gama de huéspedes de los agentes de lucha biológica u organismos que se cree son beneficiosos; y los efectos en otros organismos como los agentes de lucha

biológica, organismos beneficiosos y microflora del suelo, que causan un impacto fitosanitario (efectos indirectos).

- La posibilidad de propiedades fitopatógenas, incluyendo, por ejemplo: riesgos fitosanitarios planteados por nuevos rasgos en organismos no considerados normalmente un riesgo fitosanitario; casos de fortalecimiento de la recombinación de virus, transencapsulación y sinergia relacionados con la presencia de secuencias de virus; y riesgos fitosanitarios asociados con secuencias de ácido nucleico (marcadores, promotores, terminadores, etc.) presentes en el inserto.

Posteriormente, un pequeño grupo, integrado por expertos del CDB/Protocolo de Cartagena y en protección fitosanitaria, se reunió para preparar un proyecto de norma que ofrecería directrices generales sobre la realización de análisis de riesgos de plagas en relación con los mencionados riesgos fitosanitarios potenciales. En el proceso de elaboración de la norma, el grupo de trabajo señaló varias cuestiones importantes con respecto al ámbito de aplicación de la CIPF y los riesgos fitosanitarios potenciales de los OVM. En particular, señaló que, mientras algunos tipos de OVM requerirían un análisis de riesgos de plagas debido a que podrían presentar riesgos fitosanitarios, muchas otras categorías de OVM no plantean riesgos fitosanitarios, especialmente algunas características modificadas como el período de maduración o el tiempo de conservación. Asimismo, se subrayó que el análisis del riesgo de plagas se referiría sólo a los riesgos fitosanitarios de los OVM, pero que tal vez sería también necesario tener en cuenta otros riesgos potenciales (por ejemplo, los problemas para la salud humana de los productos alimenticios). Se indicó también que los mencionados riesgos fitosanitarios potenciales podrían estar también asociados con cultivos que no son OVM o han sido mejorados convencionalmente. Se reconoció que los procedimientos de análisis de riesgos de la CIPF se ocupan en general de características fenotípicas y no de características genotípicas, y se observó que podría ser necesario examinar estas últimas al evaluar los riesgos fitosanitarios de los OVM.

El Comité de Normas ha examinado el

<sup>8</sup> En el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, se define organismo vivo modificado como «cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna» (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000).

proyecto de norma y lo ha distribuido a todos los miembros para que lo examinaran e hicieran observaciones. En noviembre de 2003, el Comité de Normas examinó las observaciones sobre el proyecto de normas recibidas de los países. Se modificó el proyecto de norma teniendo en cuenta las observaciones recibidas y se sometió a la CIMF en su sexto período de sesiones de abril de 2004, para que apruebe la norma.

## Conclusiones

Hasta ahora, en los países donde se han producido cultivos transgénicos, no ha habido ningún informe verificable de que causen algún peligro importante para la salud o el medio ambiente. Las mariposas monarca no han sido exterminadas. Las plagas no han desarrollado resistencia al Bt. Han aparecido algunas pruebas de malas hierbas tolerantes a los herbicidas, pero éstas no han invadido ecosistemas agrícolas o naturales. Por el contrario, se están viendo algunos beneficios sociales y ambientales importantes. Los agricultores están empleando menos plaguicidas y están sustituyendo productos químicos tóxicos con otros menos nocivos. Como consecuencia de ello, los trabajadores agrícolas y los suministros de agua están protegidos de los venenos, y aves e insectos benéficos están volviendo a los campos de los agricultores.

Entretanto, la ciencia avanza rápidamente. Algunos de los problemas planteados por la primera generación de cultivos transgénicos tienen soluciones técnicas. Las nuevas técnicas de transformación genética están eliminando los genes marcadores antibióticos y los genes promotores que eran objeto de preocupación para algunos. Las variedades que incluyen dos genes Bt diferentes reducen la probabilidad de que las plagas desarrollen resistencia. Se están elaborando estrategias de gestión y técnicas genéticas para evitar el flujo de genes.

No obstante, el hecho de que hasta ahora no se hayan observado efectos negativos no significa que no puedan ocurrir, y los científicos están de acuerdo en que los conocimientos sobre los procesos ecológicos y de inocuidad de los alimentos son incompletos. Queda aún mucho por conocer. No puede asegurarse la inocuidad completa

y los sistemas reglamentarios y las personas que los administran no son perfectos. ¿Cómo se ha de proceder a falta de una certeza científica? El GM Science Review Panel (pág. 25) sostiene que:

*Existe claramente la necesidad de que la comunidad científica investigue más en varios sectores, las compañías elijan bien en lo relativo a la proyectación de transgenes y plantas huésped y se elaboren productos que satisfagan deseos más amplios de la sociedad. Por último, el sistema de reglamentación... deberá seguir actuando de forma que se determine el grado de riesgo e incertidumbre, se conozcan las características distintivas de la modificación genética, las diferentes perspectivas científicas y las correspondientes lagunas en los conocimientos, y se tengan en cuenta el contexto y la referencia del mejoramiento genético convencional.*

El Nuffield Council (pág. 44) recomienda que «a la evaluación de riesgos se apliquen las mismas normas que a las plantas y alimentos modificados y no modificados genéticamente, y que los riesgos de no actuar reciban el mismo análisis atento que los riesgos de la actuación...». Concluye además (pág. 45):

*No adoptamos la opinión de que haya pruebas suficientes de peligro actual o potencial que justifiquen en este momento una moratoria de la investigación, de los ensayos de campo o de la liberación controlada de cultivos modificados genéticamente en el medio ambiente. Por ello, recomendamos que se mantenga la investigación sobre cultivos modificados genéticamente, regida por una aplicación razonable del principio de precaución.*

