

# 7 La bioseguridad en México y los organismos genéticamente modificados: cómo enfrentar un nuevo desafío

---

AUTORA RESPONSABLE: Francisca Acevedo Gasman

COAUTORES: Elleli Huerta Ocampo • Santiago Lorenzo Alonso • Sol Ortiz García

AUTORES DE RECUADROS: 7.1, Agustín López Munguía Canales • 7.2, Ariel Álvarez Morales,

Alba E. Jofre y Garfías, Jorge Ibarra Rendón, Michelle Chauvet, Dulce María Arias,

Baltazar Baltazar • 7.3, María Amanda Gálvez Mariscal, Rosa Luz González •

7.4, Santiago Lorenzo Alonso • 7.5, Michelle Chauvet

REVISORES: Ariel Álvarez Morales • Flavio Aragón Cuevas • Suketoshi Taba

---

## CONTENIDO

- 7.1 Introducción: el proceso de domesticación y la biodiversidad / 320
- 7.2 La biotecnología y los organismos genéticamente modificados / 326
- 7.3 Nuevas aplicaciones en cultivos transgénicos y el valor de la conservación de variedades / 327
- 7.4 La bioseguridad / 335
  - 7.4.1 El análisis de riesgo / 335
  - 7.4.2 Relación entre los OGM y la biodiversidad / 337
  - 7.4.3 Regulación y política / 338
  - 7.4.4 La participación pública y la bioseguridad / 339
- 7.5 La bioseguridad en México / 339
- 7.6 Los grandes retos de la bioseguridad / 347
  - 7.6.1 Nuevas aplicaciones / 347
  - 7.6.2 Instrumentación de la LBOGM / 347
  - 7.6.3 Fortalecimiento de capacidades / 348
- Referencias / 350

## Recuadros

Recuadro 7.1. *Potencial y riesgo de los cultivos genéticamente modificados* / 328

Recuadro 7.2. *¿Pueden las pequeñas comunidades rurales beneficiarse de la biotecnología?* / 330

Recuadro 7.3. *Cultivos biofarmacéuticos y su posible riesgo* / 331

Recuadro 7.4. *Reflexiones en torno a los riesgos en relación con los OGM* / 334

Recuadro 7.5. *Bioseguridad y sociedad* / 336

---

Acevedo Gasman, F., et al. 2009. La bioseguridad en México y los organismos genéticamente modificados: cómo enfrentar un nuevo desafío, en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 319-353.

## Resumen

México es uno de los 12 países megadiversos y centro de origen y diversidad genética de varias especies, entre ellas algunas con gran importancia para la humanidad, en particular para su alimentación, lo que implica una responsabilidad para la conservación de dichas especies y de sus parientes silvestres. Como parte de las estrategias de conservación de la biodiversidad, en el caso particular de la agrobiodiversidad, se debe reconocer que la domesticación de las especies es un proceso continuo y dinámico, por lo que inevitablemente está ligado a procesos de selección y mejoramiento tradicionales, asociados a las prácticas agrícolas y a los procesos evolutivos.

Sin embargo, la agricultura se ha visto afectada por otro tipo de mejoras utilizando técnicas de biotecnología moderna, lo que ha resultado en el desarrollo de organismos genéticamente modificados (OGM) con combinaciones de genes, que en muchos casos están por encima de las barreras de la reproducción natural. Algunas transformaciones genéticas podrían significar que estos cultivos ya no sean aptos para consumo humano, ya que fueron expresamente diseñadas para usos diferentes que los alimentarios, por ejemplo, producción de fármacos, plásticos, aceites, entre otros.

La biotecnología moderna no se ha utilizado solo para desarrollar OGM agrícolas, también se ha extendido a otros organismos y para diferentes actividades, algunos de ellos se han mantenido de manera confinada y en otros casos se han liberado en un ecosistema donde un organismo con una combinación de genes novedosa podrá interactuar con el resto de las especies que ahí se encuentren.

En ese sentido es importante el concepto de bioseguridad relacionado con el uso de los OGM. En este capítulo se analiza lo que actualmente podría representar el desafío al que nos enfrentamos en el tema de bioseguridad, tanto en términos generales como en el caso particular de México por su condición de país megadiverso y centro de origen y diversidad genética. Asimismo se resalta que existen riesgos en todas las actividades en las que se utilizan OGM, y que independientemente de que se analice caso por caso, se deben considerar tres tipos de riesgo: al medio ambiente, a la salud humana y a las actividades socioeconómicas, con el objetivo de prevenir y minimizar cada uno de ellos. También se considera que en este análisis se deben incluir dos aspectos muy importantes: el manejo y la comunicación del riesgo.

Cabe aclarar que la posición de nuestro país es que la investigación en biotecnología se debe hacer de manera segura y responsable, lo cual no significa que se detenga o impida el desarrollo de la misma, sino más bien que se incentive que a dicho desarrollo se incorpore la bioseguridad y que esta se asuma desde la concepción de los OGM.

En este capítulo se pone de manifiesto que para enfrentar los retos que implica la investigación biotecnológica en todos sus aspectos, se deberá fomentar un mayor conocimiento en todos los niveles y de todos los actores que permita un mejor desarrollo e implementación de la regulación, así como la participación informada de la sociedad.

### 7.1 INTRODUCCIÓN: EL PROCESO DE DOMESTICACIÓN Y LA BIODIVERSIDAD

En gran medida, la evolución de las sociedades humanas ha sido determinada por la relación de coadaptación con su entorno natural, relación que, entre otros aspectos, se basa en el desarrollo tecnológico alcanzado por los distintos grupos humanos. A lo largo de la historia se reconocen diversas revoluciones tecnológicas que han sido decisivas para cambiar la relación del ser humano con su entorno. La agricultura es una de ellas, pues modificó radicalmente el modo de vida de las sociedades y, por ende, de su cultura.

La agricultura, cuyo origen se remonta a 10 000 años (Diamond 1997), surgió de manera independiente en varios lugares que ahora se reconocen como centros de origen de agrobiodiversidad o de domesticación (Vavilov

1926). Las primeras evidencias de actividad agrícola se presentan en el Fertile Crescent del Medio Oriente, en la región andina de Sudamérica, en algunas partes de África y en México, y de estos lugares se dispersó al resto del planeta. La domesticación de plantas y animales mediante la selección de características valiosas de los organismos, transformó de manera notable a las sociedades humanas.

Desde sus orígenes, la agricultura es una de las principales actividades humanas que ha provocado cambios fuertes en el medio ambiente. En décadas recientes la agricultura se ha intensificado con un mayor uso de maquinaria, sistemas de irrigación, fertilizantes sintéticos, herbicidas y plaguicidas. Esto ha llevado a grandes cambios en la estructura, función, manejo y propósito de los agroecosistemas (Matson *et al.* 1997). Los principales cambios asociados a la agricultura de alto insumo implican una reducción significativa en la biodiversidad vegetal,

animal y microbiana, así como un incremento en los efectos de los agroecosistemas sobre ecosistemas vecinos debido a cambios en la calidad del agua y la presencia de plaguicidas, fertilizantes y otros residuos químicos.

México es uno de los ocho principales centros de origen, domesticación y diversidad genética de más de 130 especies de plantas, de las cuales 25 tienen uso comercial en todo el mundo y son la base para la alimentación humana y animal en cientos de países. Entre las especies domesticadas en México, o en Mesoamérica en general, destacan: maíz, calabaza, frijol, papaya, guayaba, camote, yuca, jícama, amaranto, huauzontle, algodón, tabaco, cacahuate, cacao y tomate (Hernández-Xolocotzi 1998). Además, México es centro de diversificación secundaria de otros cultivos de importancia económica mundial como la papa, el girasol y la vainilla, e incluso de especies de uso forestal como los pinos (Styles 1993) y los encinos (Nixon 1993). En el cuadro 7.1 se muestra el área sembrada y el valor productivo en México de algunas especies de las cuales este país es centro de origen y diversidad genética.

México tiene muchas y muy variadas condiciones topográficas y climáticas que generan una amplia gama de condiciones ecológicas, que dan como resultado la gran diversidad biológica que lo caracteriza. Junto con esta biodiversidad se encuentra una de las mayores riquezas culturales y étnicas de América que actualmente se expresa en 61 grupos indígenas (véase capítulo 15 de este mismo volumen) que hablan 291 lenguas, con variantes dialectales (véase capítulo 16 del volumen I). La historia de estos grupos está estrechamente relacionada con su entorno y los recursos naturales, en particular con el uso de las plantas, el cual con el tiempo se ha ampliado. Como un ejemplo de esta diversidad lingüística, en el cuadro 7.2 se muestran los distintos términos asociados al maíz como concepto.

Es probable que conforme los grupos humanos reconocieron en las plantas y animales algún uso (alimento, factor curativo, como utensilio u otro), comenzó una interacción que derivó en un proceso de domesticación. La domesticación se puede definir como una relación mutualista entre las poblaciones humanas y las plantas o animales, que generalmente resulta en un incremento en la adecuación de los organismos, y cuya consecuencia es una expansión en la distribución de las especies domesticadas. De acuerdo con Zeder (2006), lo que distingue el proceso de domesticación es la intencionalidad, es decir, el papel deliberado y activo que juegan los grupos humanos cuando interactúan con las plantas o animales, adquirien-

do una mayor seguridad en el acceso a los recursos que están domesticando.