La Declaración de la FAO sobre Biotecnología (FAO, 2000b) apunta en la misma dirección:

*La FAO apoya un sistema de evaluación de base científica que determine objetivamente los beneficios y riesgos de cada OMG. Para ello hay que adoptar un procedimiento prudente caso por caso para afrontar las preocupaciones legítimas por la bioseguridad de cada producto o proceso antes de su homologación. Es necesario evaluar los posibles efectos en la biodiversidad, el medio ambiente y la inocuidad de los alimentos, y la medida en que los beneficios del producto o proceso compensan los riesgos calculados. El proceso de evaluación deberá tener en cuenta la experiencia adquirida por las autoridades nacionales de normalización*

*al aprobar tales productos. También es imprescindible un atento seguimiento de los efectos de estos productos y procesos después de su homologación a fin de asegurar que sigan siendo inocuos para los seres humanos, los animales y el medio ambiente.*

La ciencia no puede declarar que una tecnología está completamente exenta de

riesgos. Los cultivos sometidos a ingeniería genética pueden reducir algunos riesgos ambientales asociados con la agricultura convencional, pero también introducirá nuevos desafíos que hay que afrontar. La sociedad tendrá que decidir cuándo y dónde la ingeniería genética es suficientemente segura.

## 6. Posiciones de la opinión pública con respecto a la biotecnología agrícola

Las actitudes del público con respecto a la biotecnología serán muy importantes para determinar la amplitud de la adopción de las técnicas de ingeniería genética en la alimentación y la agricultura. Se ha estudiado ampliamente la opinión pública en Europa y América del Norte, pero no tanto en otros países, y los datos comparables internacionalmente son muy limitados. En este capítulo se examinan los estudios sobre opinión pública comparables realizados con mayor amplitud hasta ahora acerca de la biotecnología agrícola (Hoban, 2004). Se concluye con un examen de la posible función del etiquetado para atender diversas actitudes del público con respecto a los alimentos transgénicos.

No es sorprendente que las actitudes del público respecto de la biotecnología agrícola difieran mucho según los países, ya que la población europea expresa generalmente opiniones más negativas que la de las Américas, Asia y Oceanía. Las actitudes se relacionan generalmente con los niveles de ingresos, siendo las de la población de los países más pobres más positivas que las de los más ricos, si bien hay excepciones a esta norma. Aunque algunos estudios no son muy precisos (por ejemplo, utilizan frecuentemente los términos «biotecnología» e «ingeniería genética» de forma intercambiable, véase el Recuadro 25), tales estudios señalan que la población tiene opiniones bastante matizadas. Algunas personas consideran indeseables todas las aplicaciones de la ingeniería genética, pero la mayoría hacen distinciones sutiles, considerando el tipo de modificación y los riesgos y beneficios potenciales.

### Beneficios y riesgos de la biotecnología

El estudio internacional más amplio sobre las percepciones del público acerca de la

biotecnología es una encuesta realizada a unas 35 000 personas de 34 países de África, Asia, las Américas, Europa y Oceanía (véase la lista en la Figura 10) por Environics International<sup>9</sup> (2000). Se preguntó a 1 000 personas de cada país en qué medida estaban de acuerdo o en desacuerdo con la siguiente afirmación:

*Los beneficios de utilizar la biotecnología, para crear cultivos alimentarios modificados genéticamente que no requieran plaguicidas y herbicidas químicos, son mayores que los riesgos.*

Las respuestas a esta afirmación muestran diferencias importantes por regiones (Figura 10). La gente de las Américas, Asia y Oceanía aceptaba con mucha mayor probabilidad que la de África y Europa que los beneficios de este empleo de la biotecnología son superiores a los riesgos. Mientras casi las tres quintas partes de la población encuestada en las Américas, Asia y Oceanía respondió positivamente, sólo algo más de un tercio de los europeos y algo más de la mitad de los africanos estaban de acuerdo. Los africanos y europeos eran también más ambivalentes en sus respuestas, ya que un quinto y un tercio, respectivamente, dijeron que no estaban seguros, frente a sólo un octavo de los americanos, asiáticos y oceánicos.

En general, las personas de países con ingresos más altos tienden a ser más escépticas sobre los beneficios de la biotecnología y a preocuparse más por los riesgos potenciales, si bien hay excepciones a esta norma. Dentro de Asia, por ejemplo, los ciudadanos de países de ingresos más altos, como Japón y la República de Corea, son más escépticos sobre los beneficios y se preocupan más por los riesgos potenciales

<sup>9</sup> En noviembre de 2003, el nombre de Environics International se cambió en GlobeScan Inc.

## RECUADRO 25 Formular las preguntas correctas

Las respuestas a los sondeos de opinión dependen, entre otras cosas, de la formulación exacta de las preguntas. Las investigaciones han demostrado que, si se pregunta por la «biotecnología», es más probable que se suscite una respuesta positiva que si se pregunta por la «ingeniería genética». Aunque estas sutilezas pueden hacer variar en un 10-20 por ciento el resultado de las

respuestas, muchos estudios utilizan estos términos muy libremente. Hay otros factores que pueden influir en las respuestas, como la forma en que se elige a los encuestados y el tipo y la cantidad de material de referencia que se les facilita. Por estas razones, deben hacerse con cautela las comparaciones entre diferentes estudios realizados en distintos lugares y momentos.

de la biotecnología que los de países de ingresos más bajos, como Filipinas e Indonesia. De igual forma, en América Latina, los ciudadanos de países de ingresos más altos, como la Argentina y Chile, son más escépticos que los de países de ingresos menores, como la República Dominicana y Cuba. Sin embargo, hay excepciones a esta observación. Dentro de Europa, por ejemplo, los habitantes de los Países Bajos, que tienen ingresos más elevados que los de Grecia, muestran, por término medio, una actitud más positiva sobre la biotecnología. Es evidente que factores distintos de los niveles de ingresos son importantes para determinar las actitudes en esta materia.

Dentro de Asia y Oceanía, las opiniones favorables varían, desde el 81 por ciento en Indonesia hasta sólo el 33 por ciento en Japón. En países de ingresos más altos de Asia y Oceanía –Australia, Japón y la República de Corea– había en general una tendencia menor que en otros países a admitir que los beneficios de la biotecnología para reducir los plaguicidas y herbicidas químicos son superiores a los riesgos. Las diferencias de opiniones en las Américas no eran tan amplias, ya que el acuerdo variaba del 79 por ciento en Cuba al 44 por ciento en Argentina. Dentro de América Latina y el Caribe, en los países de ingresos más altos –Argentina, Chile y Uruguay–, se mostraba una actitud algo más negativa que en los demás. Dentro de América del Norte, la aceptación de la mencionada afirmación era constantemente elevada. La opinión europea era en general menos favorable que en otras regiones, variando de un acuerdo del 55 por ciento en los Países Bajos al 22 por ciento en Francia y Grecia.

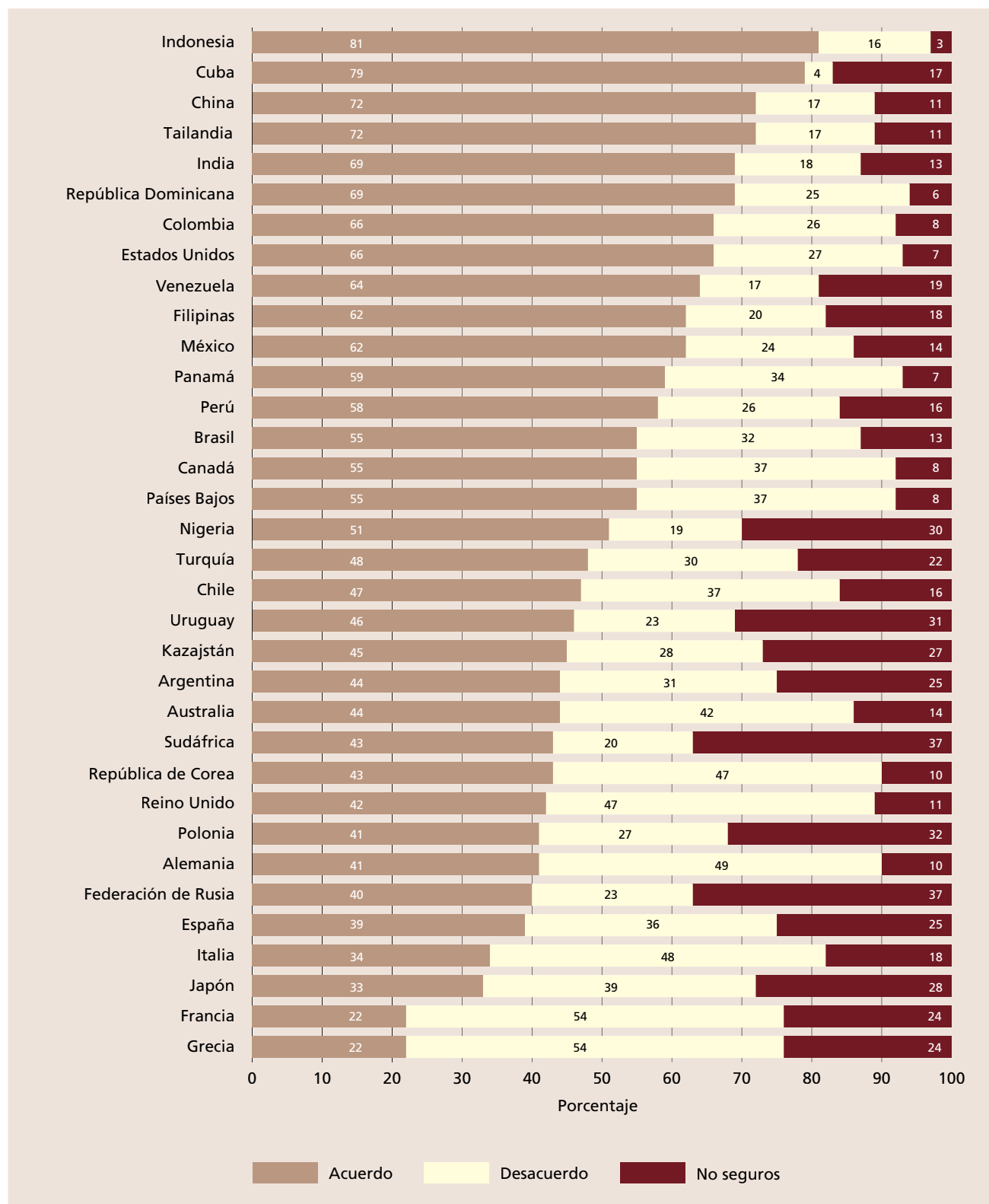
En general, la población de los países en desarrollo tendía más a apoyar la aplicación de la ingeniería genética para reducir el empleo de plaguicidas y herbicidas químicos. Por término medio, las tres quintas partes de los encuestados de países no pertenecientes a la OCDE estaban de acuerdo con la afirmación, frente a los dos quintos en los países de la OCDE. Esto indica que la gente de los países más pobres tiende a valorar más los beneficios potenciales de la biotecnología que los riesgos percibidos, mientras que en los países más ricos se observa lo opuesto. Los países de la OCDE con un mayor porcentaje de acuerdo eran aquellos donde se producen ya cultivos sometidos a ingeniería genética: Canadá, México y los Estados Unidos.