La domesticación es un proceso continuo que sigue operando aun en sus etapas más avanzadas, generando nuevas variedades de acuerdo con las condiciones ambientales, culturales, espaciales y temporales a las que la sociedad humana somete a las especies, adaptándolas mediante selección artificial y cruces selectivos, lo que se puede ver como un mejoramiento genético tradicional. Como resultado de esto se han creado muchas razas de distintos animales y cientos de variedades locales para la mayoría de las plantas cultivadas, lo que representa una importante contribución humana a la agrobiodiversidad del planeta y a los recursos fitogenéticos para la alimentación, donde sobre todo los campesinos e indígenas, principalmente las mujeres, son quienes generan y mantienen este acervo agrodiverso. Es posible encontrar diferentes grados de domesticación que al parecer se relacionan con distintos niveles de intensidad con que opera el proceso o con la antigüedad de este (Casas y Caballero 1996; Casas *et al.* 1997, 1998, 1999; Hillman y Davies 1990).

La velocidad del proceso de domesticación varía dependiendo de las características de la planta y de la intensidad de la selección. Una limitada propagación vegetativa, polinización cruzada y distribución de poblaciones simpátricas con sus parientes silvestres en las que el flujo génico se mantiene entre ellas, incrementan el tiempo de fijación de los caracteres deseados en una población mediante la selección artificial (Harris 1972; Zohary 1984). En particular, el maíz cumple con todas estas características, por lo que su proceso de domesticación ha sido más largo que el de otras plantas; incluso algunos autores consideran que este proceso aún se mantiene para esta especie (Turrent y Serratos 2004). El cuadro 7.3 ejemplifica la diversidad que existe en el sistema agroecológico de milpa, práctica milenaria de cultivo usada en México.

La Revolución verde,<sup>1</sup> que comenzó en los años cincuenta en muchas regiones del mundo, incluidas Latinoamérica y Asia, dio lugar al desarrollo de nuevas características relevantes en los cultivos y a un mayor rendimiento principalmente de trigo, arroz y maíz, aunque este aumento de la producción se relacionó con el deterioro ambiental.

Una de las consecuencias de la práctica de mejoramiento genético en plantas para uso agrícola es la uniformidad de los cultivos, ya que dicha mejora se asocia con sistemas de producción altamente tecnificados. Los esfuerzos dirigidos a buscar y seleccionar características que permitan ampliar la diversidad en el campo agrícola han

**Cuadro 7.1** Especies vegetales cuyo centro de origen (O), domesticación (Do) o diversificación (Di) es México o Mesoamérica

Especie	Nombre común	Centro de origen, domesticación, diversificación	Área sembrada (ha)*	Valor de la producción (miles de pesos)*	Referencia(s)
<i>Agave</i> spp.	Magüeyes	O, Do, Di	30 897.44**	19 002.45	2, 5, 11, 12, 15
<i>Amaranthus cruentus</i>	Amaranto	O, Do	NR	NR	1, 2, 5, 12
<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	Amaranto	O, Do	2 004	15 056.06	1, 2, 5, 12
<i>Capsicum annuum</i>	Chile	O, Do, Di	18 842.04	1 271 670.56	2, 3, 5, 8, 12, 15
<i>Cucurbita argyrosperma</i> subsp. <i>argyrosperma</i>	Calabaza	O, Do	15 987.6	154 393.42	2, 6, 5, 12, 15
<i>Cucurbita moschata</i>	Calabaza amarilla o de bola	O, Do	NR	NR	2, 6, 5, 12, 15
<i>Gossypium hirsutum</i>	Algodón	O, Do	129 533.43	1 640 527.34	2, 3, 5, 12, 13, 15
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol común	O, Do	151 335.96	1 106 017.34	2, 3, 5, 7, 11, 12, 13, 15
<i>Sechium edule</i>	Chayote	O, Do	2 154.75	169 812.10	2, 5, 6, 12
<i>Vanilla planifolia</i>	Vainilla	O, Do	NR	NR	2, 5, 6, 12
<i>Zea mays</i>	Maíz	O, Do, Di	8 400 994.54	34 125 996.38	2, 3, 5, 12, 13, 14, 15
<i>Amaranthus leucocarpus</i>	Amaranto	Do	NR	NR	1, 2
<i>Anacardium occidentale</i>	Marañón	Do	1 363.75	13 504.48	2, 5
<i>Ananas comosus</i>	Piña	Do	3 777.5	172 530.46	2, 5
<i>Annona</i> spp.	Chirimoya, anona	Do	79	1 829.65	2, 5
<i>Arachis hypogaea</i>	Cacahuete	Do	65 535.3	389 503.41	2, 5
<i>Bixa orellana</i>	Achiote	Do	925.5	8 131.60	2, 5, 12
<i>Bomarea edulis</i>	Coyolxóchitl, zarcilla	Do	NR	NR	2, 5
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ramón	Do	NR	NR	2, 5
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nanche	Do	1 533.7	21 383.25	2, 5, 12
<i>Canavalia ensiformis</i>	Haba blanca	Do	NR	NR	2, 5
<i>Carica papaya</i>	Papaya	Do	7 359.5**	537 039.75	2, 5, 12
<i>Capsicum frutescens</i>	Chile	Do	NR	NR	2, 5
<i>Casimiroa edulis</i>	Zapote blanco	Do	NR	NR	2, 5
<i>Casimiroa sapota</i>	Matasano	Do	NR	NR	2, 5
<i>Castilla elastica</i>	Árbol del hule	Do	NR	NR	2
<i>Chamaedorea tepejilote</i>	Tepejilote	Do	NR	NR	2, 5
<i>Chamaedorea wendlandiana</i>	Pacaya	Do	NR	NR	2, 5
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Epazote	Do	138	3 287.13	2, 5, 12
<i>C. berlandieri</i> subsp. <i>nuttalliae</i>	Huauzontle	Do	208.5	2 931.30	2, 5, 12
<i>Cnidocolus chayamansa</i>	Chaya	Do	NR	NR	2, 5, 12
<i>Crataegus gracilior</i>	Tejocote	Do	690.1	10 220.84	2, 5, 12
<i>Crescentia cujete</i>	Tecomate	Do	NR	NR	2, 5
<i>Crotalaria longirostrata</i>	Chipile	Do	NR	NR	2, 5
<i>Cucurbita ficifolia</i>	Chilacayote	Do	287	18 166.78	2, 5, 6, 12, 15
<i>Cucurbita pepo</i> subsp. <i>pepo</i>	Calabaza, calabacita	Do	7 091.2	285 410.86	2, 5, 6, 12, 15

Cuadro 7.1 [continúa]

Especie	Nombre común	Centro de origen, domesticación, diversificación	Área sembrada (ha)*	Valor de la producción (miles de pesos)*	Referencia(s)
<i>Cyrtocarpa</i> spp.	Chupandilla	Do	NR	NR	2, 5
<i>Dahlia</i> spp.	Dalia	Do	NR	NR	2, 5, 12
<i>Datura stramonium</i>	Toloache	Do	NR	NR	2
<i>Diospyros digyna</i>	Zapote negro	Do	NR	NR	2, 5, 12
<i>Dioscorea</i> spp.	Barbasco	Do	NR	NR	2, 5
<i>Erythrina americana</i>	Colorín	Do	NR	NR	2, 5
<i>Euphorbia pulcherrima</i>	Nochebuena	Do	175.21	214 906.00	2, 5, 12
<i>Gliricidia sepium</i>	Cacahuananche	Do	NR	NR	2, 5
<i>Helianthus annuus</i>	Girasol	Do	149.7	14 675.10	2, 5, 12
<i>Hylocereus undatus</i>	Pitahaya	Do	1 841.6	34 394.74	2, 5, 12
<i>Hyptis suaveolens</i>	Chía gorda	Do	250**	2 280.00	2, 5
<i>Indigofera suffruticosa</i>	Añil	Do	NR	NR	2, 5
<i>Ipomoea batatas</i>	Camote	Do	3 208.32	175 689.85	2, 5, 12
<i>Jatropha curcas</i>	Piñoncillo	Do	NR	NR	2, 5
<i>Lagenaria siceraria</i>	Guaje, bule	Do	495.3	20 123.30	2, 5, 12
<i>Leucaena collinsii</i>	Guaje	Do	NR	NR	2, 5
<i>Lophophora williamsii</i>	Peyote	Do	NR	NR	2
<i>Lycopersicon esculentum</i> var. <i>esculentum</i>	Jitomate	Do	234.5	79 629.00	2, 5, 12
<i>Manihot esculenta</i>	Yuca, guacamote	Do	1 014.4	30 861.62	2, 5
<i>Manilkara zapota</i>	Chicozapote	Do	NR	NR	2, 5, 12
<i>Maranta arundinacea</i>	Sagú	Do	NR	NR	2, 5
<i>Mastichodendron</i> spp.	Tempisque	Do	NR	NR	2, 5
<i>Montanoa</i> spp.	Varablanca	Do	NR	NR	2, 5
<i>Nicotiana tabacum</i>	Tabaco	Do	8 661.5	289 613.70	2
<i>Nopalea cochenillifera</i>	Nopal de cochinilla	Do	NR	NR	2, 5
<i>Nopalea</i> spp.	Nopalillo	Do	NR	NR	2, 5
<i>Opuntia</i> spp.	Nopales-tunas	Do	17 280.59	1 517 501.47	2, 5, 12
<i>Pachycereus marginatus</i>	Órgano	Do	NR	NR	2, 5
<i>Pachyrhizus erosus</i>	Jícama	Do	7 002.05	370 564.53	2, 5, 12
<i>Panicum sonorum</i>	Sauhui	Do	NR	NR	2, 5
<i>Parmentiera edulis</i>	Cuajilote	Do	NR	NR	2
<i>Persea americana</i>	Aguacate	Do	7 063.84	211 434.88	2, 5, 12
<i>Persea schiedeana</i>	Chinini	Do	NR	NR	2, 5
<i>Phaseolus acutifolius</i>	Ejotillo, teparí	Do	NR	NR	2, 5
<i>Phaseolus coccineus</i>	Ayacote	Do	NR	NR	2, 5, 12
<i>Phaseolus dumosus</i>	lbes	Do	NR	NR	2, 5
<i>Phaseolus lunatus</i>	Patashete	Do	NR	NR	2, 5
<i>Physalis philadelphica</i>	Tomate de cáscara	Do	48 607.67	2 413 769.75	2, 5, 12

Cuadro 7.1 [concluye]

Especie	Nombre común	Centro de origen, domesticación, diversificación	Área sembrada (ha)*	Valor de la producción (miles de pesos)*	Referencia(s)
<i>Piper sanctum</i>	Hoja santa	Do	NR	NR	2, 5
<i>Porophyllum tagetoides</i>	Papaloquelite	Do	446.9	10 361.62	2, 5
<i>Polianthes tuberosa</i>	Nardo	Do	243.2	25 662.90	2, 5, 12
<i>Pouteria campechiana</i>	Zapote amarillo	Do	NR	NR	2, 5
<i>Pouteria hypoglauca</i>	Zapote amarillo	Do	NR	NR	2, 5
<i>Pouteria sapota</i>	Mamey	Do	1 338.2	47 446.01	2, 5, 12
<i>Protium copal</i>	Copal	Do	NR	NR	2, 5
<i>Prunus serotina</i> subsp. <i>capuli</i>	Capulín	Do	49.2	506.08	2, 5, 12
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Do	16 165.86	586 309.83	2, 5
<i>Psidium sartorianum</i>	Arrayán	Do	NR	NR	2, 5
<i>Salvia hispanica</i>	Chía	Do	NR	NR	2, 5, 12
<i>Sambucus mexicana</i>	Saúco	Do	NR	NR	2, 5
<i>Spondias mombin</i>	Ciruela	Do	NR	NR	2, 5
<i>Spondias purpurea</i>	Jocote	Do	NR	NR	2, 5, 12
<i>Tagetes erecta</i>	Cempasúchil	Do	1 270.8	28 073.74	2, 5, 12
<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	Do	NR	NR	2, 5
<i>Theobroma angustifolium</i>	Cacao	Do	62 687.66	649 909.18	2, 5
<i>Theobroma bicolor</i>	Patashtle	Do	NR	NR	2, 5
<i>Theobroma cacao</i>	Cacao	Do	NR	NR	2, 5, 12
<i>Tigridia pavonia</i>	Oceloxóchitl	Do	NR	NR	2, 5
<i>Yucca elephantipes</i>	Izote espadín	Do	NR	NR	2, 5
<i>Zinnia peruviana</i>	Gallito	Do	NR	NR	11, 12
<i>Salvia</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Euphorbia</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Ipomoea</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Mammillaria</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Solanum</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Quercus</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Mimosa</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Acacia</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Bursera</i> spp.		Di	NR	NR	11, 12
<i>Pinus</i> spp.		Di	NR	NR	4, 11, 12
+ otros 70 géneros		Di	NR	NR	12

NR = No reportado.

\* Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Anuario estadístico de información agrícola. 2005. Sagarpa, consulta 2007.

\*\* Datos de 2004, no hay disponibles para 2005.

Referencias: **1.** Becerra (2000); **2.** Challenger (1998); **3.** Vavilov (2005); **4.** Contreras-Medina *et al.* (2001); **5.** Hernández-Xolocotzi (1998); **6.** Lira-Saade *et al.* (1995); **7.** Parra y Ortiz de Bertorelli (1988); **8.** Ramírez (1996); **9.** Romeu (1995a); **10.** Romeu (1995b); **11.** Rzedowski (1998); **12.** Rzedowski (2005); **13.** Vavilov (1951); **14.** Wellhausen *et al.* (1987); **15.** Zohary (1970).

sido escasos. Sin embargo, es importante mencionar que desde hace poco tiempo se pone en práctica el concepto de “mejoramiento participativo”, donde los investigadores han involucrado a quienes mantienen el acervo genético para que respondan adecuadamente a las necesidades locales (Bellon 2006; Lilja y Bellon 2006). A pesar del enorme valor económico que representa la inmensa reserva de diversidad genética, gran parte de la misma se encuentra en peligro de perderse, siendo una de las prin-

cipales causas la erosión genética de la biodiversidad agrícola, resultado de la sustitución de variedades agrícolas tradicionales por variedades de alto rendimiento, así como por la relativa uniformidad genética de los híbridos comerciales. En el caso de México, la cada vez mayor demanda de productos agrícolas ha promovido que aumente el volumen de la cosecha, aun a costa de una menor diversidad agrícola. Aunque la mayoría de los agricultores de menos recursos siguen optando por sistemas complejos

**Cuadro 7.2** Un ejemplo de riqueza léxica asociada a la agrodiversidad: las distintas formas en que las lenguas nombran al maíz

Lengua		Lengua	
Tarahumara (Chihuahua)	Sunuko	Popoluca (San Juan Atzingo, Puebla)	No:wa
Huave (Oaxaca)	Os	Popoluca (Sierra de Veracruz)	Moc
Zapoteco (Oaxaca)	Getta	Náhuatl (norte de Puebla)	Tlaoli
Chontal (Oaxaca)	Golgoxac	Seri (Sonora)	Hapxöl
Zoque (Rayón, Chiapas)	Mojk	Maya (yucateco)	Ixi'im
Totonaco (Jicotepec de Juárez, Puebla)	Cuxi'	Chatino (zona alta, Oaxaca)	Nskwa'
Triqui (Chicahuastla, Oaxaca)	'Inĩ	Mazateco (Chiquihuitlán, Oaxaca)	Yujme
Tzeltal (Bachajón, Chiapas)	Ixim	Pima (Chihuahua bajo)	Duuk-húun
Zapoteco (Mitla, Oaxaca)	Xob	Huichol (Nayarit)	Ikú
Zapoteco (Zoogocho, Oaxaca)	Xoa'	Tlapaneca (Guerrero)	Iši
Mayo (Sonora)	Batchi	Ixcateco (Santa María Ixcatlán, Oaxaca)	Nahme
Amuzgo (San Pedro Amuzgos, Oaxaca)	Nnan	Huasteca (San Luis Potosí)	Iziz
Chinanteco (San Pedro Tlaltepuzco, Oaxaca)	CuOi	Tlahuica (Estado de México)	Thuhui
Chontal (Chontal, Tabasco)	Ixim	Mazahua (Estado de México)	Chjöö
Tojolabal (Chiapas)	Ixim	Pame (Santa Catarina, S.L.P)	Nluá
Tzotzil (Chiapas)	Ixim	Lacandón (Chiapas)	'Ixim
Ch'ol (Tumbalá, Chiapas)	Ixim	Tepehua (norte de Veracruz)	Kux / kuxi
Chichimeco jonaz (Misión de Chichimecas, Gto.)	Úzih	Cora (Nayarit)	Yuuri
Náhuatl (Xalitla, Gro.)	Tlayóhjl'i'	Quiché (Chiapas y Guatemala)	Ixim
Zapoteco (del Itsmo)	Xuba'	Matlatzinca (Estado de México)	Ta'tjuwi
Mazateco (El Mirador, Oaxaca)	Nahmé	Kiliwa (Baja California)	Ta yit
Totonaco (Olintla, Puebla)	Kuxe'	Yaqui (Sonora)	Bachi
Otomí (Ixmiquilpan, Hidalgo)	Dethä	Guarijío (Chihuahua)	Suunú
Purépecha (Michoacán)	Tsiri	Popoloca (Los Reyes Metzontla, Puebla)	Nüà
Mixteco (Pinotepa Nacional, Oaxaca)	Núnj	Popoloca (San Juan Atzingo, Puebla)	Noa
Mixe (Coatlán, Oaxaca)	Mooc	Popoloca (San Vicente Coyotepec, Puebla)	Nuwa'
Zoque (Francisco León, Oaxaca)	Moc	Tepehuano del norte (Chihuahua)	Jun
Cuicateco (Cuicatlán, Oaxaca)	Ninu	Totonaco (Papantla, Veracruz)	Cux'i
Popoluca (Ooluta, Puebla)	Mojc		

Fuente: Fernando Nava, Instituto Nacional de Lenguas Indígenas, com. pers.