### Apoyo a distintas aplicaciones de la biotecnología

En el estudio de Environics International (2000) se hacía una segunda pregunta a los encuestados sobre si apoyarían o se opondrían a la utilización de la biotecnología para poner a punto cada una de ocho aplicaciones diferentes (Figura 11). La aprobación del público difiere mucho según cuál sea la aplicación específica de la biotecnología. Las aplicaciones que atienden preocupaciones por la salud humana o el medio ambiente se consideran más favorablemente que las orientadas a incrementar la productividad agrícola. Casi todos los encuestados indicaron que apoyarían el empleo de la biotecnología para producir nuevos medicamentos para los seres humanos, si bien el 13 por ciento

FIGURA 10

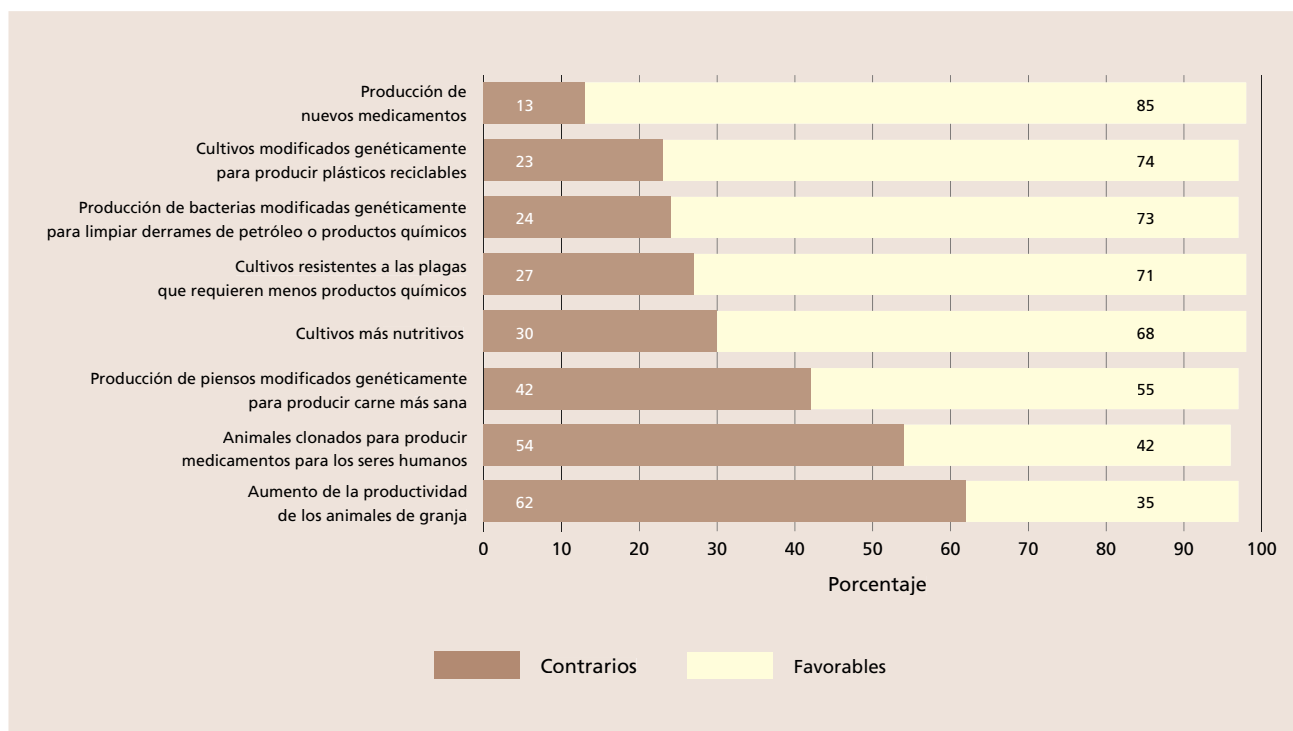
¿Son los beneficios de la biotecnología superiores a los riesgos?



Fuente: EnviroNics International, 2000.

FIGURA 11

¿Está usted a favor de estas aplicaciones de la biotecnología?



Fuente: Environics International, 2000.

se opondría. Más del 70 por ciento estuvo a favor del uso de la biotecnología para proteger o reparar el medio ambiente, por ejemplo, cultivos que producen plásticos, bacterias que limpian los residuos en el medio ambiente o cultivos que requieren menos productos químicos. Una gran mayoría (68 por ciento) de los encuestados se mostró favorable a la producción de cultivos más nutritivos.

Las aplicaciones de la biotecnología relacionadas con los animales recibieron mucho menos apoyo que las relativas a los cultivos o bacterias. Sólo algo más de a mitad de los encuestados (55 por ciento) estuvo a favor de los piensos modificados genéticamente, aun en el caso de que permitieran producir carne más sana. Al empleo de la biotecnología para clonar animales con fines de investigación médica se opuso el 54 por ciento de los encuestados, y el 62 por ciento se opuso a la modificación genética de los animales para incrementar la productividad. Estos resultados indican que la gente acepta menos la biotecnología animal, quizás porque implica cuestiones éticas

más complejas. Parece haber una mayor probabilidad de que se acepten aplicaciones de biotecnología animal que impliquen algún beneficio tangible, especialmente para la salud humana, mientras que convencen menos a la opinión los beneficios económicos como el aumento de la productividad.