**Cuadro 7.3** Especies vegetales asociadas a la milpa en México

Especie	Nombre común
<i>Amaranthus cruentus</i>	Amaranto
<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	Amaranto
<i>Capsicum annuum annuum</i>	Chile
<i>Capsicum annuum glabriusculum</i>	Chile piquín, chiltepín
<i>Capsicum frutescens</i>	Chile
<i>Chenopodium mexicanum</i>	Quelite
<i>Cucurbita argyrosperma argyrosperma</i>	Calabaza
<i>Cucurbita ficifolia</i>	Chilacayote
<i>Cucurbita moschata</i>	Calabaza amarilla o de bola
<i>Cucurbita pepo pepo</i>	Calabaza
<i>Lycopersicon esculentum esculentum</i>	Jitomate
<i>Lycopersicon esculentum leptophyllum</i>	Jitomate (cereza)
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Nopal
<i>Persea americana</i>	Aguacate
<i>Phaseolus acutifolius acutifolius</i>	Frijol
<i>Phaseolus coccineus coccineus</i>	Frijol
<i>Phaseolus dumosus</i>	Frijol
<i>Phaseolus lunatus</i>	Frijol
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol común
<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga
<i>Sechium edule</i>	Chayote
<i>Stenocereus pruinosus</i>	Pitaya
<i>Zea mays mays</i>	Maíz

Fuentes: Challenger (1998); Gliessman (1990, 1997).

y diversos que favorecen una mayor agrobiodiversidad, sobre todo para enfrentar riesgos climáticos pero también para mantener variedades de usos diversos.

Otras causas de pérdida de agrobiodiversidad, en el caso del maíz, son la sustitución de este cultivo por otros más redituables y la emigración de los campesinos en busca de mejores condiciones de vida (Ortega Paczka 1999). Los cambios climáticos adversos, como las sequías recurrentes, contribuyen a una menor producción y rendimiento de algunos cultivos, así como a la consecuente pérdida de diversidad de estos. En los últimos años, a este escenario de erosión de la agrobiodiversidad se suma la liberación en el ambiente y el incremento de la superficie de siembra de cultivos transgénicos o genéticamente modificados. Estos cultivos, hasta ahora, también presentan

homogeneidad genética y con frecuencia provocan prácticas agrícolas que no favorecen el mantenimiento de las variedades locales, como el intercambio de semillas que es una práctica fundamental y común del campesino mexicano para mantener y fomentar la agrobiodiversidad. De forma adicional, en el desarrollo de los organismos genéticamente modificados, hasta ahora, no se han considerado las necesidades prioritarias de los agricultores locales, quienes en gran medida mantienen la biodiversidad en cultivos como el maíz y algunas variedades locales de algodón.

## 7.2 LA BIOTECNOLOGÍA Y LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

Entre las revoluciones tecnológicas que han transformado la economía, la agricultura, la electricidad y la informática se reconoce como la más reciente y contemporánea a la biotecnología. Esta última incide en la esencia del ser humano y su entorno, y va más allá que las revoluciones anteriores porque además de que interviene en la cultura, también lo hace directamente en las moléculas de la herencia y en la información genética de los organismos, rompiendo las barreras de la reproducción.

La manipulación genética de los organismos vivos permite que una porción limitada e identificada de la constitución genética de un organismo se transfiera a otro de una manera más selectiva que como se hace en el mejoramiento genético tradicional; también traspasa las barreras de entrecruzamiento natural entre especies, e incluso posibilita la inserción de genes entre organismos de diferentes reinos. Lo que permite este tipo de modificaciones se identifica con el término de biotecnología moderna.<sup>2</sup> Los llamados organismos genéticamente modificados (OGM) producto de la biotecnología moderna, y también conocidos como organismos vivos modificados (OVM) o transgénicos, son organismos vivos que poseen una combinación nueva de material genético.

Por los alcances que tiene, la biotecnología moderna ha provocado un clima de discusión y preocupación genuina, sobre todo en el caso de su aplicación en plantas cultivables, las cuales se han promovido comercialmente en el mundo. En palabras de Katz y Bárcena (2004): “en el presente se asiste a la consolidación gradual de un nuevo paradigma científico-tecnológico, institucional y productivo en la agricultura. Ello evoca el concepto de destrucción creativa definido por Schumpeter, conforme al cual el cambio tecnológico abre nuevas oportunidades de ne-



gocios, genera cuasi rentas innovadoras y pone en marcha un proceso selectivo entre agentes e instituciones, del cual resultan ganadores y perdedores”.

Los intereses respecto al uso de estos cultivos son diversos y las posturas polarizadas asociadas a ellos van desde el rechazo definitivo hasta la absoluta aceptación. El problema radica en que no hay suficientes elementos de juicio fundado para adoptar alguna posición extrema, reconociendo que a los actores principales no les interesa que existan posiciones intermedias y quizás más objetivas acerca de este tema.

Las herramientas tecnológicas, así como el funcionamiento complejo de la interacción de los genes y la relación de los OGM con el ambiente son relativamente nuevas, además de que no existen suficientes estudios a largo plazo que permitan esclarecer la problemática real que incluye un componente casuístico indiscutible. En el recuadro 7.1 se analiza el potencial y riesgo de los cultivos genéticamente modificados.

En el caso particular de la biotecnología moderna aplicada a la agricultura, el desarrollo de los OGM se ha concentrado inicialmente en las necesidades identificadas por las grandes empresas transnacionales para responder a mercados cada vez más amplios, aprovechando la tecnología a su alcance. Es decir, se hace énfasis en características monogénicas enfocadas en la búsqueda de herramientas para combatir plagas que dañan cosechas producidas con sistemas de alto insumo, pero se dejan de lado características como el aumento en la productividad y el desarrollo de tolerancia a diferentes presiones abióticas, en parte porque estas son características regidas por varios genes. Existen nuevas investigaciones que toman en cuenta características más complejas, sin embargo, los intereses de las grandes desarrolladoras de OGM no necesariamente coincidirán con la búsqueda de soluciones para problemas locales, sobre todo de pequeños productores. Es aquí donde el papel del Estado es fundamental para incentivar la investigación nacional que contribuya a resolver problemas locales con mercados limitados.

Una manera de que la agrobiotecnología moderna se desarrolle en un contexto menos polarizado, sería involucrando a los campesinos y agricultores desde la etapa de desarrollo de cultivos genéticamente modificados e incluyendo programas que al mismo tiempo contribuyan a resolver problemas locales. Los campesinos son quienes han manejado durante siglos estos recursos, poseen los conocimientos y conocen sus necesidades particulares en función del ambiente, el clima y las plagas a las que se enfrentan de forma cotidiana, para encarar el desafío de la

producción de alimentos (Ortiz-García y Huerta-Ocampo 2002). Evidentemente, esta participación tendría que estar acompañada de su reflejo en el régimen de propiedad intelectual. En el recuadro 7.2 se presenta un ejercicio que, como una primera aproximación, se acerca a lo que aquí se plantea.

### 7.3 NUEVAS APLICACIONES EN CULTIVOS TRANSGÉNICOS Y EL VALOR DE LA CONSERVACIÓN DE VARIEDADES

Históricamente a las plantas se les han dado usos diferentes, comenzando por el de la alimentación. Con la aplicación de la biotecnología moderna, en la actualidad los cultivos también se están utilizando, entre otros, en los siguientes aspectos:

**Medicinal o curativo:** no solo se utiliza el extracto de sustancias directamente de las plantas derivado del conocimiento tradicional, también se producen fármacos y compuestos activos para aplicaciones a la salud humana, animal, vegetal y del ambiente, este último para la biorremediación.

**Industrial:** sobre todo para elaborar grandes cantidades de productos procesados, de tipo alimentario y recientemente de otros, entre ellos plásticos.

**Bioenergía:** producción de insumos para fuentes alternativas de energía, por ejemplo etanol, con cultivos que incrementan el contenido de azúcares para su fermentación. El principal desarrollo biotecnológico para ofrecer cultivos con mayor potencial para producir biocombustibles se ha dado a partir del maíz y la soya.

En parte, los “nuevos usos” de los cultivos implican modificaciones genéticas que pueden significar que estos cultivos ya no sean aptos para consumo humano o animal. En el recuadro 7.3, sobre cultivos biofarmacéuticos, presentamos información más detallada sobre este tema.

Independientemente de los nuevos usos que el ser humano le asigne a los cultivos, es importante conservar las especies de uso agrícola y su dinámica evolutiva, al igual que a sus parientes silvestres, incluidas las especies de origen pues representan un reservorio de diversidad genética y, por ende, fuente de información y genes para el mejoramiento. Por tanto, es necesario reconocer el valor intrínseco que poseen las diversas especies, en especial para los humanos. Al asignar un valor a estas especies que reconozca la sociedad en su conjunto, se refuerza el proceso de conservación.<sup>3</sup> Es paradójico que las empresas que utilizan la riqueza genética como insumo para las

**RECUADRO 7.1** POTENCIAL Y RIESGO DE LOS CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

Agustín López Munguía Canales

El cultivo de plantas genéticamente modificadas (GM) es el tema más controversial relacionado con la tecnología surgido de la economía global. Desde la aparición de los primeros productos de la biotecnología agrícola se han generado posturas enfrentadas acerca de sus posibles efectos: por un lado se encuentran quienes ven en estos productos graves riesgos, como el daño a la biodiversidad y a la salud del consumidor, así como la pérdida de soberanía alimentaria y vocación agrícola en los países pobres, y por el otro están quienes consideran que contribuirán a disminuir el deterioro que las prácticas agrícolas —tradicionales y modernas— provocan al medio ambiente, resolviendo además importantes problemas de producción de alimentos en términos de cantidad y calidad. Posturas análogas se han observado a lo largo de la historia ante procesos que combinan de manera radical los hábitos y quehaceres productivos de la sociedad. Así sucedió cuando se mecanizó el transporte, cuando se aplicó la energía eléctrica —y nuclear— para generar luz, o con la introducción de los antibióticos como agentes químicos terapéuticos, para citar un ejemplo del ámbito biotecnológico. Sin embargo, el espectacular avance científico y tecnológico experimentado durante el siglo xx ha exacerbado estas posturas, pues aunque se han logrado resultados formidables en términos de satisfactores para la sociedad, el costo que debemos pagar es muy alto. Y es que a medida que avanza el conocimiento que transforma nuestro entorno, este se convierte en una herramienta cada vez más rápida y poderosa, pero también, de mayor riesgo. En el caso específico de la producción de alimentos, se han logrado aminorar las hambrunas y reducir el ritmo de incorporación de bosques y selvas a la agricultura, pero el daño al ambiente y a la salud causado por las técnicas agrícolas y el uso de agroquímicos asociado a la agricultura intensiva no tiene parangón en la historia de la humanidad, lo que hace necesario un cambio urgente de estas prácticas. Sin embargo, este cambio debe darse en un mundo cuya población no deja de crecer y exige el derecho a la alimentación —lo que implica más y mejores alimentos—, pero que también está cada vez más consciente de los efectos negativos que han tenido en su salud las prácticas industriales poco rigurosas y los problemas asociados con una dieta basada en productos procesados. Así han surgido los conceptos *natural* y *orgánico* a los que el consumidor promedio ha otorgado un sentido emocional de inocuidad, aunque tenga una opinión y actitud poco informada al

respecto. El consumidor promedio ha sido convencido de que las modificaciones genéticas de las plantas son dañinas, ubicando a estos productos como *alimentos Frankenstein* a los que se identifica emocionalmente como “peligrosos”, “chatarra”, “no naturales” e incluso “cancerígenos”. A lo anterior se agrega la campaña ambientalista desatada en contra de las plantas GM, a las que se relaciona como la causa de una probable catástrofe ambiental derivada de la “contaminación” genética. Por tanto, no es de extrañar que exista mucha desconfianza y temor entre los consumidores poco informados.

Los alimentos obtenidos de cultivos GM son, desde el punto de vista de su inocuidad, los productos más exitosos y más vigilados de la historia de la agroindustria mundial: la salud del consumidor lo hace indispensable, las experiencias negativas del pasado lo ameritan y el riesgo de provocar un daño —consciente o inconscientemente— lo justifica. Se trata de una herramienta poderosa que es posible aplicar en el corto o largo plazos en prácticamente cualquier cultivo con diversos fines, como el control de plagas, la composición de la calidad nutricional y, de manera asombrosa, la adaptación a la escasez de agua o a climas extremos. Así, todo el conocimiento científico y la maquinaria analítica desarrollados para estudiar la química, la fisiología y la genética de los productos agrícolas convencionales para evaluar su riesgo y garantizar su inocuidad también han permitido determinar, con amplio detalle, la inocuidad de los productos GM. Por ello se introdujo el concepto de *equivalencia sustancial* que permite asegurar si un cultivo GM es tan seguro como su contraparte no modificada y se incluyó en los análisis de inocuidad la posible aparición de “efectos inesperados”. Así, después de recibir la opinión favorable de numerosos organismos internacionales, públicos y privados, incluida la Organización Mundial de la Salud (OMS), y llegar a un consenso internacional sobre los principios que deben regir la evaluación en materia de inocuidad, en más de 21 países se autorizó para consumo humano maíz, soya, arroz, colza, jitomate, papaya y calabaza GM, entre otras.<sup>1</sup> En todas ellas se verificó que solo se hicieran los cambios que la modificación genética implica, y que estos beneficien y no afecten al consumidor.

Sin embargo, es importante señalar que no se puede generalizar la inocuidad de los cultivos GM aprobados ni el riesgo de los que no han alcanzado la aprobación. Así, cada nuevo producto debe ser analizado con el mismo rigor con el

que han procedido hasta ahora las instancias regulatorias, las agencias públicas y las privadas. Todos los países, México en particular por ser centro de origen de diversas especies vegetales, deben incluir la seguridad ambiental en los aspectos a evaluar cuando se analice la viabilidad de un cultivo GM. Quizás el mayor riesgo relacionado con este tipo de cultivos es el de quedar al margen del uso de esta tecnología que, adaptada a las circunstancias particulares de México, puede ser una buena opción para resolver problemas específicos, sean estos de tipo ambiental, agronómico o, en especial, nutricional.

La biotecnología moderna no beneficia solo a los productores, también favorece de muy diversas formas directa o indirectamente al consumidor y al medio ambiente.<sup>2</sup> La disminución en el uso de agroquímicos, los incrementos en rendimiento y la búsqueda de una dieta balanceada —en particular en vitaminas y minerales como se ha demostrado para el caso de la vitamina A y del hierro— se pueden favorecer con modificaciones genéticas adecuadas. Esta práctica tampoco es patrimonio de las grandes empresas del campo: la creciente participación de China y Cuba en el desarrollo de plantas GM o el caso del arroz dorado desarrollado por instituciones públicas suizas son ejemplos de esta situación. En el contexto biotecnológico, el maíz ha recibido una atención especial, ya que junto con el arroz constituyen los dos sistemas vegetales de interés agrícola mejor estudiados en diferentes escalas y, como consecuencia, los más fáciles de modificar genéticamente. Debido a lo anterior y a los múltiples usos que se le ha dado a la planta de maíz en la industria alimentaria —y ahora la energética—, así como las grandes extensiones de tierra dedicadas a su cultivo, sobre todo en países desarrollados, ahora hay un interés particular de las empresas dedicadas a su explotación. En México esta situación adquiere una dimensión particular por la arraigada importancia alimenticia y cultural, y porque el

maíz es una planta originaria de México, donde aún persisten variedades nativas silvestres. Así, no es de extrañar que sea en este cultivo en el que se centren las preocupaciones, auténticas o no, de organizaciones ambientalistas y grupos de científicos relacionadas con el consumo, cultivo e importación de maíces modificados, y quienes, en el mejor de los casos, piden una reglamentación particular y rigurosa para su implementación. Es importante mencionar que en México no es posible ni recomendable mantener el cultivo de maíz al margen de los avances de la tecnología, pues es muy probable que tarde o temprano, deseable o no, de manera accidental o voluntaria lleguen variedades modificadas de maíz al campo mexicano. En consecuencia, las dimensiones que el flujo horizontal puede alcanzar deben estudiarse al tiempo que se diseñan políticas que permitan darle valor a una riqueza hasta ahora casi intangible en los mercados: la diversidad genética de nuestros maíces.

El uso racional del conocimiento moderno, en el contexto de un plan y una política nacional para el campo y la alimentación que permitan preservar la biodiversidad al mismo tiempo que se potencian los recursos naturales y los procesos tradicionales con el concurso de una sociedad informada, es el reto para el gobierno, la industria y el sector académico nacionales de cara al siglo XXI.

1 Para el caso de México se puede consultar la lista de permisos otorgados por la Sagarpa para los cultivos GM (Senasica 2006). En el ámbito internacional, los cultivos GM están siendo adoptados en países desarrollados y en vías de desarrollo, con un total de 114.3 millones de hectáreas estimadas en 2007, de acuerdo con el reporte de ISAAA Brief No. 37 (Clive 2007). En este contexto, México se encuentra en el lugar número 13 de 23 países que están adoptando esta tecnología, con cerca de 100 000 hectáreas sembradas (si se suman las de algodón y soya para 2007) según datos de Clive (2007).