### Expectativas personales sobre la biotecnología

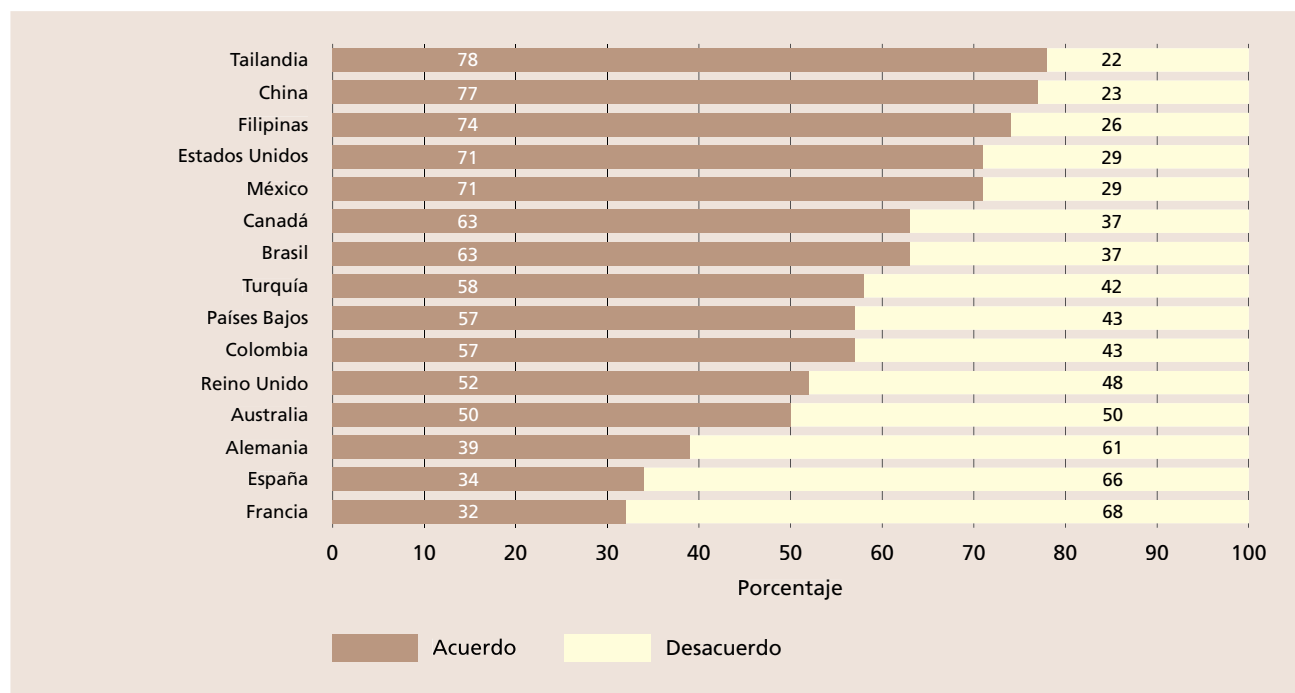
Con una serie de preguntas complementarias, Environics International (2000) trató de comprender algunas de las actitudes y preocupaciones subyacentes al apoyo o la oposición del público a la biotecnología. En 15 de los países del estudio, se preguntó a los encuestados que indicaron haber oído algo sobre la biotecnología si estaban de acuerdo o no con la siguiente afirmación:

*La biotecnología beneficiará a personas como yo en los próximos cinco años.*

Casi el 60 por ciento de los informantes estaban de acuerdo en que la biotecnología sería beneficiosa (Figura 12). Los ciudadanos

FIGURA 12

¿Beneficiará la biotecnología a personas como yo?



Fuente: Environics International, 2000.

de las Américas, Asia y el Oceanía eran mucho más optimistas que los europeos en que la biotecnología les beneficiaría (no se incluyó a países africanos en estas cuestiones complementarias). Los dos tercios de los encuestados de las Américas, Asia y Oceanía sostuvieron esta opinión, frente a menos de la mitad de los europeos. La distinción por niveles de ingresos fue similar. Sólo algo más de la mitad de los encuestados de países de la OCDE creía que la biotecnología les beneficiaría, mientras que casi los tres cuartos de los habitantes de países no pertenecientes a la OCDE aceptaban la afirmación. Los encuestados de los países que se mostraban pesimistas sobre el potencial de la biotecnología para beneficiarles tendían también a estar menos de acuerdo en que los beneficios de los cultivos modificados genéticamente compensaban los riesgos. Este resultado corresponde a los niveles más altos de aceptación de la biotecnología en las Américas, Asia y Oceanía registrados en la Figura 10 y sugiere que quienes creen que la biotecnología les beneficiará personalmente apoyarán su empleo con mayor probabilidad.

### Preocupaciones de orden moral y ético

Se formuló una segunda pregunta complementaria sobre si se estaba de acuerdo o no con esta afirmación:

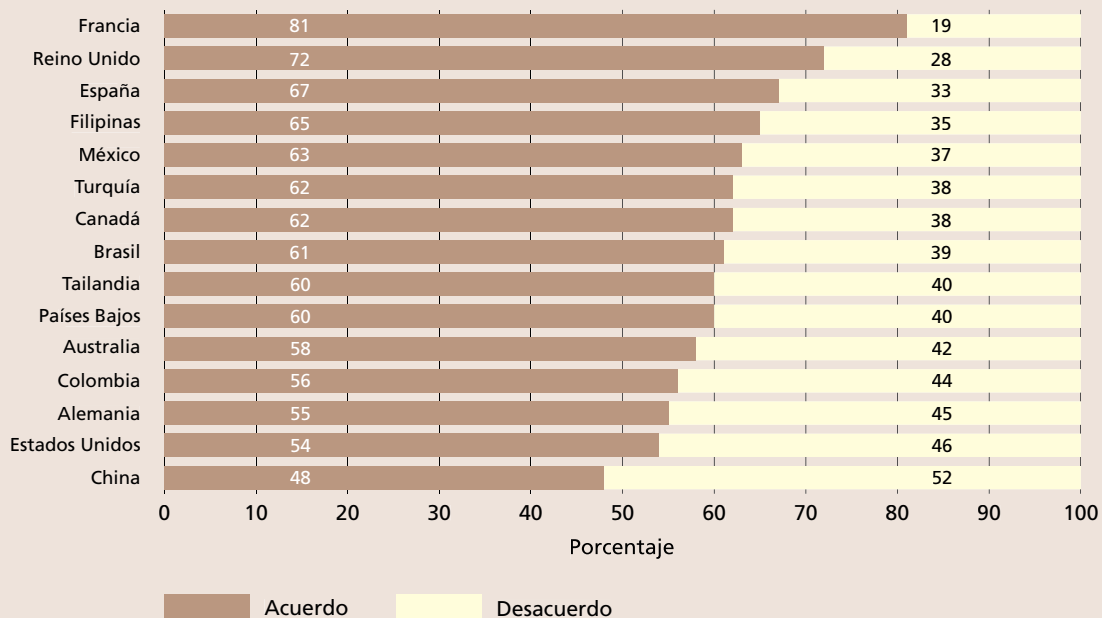
*La modificación de genes de plantas o animales es ética y moralmente inaceptable.*

Más del 60 por ciento de los encuestados estaba de acuerdo con esta afirmación y las respuestas fueron más equiparables entre los países que las dadas a otras preguntas (Figura 13). Más de la mitad de los encuestados en todos los países, salvo China, estaba de acuerdo en que la modificación genética de plantas o animales es ética y moralmente inaceptable. Este resultado parece oponerse a la aceptación generalmente elevada de la biotecnología de las plantas que muestran las Figuras 10 y 11, y puede reflejar el hecho de que la afirmación consideraba la modificación genética tanto de animales como de plantas. Como aparece en la Figura 11, la gente estaba menos inclinada a aceptar cualquier forma de biotecnología que afecte a los animales.



FIGURA 13

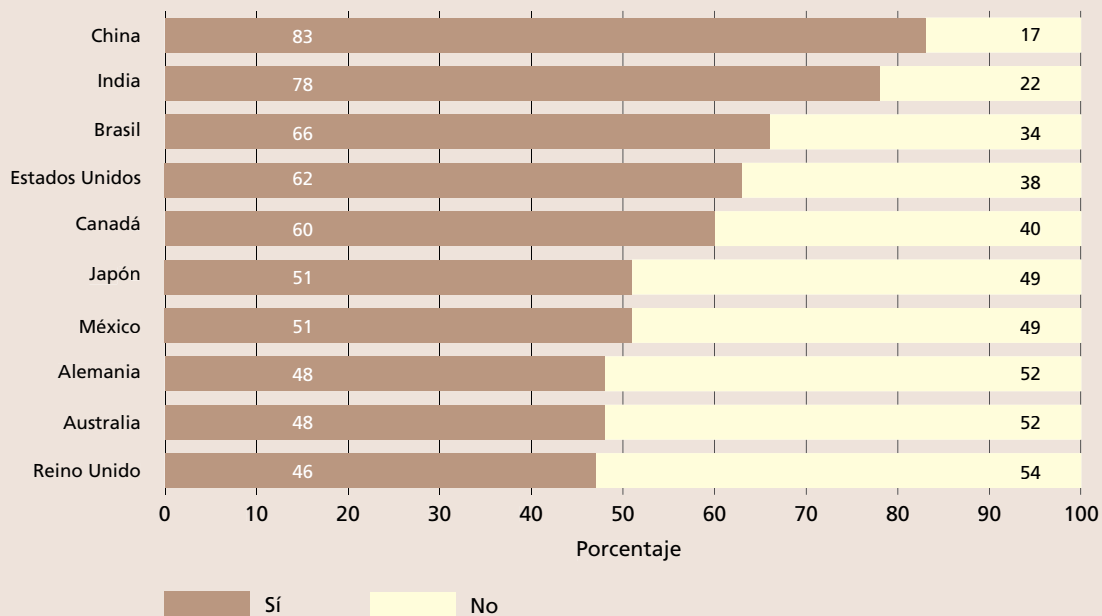
¿Es inaceptable la modificación de genes de las plantas o los animales?



Fuente: Environics International, 2000.

FIGURA 14

¿Compraría usted alimentos enriquecidos nutricionalmente?



Fuente: Environics International, 2001.

Las personas se dividían con arreglo a diferencias regionales y por ingresos en sus juicios éticos y morales sobre la modificación genética, siendo más probable entre los europeos que entre los americanos, los asiáticos y los oceánicos la opinión de que la modificación genética es ética y moralmente inaceptable. Los ciudadanos de países de la OCDE se inclinaban también más que los de países no pertenecientes a ella a tener reservas éticas o morales sobre la modificación genética. Las divisiones por regiones e ingresos son menos netas que con respecto a las demás afirmaciones, pero las pautas generales son semejantes. En los países donde los encuestados consideran la modificación genética moral y éticamente inaceptable, hay también menos personas que aceptan que los beneficios de la biotecnología son superiores a los riesgos o que la biotecnología las beneficiará.

### Aplicaciones orientadas al consumidor

En un segundo estudio, Environics International (2001) examinó si sería más elevada la tasa de aceptación en caso de que los productos fueran más beneficiosos para los consumidores. Se preguntó a 10 000 consumidores de diez países si comprarían alimentos con ingredientes modificados genéticamente si los productos resultantes fueran más nutritivos (Figura 14). Se dio a los encuestados la opción de seguir comprando el producto o dejar de hacerlo en caso de que se enteraran de que estaba modificado genéticamente.