2 Véase también el capítulo 8 de este volumen.

transformaciones biotecnológicas, no tengan políticas de conservación de los centros de origen y diversificación de esa riqueza, a la que tienen que recurrir periódicamente para desarrollar OGM.

En México, particularmente en el caso de las especies originarias de la región o las que se han diversificado en ella, parte de este valor está dado por la función que tienen estas especies al ser base de la alimentación de la mayoría de la población del país. Se debe hacer hincapié en que estas especies de uso agrícola representan un reservorio de genes para toda la humanidad. El reconocimiento del reservorio de genes de dos especies clave para la

alimentación mundial, maíz y trigo, se pone de manifiesto, por ejemplo, mediante el establecimiento del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)<sup>4</sup> localizado en Texcoco, Estado de México.

No es posible determinar a priori el efecto que la aplicación de la biotecnología moderna pueda tener sobre las prácticas que mantienen y generan la agrobiodiversidad, ya que los elementos implicados en las decisiones para aceptar o rechazar una nueva tecnología son diversos; además de las múltiples posibilidades de aplicación de la misma y la compleja interacción con el medio ambiente.

**RECUADRO 7.2** ¿PUEDEN LAS PEQUEÑAS COMUNIDADES RURALES BENEFICIARSE DE LA BIOTECNOLOGÍA?

Ariel Álvarez Morales • Alba E. Jofre y Garfías • Jorge Ibarra Rendón • Michelle Chauvet • Dulce María Arias • Baltazar Baltazar

Una de las primeras promesas de la biotecnología y de los mayores logros que se debían alcanzar con esta tecnología era aliviar el hambre y la pobreza en los países en desarrollo. Sin embargo, hasta ahora no existe un solo producto en el mercado destinado a cumplir con este objetivo, por lo que todavía está sin respuesta la pregunta de si puede o no la biotecnología contribuir a resolver problemas sociales en países como México. Para abordar este problema se decidió establecer un proyecto multidisciplinario (Jofre-Garfías y Álvarez-Morales 2002), multiinstitucional e incluyente que tratara de dar respuesta, de manera científica y objetiva, a preguntas como las siguientes: ¿cuáles son las características que se pueden conferir al maíz que potencialmente tengan un efecto importante en las comunidades rurales?, ¿aceptarán las comunidades rurales los productos de la nueva tecnología?, ¿las comunidades rurales están dispuestas a evaluar y trabajar con los nuevos materiales?, ¿se podría liberar maíz transgénico en México de manera segura? y ¿qué efecto tendría el flujo de transgenes a los maíces criollos o al teocinte?

Para tratar de responder a estas y otras preguntas relevantes se integró un grupo de trabajo multidisciplinario que investigara los aspectos sociales, biotecnológicos, ecológicos, el flujo génico y sus posibles consecuencias.

Algunos aspectos sociales que se consideraron son: organización social, prácticas culturales, historia de la comunidad, problemática actual, capacidad para aceptar nuevas tecnologías, interés en establecer colaboraciones, entre otros.

Los aspectos relacionados con la biodiversidad abarcaron áreas como: establecimiento de parámetros ecológicos base de las poblaciones de teocinte (banco de semillas, fenología, potencial de colonización, etc.), percepción y manejo del teocinte por parte de la comunidad y determinación de poblaciones de insectos en las poblaciones de maíz y teocinte, entre otros. Asimismo se hicieron estudios de la estructura genética del maíz y el teocinte para evaluar hibridación e introgresión.

Entre los aspectos biotecnológicos se estudió la posibilidad de transformar genéticamente algunos tipos criollos de maíz, así como evaluar el potencial de genes como el *cry1F* para el control de poblaciones de lepidópteros locales.

Todos estos estudios se llevaron a cabo sin que se liberaran materiales modificados al medio ambiente e involucrando a la población en todas las etapas del proyecto. Esta participación comunitaria se reflejó en facilitar espacio en la escuela primaria local para la instalación y cuidado de una estación meteorológica, ayuda continua de un grupo de alumnos de la

escuela en la colecta de insectos a lo largo de todo el proyecto, así como apoyo de los campesinos quienes proporcionaron materiales, acceso a sus parcelas y muchas pláticas valiosas indicando sus necesidades y observaciones particulares sobre los objetivos y desarrollo del proyecto.

**RESULTADOS PRELIMINARES**

Los resultados en el aspecto social mostraron que el problema al que se enfrentan los productores rurales de maíz es multifactorial y complejo, el cual incluye los bajos precios del maíz, la falta de apoyo técnico, la ausencia de subsidios adecuados, cambios en las costumbres y tradiciones, y, de manera sobresaliente, la migración de la población joven hacia Estados Unidos. Si bien la solución de uno de estos factores no cambia el panorama total, no precluye la posibilidad de que se pueda incidir en uno de los factores y que este tenga un efecto importante sobre la problemática.

Por tanto, al final de la primera fase de este proyecto, se vio que ofrecer un producto biotecnológico que obedezca a las demandas de los productores les puede traer beneficios sustanciales. La principal demanda de los agricultores fue encontrar un mecanismo que les permita eliminar las malezas de sus campos, ya que debido a la escasez de mano de obra para las labores de deshierbe sus campos se han visto inundados principalmente con teocinte y chayotillo. Esta situación los ha llevado en muchos casos a abandonar sus parcelas o sustituir el cultivo de maíz por avena o papa, dejando el uso de los maíces criollos.

Un maíz con tolerancia a herbicidas podría, en principio, ayudar a solucionar el problema. Se plantea un escenario en el cual los productores cuenten con el material mejorado y el herbicida correspondiente por un periodo de dos años para reducir las malezas a un nivel manejable, de forma que, después de este lapso, el agricultor mantenga sus campos libres de maleza con un mínimo de atención continua y sin la necesidad de hacer uso continuo del herbicida. Una característica adicional integrada en el maíz es la resistencia a insectos, la cual proporcionaría una mejora adicional que contribuiría a aumentar los rendimientos.

**TRABAJO FUTURO**

En los próximos dos años se planea probar esta estrategia sin hacer uso de materiales transgénicos. Se pretende sustituir

completamente el cultivo de maíz por avena o algún otro cultivo que permita la aplicación de herbicida en toda el área con problemas en dos ciclos seguidos, para después evaluar cuánto se redujeron las poblaciones de teocinte y chayotillo. Si bien los productores dejarán de cultivar maíz, recibirán una compensación adecuada.

Asimismo, con los datos obtenidos sobre flujo génico, y la

información sobre el comportamiento y ecología del teocinte, se llevarán a cabo los estudios de análisis de riesgo pertinentes que serían aplicables en caso de que se utilicen materiales genéticamente modificados, y que nos permitirán evaluar si un planteamiento de esta naturaleza es viable desde el punto de vista de la bioseguridad.

### RECUADRO 7.3 CULTIVOS BIOFARMACÉUTICOS Y SU POSIBLE RIESGO

María Amanda Gálvez Mariscal • Rosa Luz González

Los cultivos biofarmacéuticos son plantas modificadas genéticamente con las que se busca conseguir sustancias con propiedades terapéuticas, como proteínas virales para vacunas, hormonas, anticuerpos o fragmentos de anticuerpos, entre otros (Ellstrand 2003a; Gómez 2001; Ma *et al.* 2003). Las primeras proteínas farmacéuticas recombinantes derivadas de plantas fueron la hormona humana de crecimiento expresada en el tabaco en 1986 (Barta *et al.* 1986) y la seroalbúmina humana también en este cultivo y en plantas de papa en 1990 (Ma *et al.* 2005). Veinte años después se empezaron a comercializar los primeros fármacos producidos con plantas transgénicas. De esta forma se expresan de manera experimental muchas proteínas terapéuticas como: anticuerpos, derivados de sangre, citocinas, factores de crecimiento, hormonas, enzimas recombinantes, así como vacunas humanas y veterinarias (Twyman *et al.* 2005). Aunque en algunos casos se emplean cultivos celulares —de plantas, insectos, animales o microorganismos— para expresar estas moléculas, en otros se utilizan plantas completas de alfalfa, lechuga, espinaca, tabaco y maíz en cultivos confinados o a campo abierto, este último es el que tiene menores costos. Con el tiempo, la tecnología ha mejorado la expresión y el rendimiento al usar nuevos promotores, al estabilizar la proteína en los diferentes compartimientos celulares y al optimizar el procesamiento *down stream*, lo que ha contribuido a mejorar la factibilidad económica de esta aplicación (Ko y Koprowski 2005; Stewart y Knight 2005). Entre todos estos sistemas, la expresión en semillas ha resultado de enorme utilidad para acumular proteínas en un volumen relativamente pequeño, pues no se degradan porque el endospermo conserva las proteínas sin necesidad de bajas temperaturas, lo que da una gran ventaja para la producción,