Casi el 60 por ciento de los encuestados indicaron que comprarían alimentos enriquecidos nutricionalmente. Los consumidores europeos estaban menos dispuestos que los de otras regiones, pero las diferencias geográficas parecen ser menos claras que respecto de otras preguntas. El nivel de ingresos tiene una relación mayor con el deseo de comprar alimentos enriquecidos nutricionalmente. Más del 75 por ciento de los consumidores de China e India y el 66 por ciento de los del Brasil indicaron su deseo de comprar alimentos modificados genéticamente más nutritivos. Sólo algo más de la mitad de los consumidores de países de la OCDE mostraron

el deseo de comprarlos y una mayoría de los consumidores de Australia, Alemania y el Reino Unido no lo harían. Estos resultados indican que aunque, en muchos países, se aceptarían favorablemente nuevos cultivos modificados genéticamente que beneficien claramente a los consumidores, es posible que tales cultivos no superaran la oposición de los consumidores en todos los países.

### Etiquetado de los alimentos y biotecnología

La falta de un consenso social y científico sobre la moderna biotecnología agrícola ha inducido a algunos a proponer que los productos de esta tecnología se etiqueten como tales, como solución de compromiso y para seguir avanzando. Quienes proponen el etiquetado sostienen que la información en los envases de los alimentos permitirá a cada consumidor elegir si acepta o rechaza la ingeniería genética al decidir si los compra o no. Quienes se oponen aducen que tales etiquetas predispondrían injustamente a los consumidores contra alimentos determinados como inocuos para el consumo por las instituciones normativas nacionales. Aunque parece una solución simple, el etiquetado ha sido objeto de complejos debates dentro de los países y entre ellos (Capítulo 5).

### Producto o proceso

Hay acuerdo general en que los productos modificados genéticamente deben etiquetarse como tales si difieren de los convencionales por sus propiedades nutricionales, organolépticas (por ejemplo, sabor, aspecto, textura) y funcionales. También hay acuerdo en que los alimentos que puedan causar reacciones alérgicas como consecuencia de la modificación genética deben llevar una advertencia en la etiqueta, en caso de que se permita su comercialización (FAO/OMS, 2001, sección 4.2.2). En esta situación, la cuestión se centra en el producto final y el etiquetado tiene por objeto impedir que se induzca a error y advertir a los consumidores de posibles riesgos (es decir, las razones tradicionales del etiquetado). Es de señalar, no obstante, que los textos del Codex sobre la evaluación de la inocuidad de los alimentos que contienen OMG desaconsejan la transferencia de genes

que serían calificados de alérgenos (FAO/OMS, 2003b) y, por lo tanto, no es probable que tales productos sean aprobados por las instituciones normativas nacionales.

Se ha propuesto que se indique en la etiqueta de un producto el hecho de que se han utilizado procesos de biotecnología en su fabricación. Se están debatiendo los criterios para determinar si un producto sería etiquetado de esta forma si el producto final no tuviera una diferencia discernible con el producto convencional, si no tuviera trazas detectables de ADN, etc., (FAO/OMS, 2003b).

Frecuentemente los motivos del etiquetado basado en el proceso se orientan al logro de objetivos sociales, como ofrecer oportunidades de elección a los consumidores y proteger el medio ambiente. El etiquetado para informar a los consumidores sobre un proceso es una forma relativamente nueva de utilizar las etiquetas de los alimentos y es objeto de discusión.

### Derecho a conocer o necesidad de conocer

Quienes proponen el etiquetado de los alimentos sometidos a la bioingeniería consideran que los ciudadanos tienen el derecho a conocer la información sobre los procesos utilizados para producir el alimento. Pocos estarían en desacuerdo con ello, pero quienes se oponen a dicho etiquetado sostienen que esa información, que no es esencial para proteger la salud y evitar el fraude, puede inducir a confusión al consumidor y podría tener efectos perjudiciales.

Aunque hay poca experiencia sobre las reacciones de los consumidores al etiquetado de alimentos sometidos a ingeniería genética, sí existe en la industria alimentaria la preocupación de que las etiquetas inducirían a los consumidores a deducir que tales productos son inferiores a los convencionales.

Según las investigaciones, son distintas las fuentes de información que influyen en las decisiones de los consumidores sobre la compra de alimentos (Frewer y Shepherd, 1994; Einsiedel, 1998; Knoppers y Mathios, 1998; Pew Initiative, 2002b; Tegene *et al.*, 2003); así pues, los efectos del etiquetado de los alimentos podrían depender de otros mensajes que recibe el público. Los tipos de información pública disponibles con

respecto a la biotecnología varían según los diferentes países y entre los distintos sectores de la población, por lo que es difícil hacer generalizaciones sobre los efectos del etiquetado.

### Etiquetado obligatorio o voluntario

Varios países han estudiado si obligar a los productores de alimentos a que manifiesten que un alimento ha sido producido por medio de la biotecnología. Algunos gobiernos han promulgado códigos que hacen obligatorio el etiquetado (por ejemplo, la Unión Europea, Australia, China, Japón, México, Nueva Zelandia y la Federación de Rusia).

Otros países rechazan este método (por ejemplo, Argentina, Brasil, Canadá, Sudáfrica y los Estados Unidos). Sin embargo, algunos están estudiando la posibilidad de un etiquetado voluntario para los productores que deseen facilitar esta información a los consumidores.

### Etiquetado negativo: «Este producto no contiene ingredientes derivados de ingeniería genética»

Se ha propuesto que las etiquetas en las que se indique que un alimento no contiene productos de biotecnología («etiquetado negativo») darían a los consumidores la posibilidad de evitar alimentos derivados de ingeniería genética. Se estimularía así el desarrollo de mercados nicho para algunos productores como los de productos agrícolas orgánicos.

Quienes se oponen a este enfoque consideran que tales etiquetas inducirían a error a los consumidores, haciendo que deduzcan que los alimentos sometidos a ingeniería genética son inferiores. Otros sostienen que la exigencia de que un productor demuestre que un producto no está modificado genéticamente supone una carga injusta para los pequeños productores.

### Consideraciones técnicas, económicas y políticas

Las políticas de etiquetado, para ser eficaces, deben apoyarse en servicios de normalización, ensayo, certificación y aplicación (Golan, Kuchler y Mitchell, 2000). El etiquetado plantea varios problemas que no se han resuelto, tales como la necesidad de identificar las definiciones y términos

más adecuados que han de utilizarse en la etiqueta, la elaboración de técnicas y sistemas científicos para el seguimiento de la presencia de ingredientes derivados de ingeniería genética en los alimentos y la promulgación de reglamentos apropiados para aplicar una política de etiquetado.

Todas las opciones de etiquetado implican gastos que serían costeados inicialmente por los productores de alimentos y los gobiernos, pero que podrían hacer subir los precios de los alimentos y los impuestos. Los eticistas han sostenido que no sería apropiado imponer estos costos a todos los consumidores porque algunas personas no se preocupan de la biotecnología (Thompson, 1997; Nuffield Council on Bioethics, 1999). Otros defienden que el etiquetado obligatorio está justificado si una gran proporción de la población desea obtener la información. Algunos consumidores podrían verse limitados en su elección de los alimentos o bien por sus bajos ingresos o por la falta de otras posibilidades, mientras que otros podrían no ser capaces de entender las etiquetas. Por consiguiente, el etiquetado, en cuanto tal, no reflejaría plenamente las preferencias de los consumidores.

El etiquetado suscita posibles cuestiones de competencia desleal entre los productores de alimentos. Además del impacto económico dentro de los países, el etiquetado podría tener efectos en el comercio internacional. Los exportadores de productos alimenticios sometidos a ingeniería genética se han opuesto a las políticas de etiquetado obligatorio de los países importadores, considerándolas barreras injustificadas al comercio.

#### **Solución del debate: la Comisión del Codex Alimentarius**

Estas cuestiones han sido objeto de las deliberaciones del Comité sobre Etiquetado de los Alimentos de la Comisión del Codex Alimentarius durante varios años. En la reunión de dicho Comité celebrada en mayo de 2003, se estableció un grupo de trabajo para tratar esta cuestión.

### **Conclusiones**

Las posiciones del público con respecto a la biotecnología, especialmente la

ingeniería genética, son complejas y matizadas. Se han realizado relativamente pocas investigaciones internacionalmente comparables sobre la opinión pública, pero las disponibles muestran notables diferencias entre las regiones y dentro de ellas. En general, hay más probabilidades de que los habitantes de países más pobres acepten que los beneficios de la biotecnología agrícola son superiores a los riesgos, que ésta les beneficiará y que es moralmente aceptable. Los americanos, los asiáticos y los oceánicos son mucho más optimistas sobre el futuro de la biotecnología que los africanos y europeos. Hay excepciones a estas pautas simples, pero es evidente que son muchos los factores que influyen en las actitudes hacia la biotecnología.

Es manifiesto que pocas personas expresan un apoyo u oposición totales a la biotecnología. La mayoría parece establecer distinciones sutiles entre técnicas y aplicaciones con arreglo a una serie compleja de consideraciones, entre las que figuran la utilidad percibida de la innovación, su potencial para causar o aliviar peligros para los seres humanos, los animales y el medio ambiente, y su aceptabilidad moral o ética. En todas las regiones hay una aceptación más general de las aplicaciones médicas que de las agrícolas, y de las aplicaciones agrícolas para las plantas que de las destinadas a los animales. En general se aceptan más las innovaciones que proporcionan beneficios tangibles a los consumidores o al medio ambiente que las encaminadas a incrementar la productividad agrícola. Estas sutiles distinciones indican que las posiciones del público hacia la biotecnología agrícola cambiarán a medida que se pongan a punto nuevas aplicaciones y se llegue a disponer de más pruebas sobre los efectos socioeconómicos, ambientales y en la inocuidad de los alimentos. Se necesitan más investigaciones internacionalmente comparables para identificar la serie polifacética de factores que influyen en las opiniones del público respecto a la biotecnología y para comprender las formas en que evolucionan.

Se considera el etiquetado como un medio para salvar las diferencias en las actitudes del público con respecto a la biotecnología, especialmente a la ingeniería genética. Aunque pueda parecer

una solución simple, el debate sobre las ventajas y la viabilidad del etiquetado es complejo. La cuestión afecta a los motivos fundamentales del etiquetado de los alimentos y tiene repercusiones sobre la equidad en la distribución, los derechos de los consumidores y el comercio internacional. Hay quien defiende que la gente tiene derecho a saber si un producto se ha obtenido por medio de la ingeniería genética, incluso en el caso de que no difiera de forma discernible de su

homólogo convencional. Otros sostienen que tales etiquetas inducirían a error a los consumidores, suponiendo una diferencia donde no la hay. Hay otros desacuerdos sobre la aplicación técnica de la obligación del etiquetado y sobre quién sufragaría los costos. Actualmente no hay ningún consenso internacional sobre este asunto, pero la Comisión del Codex Alimentarius sigue trabajando para establecer directrices acordadas sobre el etiquetado de los alimentos.