por ejemplo, de vacunas orales (Han *et al.* 2006). En el caso de los cereales, el maíz, el arroz y la cebada resultaron ser alternativas interesantes, aunque el maíz tiene el mayor rendimiento anual, un contenido proteínico en la semilla moderadamente alto y su ciclo de cultivo es más corto, lo que en conjunto le da el mayor rendimiento potencial de proteína por hectárea (Stoger *et al.* 2005). Aunque los desarrolladores reconocen que el maíz tiene la desventaja de que es una planta de polinización cruzada, ningún otro cereal alcanza su rendimiento (Stoger *et al.* 2005), por lo que es el sistema de expresión más utilizado y ocupa más de 70% de los permisos concedidos por APHIS entre 1991 y 2004 (Elbeheri 2005). Hay más de 20 empresas en Estados Unidos principalmente, Canadá y Europa especializadas en estas plataformas de producción (Colorado Institute of Public Policy 2004; Huot 2003) y sus costos son menores que los de sistemas microbianos (Elbeheri 2005). Estos criterios económicos, de factibilidad técnica y la percepción del maíz como materia prima industrial son los que han permitido que este cultivo sea el más utilizado y resulte ventajoso para unos cuantos agricultores, que pueden obtener ganancias mayúsculas de sus campos; pero las desventajas y peligros potenciales no son democráticos porque estas decisiones no consideran los riesgos para los millones de personas que basan su alimentación en el maíz. ¿Cuáles serían esos riesgos? El primero es que los granos que contienen el fármaco pasarán a la cadena de producción de alimentos en operaciones industriales, ya que a simple vista es imposible diferenciarlos y pueden mezclarse inadvertidamente. Debido a que ya sucedió, no se debe descartar un manejo descuidado en el procesamiento industrial: con maíz, caso Starlink en 2000, y con arroz (USDA 2006), aunque no son biofarmacéuticos. Esto

**RECUADRO 7.3** [concluye]

ocurrió en Estados Unidos donde supuestamente están bien establecidas las reglas de bioseguridad, pero no se cumplen de forma adecuada (USDA 2005). Lo anterior tiene un efecto potencial en las poblaciones que consumen esos granos: en México el consumo per cápita varía entre 285 y 480 g diarios y llega a constituir la fuente de 40% de las proteínas por su bajo costo (Bourges 2002; FAO 2006). El efecto potencial puede ser desastroso si se junta con el segundo gran riesgo: que exista flujo génico. Esto no implica una mezcla física de granos, el peligro es que se libere un transgén farmacéutico y que se herede a los maíces criollos, donde puede perdurar varias generaciones en un sistema abierto de intercambio de semilla, como sucede en México (Cleveland y Soleri 2005). Los peligros potenciales de exposición a fármacos recombinantes por esta vía se darían en prácticamente toda la población mexicana, con un mayor acento en el segmento que produce maíz de subsistencia y semicomercial. Además, pondría en riesgo a México porque dañaría su biodiversidad. Lo anterior no sucedería en un país en el que se compra semilla cada año (Chauvet y Gálvez 2005). Usar maíz para la producción de farmacéuticos y sustancias industriales no comestibles, que también son peligrosos para la salud, responde a una serie de decisiones en las que no estamos participando los mexicanos pero nos afectan: son decisiones que toman empresas, ciudadanos y políticos de países más desarrollados tecnológicamente, donde el cabildeo se dirige a prohibir que estas prácticas se hagan con animales porque la opinión pública —que en estos países a menudo es un impulsor de cambios regulatorios— les considera más parecidos a los humanos, aunque su control sea más fácil (National Research Council 2002) y se hayan usado durante mucho tiempo para la producción de vacunas y sueros, anticuerpos, etc. Lo anterior, entre otras cosas, ha privilegiado en todo el mundo la producción con plantas, que además resulta más barata. Si bien se reconoce que todas las tecnologías acarrearán riesgos, los riesgos no son cosas, son construcciones sociales en las que el saber experto, pero también los valores y símbolos culturales desempeñan un papel clave (Beck 2004). En el caso del maíz biofarmacéutico es evidente que la participación pública y los grupos de interés de países menos desarrollados, como México, son ajenos a este proceso de toma de decisiones tecnológicas en el mundo (McMeekin *et al.* 2004). Los consorcios y sus expertos argumentan que no hay riesgos claros o comprobables en estos cultivos. Sin embargo, el hecho de que las empresas aseguradoras no participen en el negocio de la biotecnología, se debe a que saldrían perdiendo, porque sí existen peligros, y no podrían asegurar estos cultivos con

pólizas baratas (Beck 2004). Si se contamina la cadena alimentaria con granos de maíz farmacéutico, se dañaría la alimentación de 100 millones de mexicanos. Si se contamina por flujo génico el maíz en México, no sería fácil eliminarla y afectaría a 60% de las unidades productivas no comerciales y semicomerciales del país, es decir, la producción de autoconsumo en México, que utiliza 33% del área sembrada de maíz y representa 37% de la producción nacional de grano (Brush y Chauvet 2004; Nadal 2000). Esto afectaría directamente la inocuidad de la base alimentaria de millones de mexicanos, sin mencionar el daño a la megadiversidad en un centro de origen. Aunque existen métodos de contención biológica de los transgenes como la transformación de cloroplastos que se hereda por vía materna (Daniell *et al.* 2005), la inducción de la expresión con sustancias que deban adicionarse al cultivo (Han *et al.* 2006), así como sistemas de contención genética (Mascia y Flavell 2004), la solución de raíz para esta controversia es que no se utilicen cultivos de alimentos para la expresión de fármacos y sustancias no comestibles (Nature Biotechnology 2004). ¿Qué opinaría la población en Japón o en Estados Unidos si en lugar del maíz se usara arroz o trigo, ya que el pan o el arroz cocinado en sus diferentes formas son productos fundamentales en su dieta? (Kleinman *et al.* 2005). Los volúmenes de maíz que moviliza la industria alimentaria y el valor agregado de sus productos industrializados son mucho mayores que el mercado de los farmacéuticos; además de que la población afectada en caso de un escape de transgenes farmacéuticos vía la alimentación sería mayor que la beneficiada con un fármaco de bajo precio producido con maíz, siempre y cuando el precio realmente fuera barato. Es bien sabido que una parte del precio de los medicamentos se dedica sobre todo a gastos corporativos, a la recuperación del costo de investigación y desarrollo, así como en publicidad, y patentar implica un derecho de uso exclusivo que permite establecer precios que tienen un amplio margen de ganancia.

Por otro lado, los cultivos farmacéuticos no están claramente tipificados en la legislación mexicana, y hoy por hoy no existe una técnica jurídica que prevea este tipo de investigaciones y que logre emparejarse a la velocidad con que se generan nuevas biotecnologías. Redireccionar un campo tecnológico como los cultivos biofarmacéuticos hacia objetivos de mayor beneficio social constituye una tarea urgente que requiere solidaridad global, una política oportuna enmarcada en derechos humanos que no espere a que suceda la primera desgracia en la población mexicana por ser la mayor consumidora de maíz.

Sin embargo, sí se pueden establecer estrategias de elección acerca de las especies que se pretenden modificar y los cambios más convenientes respecto a las ventajas y beneficios claros para el sector agrícola y ambiental, considerando los problemas específicos de los países o de la región donde dichos cultivos genéticamente modificados se utilizarán. Asimismo, y dado que son muchos los factores que causan daños a la agrobiodiversidad, dichas estrategias deben incluir paralelamente instrumentos económicos cuyo objetivo sea controlar o revertir consecuencias negativas, así como la investigación correspondiente de largo plazo y su financiamiento (véase el recuadro 7.2).

En la definición de políticas para impulsar el desarrollo de la biotecnología, el camino escogido por muchos es el de la cautela ante las potenciales consecuencias de que esta se difunda, con la incertidumbre que implica el desconocimiento real de la interacción de una nueva inserción genética con un organismo vivo, y su evolución en el tiempo. De ahí que se retomen términos como “enfoque” o “principio precautorio”<sup>5</sup> presentes en documentos internacionales, que a su vez se han incorporado efectivamente a instrumentos legales nacionales. Tanto en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología<sup>6</sup> como en la Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM)<sup>7</sup> se reconoce la importancia del principio precautorio, emanado de la Agenda 21 (Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo), en el contexto de las diferentes actividades relacionadas con los OGM. El principio precautorio establece que en caso de que no haya certeza científica por falta de información y conocimiento suficientes con respecto a los posibles efectos adversos de los OGM, se debe tomar una actitud precavida con el propósito de evitar o minimizar los efectos adversos potenciales.

Las sociedades modernas consideran el principio precautorio como uno de los criterios fundamentales en la toma de decisiones. La importancia de este enfoque se deriva de diversos accidentes industriales ocurridos alrededor del mundo, los cuales disminuyeron la confianza y el optimismo que suscitó el desarrollo tecnológico.

El concepto de sociedades del riesgo, impulsado por Giddens (1999) y Beck (1992), se refiere a que las sociedades se están estructurando para contrarrestar los riesgos a los que son vulnerables, tradicionalmente en respuesta a los naturales, pero en la actualidad se pone atención especial en aquellos riesgos creados por algunas prácticas del ser humano. En este contexto se difunde la biotecnología moderna: las perspectivas de incremento en la productividad por medio de la agrobiotecnología se enfren-

tan a una creciente sensibilidad al riesgo que esta implica (véase el recuadro 7.4).

México, con graves problemas de pobreza y deterioro ambiental, y además uno de los países megadiversos y centro de origen y diversificación de importantes cultivos candidatos a ser transformados genéticamente, tiene la responsabilidad de custodiar la integridad de su biodiversidad. Por ello es imprescindible aplicar un enfoque precautorio que contribuya a mantener y potenciar adecuadamente la riqueza biológica. Aunado a esto, también debe contar con la capacidad de recuperar biodiversidad ante un escenario de pérdida o de introgresión de construcciones genéticas, si estas se llegaran a introducir de una manera no deseada. Así, el “cómo” se manejan los recursos genéticos en el contexto de un país al que le interesa el uso de la “biotecnología moderna” cobra una dimensión importante. Esto con la idea de superar la imperante pobreza, que mejore la calidad de vida de todos conservando la biodiversidad y cuidando la salud humana ante potenciales riesgos (a corto, mediano y largo plazos) derivados de actividades relacionadas con el uso de OGM. Es claro que lo que debe informar y fundamentar las decisiones asociadas a un enfoque precautorio, es también el conocimiento de las alternativas tecnológicas de producción de alimentos que se utilizan actualmente en nuestro país y cómo estas influyen o no en el deterioro ambiental o en la productividad, además de sus repercusiones en la conservación de la diversidad genética de los cultivos.

Adicionalmente, para el caso particular del uso de cultivos como el maíz, que además tiene un profundo arraigo social, cultural y hasta religioso en México, se debería demostrar contundentemente que en la modificación genética que se llegue a utilizar en el campo, los beneficios superarán claramente los costos y riesgos asociados, y que en ningún caso los efectos negativos serán irreversibles.

Para ello es preciso reforzar las iniciativas tomadas por México desde 2007, que para el caso del maíz implica: 1] el registro y las colectas de la diversidad de cultivos locales, razas y parientes silvestres domesticados o no; 2] la evaluación del desempeño de instituciones públicas o privadas en los ámbitos local, estatal y federal; 3] la colaboración entre dichas instituciones y los productores; 4] el fortalecimiento de los bancos de genes, organizados en redes y con información acerca de semillas propágulos y sus formas de conservación, y 5] la capacitación, en particular en los campos de evolución de cultivos y en la conservación y desarrollo del germoplasma, campo en el

**RECUADRO 7.4** REFLEXIONES EN TORNO A LOS RIESGOS EN RELACIÓN CON LOS OGM

Santiago Lorenzo Alonso

El concepto de construcción social del riesgo se ha generado a partir de dos interpretaciones diferentes, pero complementarias, del fenómeno: una percepción fundamentada en la aceptación social del riesgo y la otra en la de vulnerabilidad.

El enfoque basado en la percepción de aceptación social del riesgo define una etapa, la de los “riesgos insoportables”, que se refiere a desastres ocasionados por accidentes. En consecuencia, el riesgo se distingue entre aceptable y no aceptable. De acuerdo con análisis colectivos de costo-beneficio, el grado de aceptación es diferente en cada sociedad.

Cada forma de organización social está dispuesta a aceptar o evitar determinados riesgos, se trata de un “sesgo cultural” que guía nuestra manera de percibir una serie de aspectos (Bestard 1996). El riesgo es una construcción colectiva y cultural; no es un ente material objetivo sino una elaboración, una construcción intelectual que se presta particularmente para llevar a cabo evaluaciones sociales de probabilidades y de valores (Douglas 1987). Es un producto conjunto de conocimiento y aceptación, depende de la percepción que de él se tenga.

Por otra parte y como complemento de lo anterior, la interpretación que destaca la característica de vulnerabilidad se funda en la creciente evidencia de “que muchos de los desastres tradicionalmente atribuidos a causas naturales han sido generados por prácticas humanas relacionadas con la degradación ambiental, el crecimiento demográfico y los procesos de urbanización [...] vinculados [...] con el crecimiento de las desigualdades socioeconómicas [que resultan en] las crecientes probabilidades de exposición a la ocurrencia de desastres sobre grupos sociales caracterizados por una elevada vulnerabilidad” (García Acosta 2005).

En esta interpretación se concibe el riesgo como resultado de un proceso de estructuración social de las circunstancias que posibilitan el evento catastrófico; decisiones y actos que dan origen a mayor vulnerabilidad ante un suceso probable.

En el caso que nos atañe, que se liberen al ambiente organismos genéticamente modificados, la única posibilidad de que no ocurra un flujo génico entre transgénicos y domesticados o silvestres es que el transgénico no se siembre en ningún lugar, ni en pruebas piloto. Pero una vez sembrado, el rango de probabilidades se abre a una combinación posiblemente infinita de eventos. Las circunstancias en las que puede ocurrir un flujo génico son amplias y sus características no siempre son permanentes o trascendentes. Que el flujo se convierta en un desastre o no es consecuencia de la combinación de resultados en una cadena de eslabones con

rango binario. Pero en el hecho de que esto se refleje en la percepción de la gente como un desastre, interviene la posición que haya construido la subjetividad colectiva. ¿Hasta qué punto la presencia de rasgos transgénicos en un espécimen silvestre es un desastre? Para algunos el simple hecho lo es, para otros, por el contrario, el evento amplía la biodiversidad del espécimen al adicionar genes a los ya existentes en la especie. La demostración de si es un desastre o no, potencialmente puede durar más de una generación de humanos. Por ello, el evento y la percepción del mismo se relaciona con “la posibilidad de presencia de amenazas y la exposición a ellas en espacios definidos y vinculada con determinadas dimensiones de vulnerabilidad” (García Acosta 2005).

La actual batalla conceptual y de definición de políticas públicas frente a la difusión de la biotecnología en la agricultura es producto de las diferentes ideas acerca de la función de la tecnología en general y sus efectos en la conformación de nuestras sociedades. Un cambio tecnológico conlleva situaciones de las que resultan actores sociales mejor y peor posicionados y con diferentes grados de adaptabilidad. De manera que “el riesgo es un producto de conflicto de intereses, bienes y accesos diferenciales, público y privado, público y público.” (Herzer 2006).

Algunas experiencias relacionadas con la tecnología y el desarrollo económico mundial tienen que ver con el conflicto al que está sujeta la biotecnología, pues la actual inequidad en la distribución de un ingreso varias veces multiplicado por la productividad de la difusión tecnológica hace desconfiar a un segmento amplio de la población sobre los beneficios anunciados en caso de que se desarrollen OGM agrícolas; además de que todavía no se tiene claro qué tan necesarios son y los riesgos son tan inciertos como sus beneficios. La sociedad no está bien informada ni de unos ni de otros, lo cual provoca que el debate derive en prejuicios que dañan un proceso de adquisición de conocimiento sobre una nueva tecnología, sus aplicaciones y sus consecuencias.

En este contexto, pese a que la situación económica de nuestro país sugiera que la urgencia de mejoras económicas para la mayoría de la población rural marginada llevaría a permitir la adopción de procesos que incrementen la productividad —supuesto clave para la introducción de los OGM—, la reciente historia de acontecimientos negativos (desastres naturales, crisis políticas y económicas) provoca un clima de desconfianza a la autoridad y, en general, de aversión al riesgo, aspectos que dominan el actual debate.



que reside el futuro de los bancos de genes y de las instituciones públicas.

## 7.4 LA BIOSEGURIDAD

La bioseguridad, como concepto de trabajo, se define aquí como “la aplicación de herramientas para garantizar un uso responsable y seguro de la biotecnología”, y en esto intervienen múltiples disciplinas, enfoques y conceptos que, por definición, trascienden el aspecto técnico y son relevantes desde la perspectiva social (véase el recuadro 7.5). Bioseguridad no significa detener o impedir el desarrollo de la biotecnología moderna; en todo caso, incentiva las investigaciones biotecnológicas que incorporan la bioseguridad, lo que le da mayor legitimidad al uso de esta tecnología en la sociedad. El concepto de bioseguridad debe incluirse en cada desarrollo biotecnológico desde su concepción, para que lo asuman quienes lo llevan a cabo, los que lo regulan y sus usuarios directos e indirectos, de forma que solo los proyectos “bioseguros” sean los que prevalezcan y sean aceptados por la sociedad en su conjunto. Esto está claramente relacionado con el análisis de riesgo, que se trata enseñada.

### 7.4.1 El análisis de riesgo

Las actividades derivadas del uso de OGM plantean la necesidad de realizar evaluaciones científicas de riesgo con un enfoque de “caso por caso”, en las que se incluyan los tres tipos de riesgos identificados: para el medio ambiente, para la salud humana y para las actividades socioeconómicas, así como desarrollar la capacidad institucional para llevar a cabo dichas evaluaciones. El análisis de riesgo es una técnica aplicada en diferentes áreas con el propósito de prevenir y minimizar efectos adversos, y considera tres etapas que se retroalimentan entre sí: la evaluación, el manejo y la comunicación del riesgo.

La evaluación de los riesgos al ambiente, de acuerdo con el Convenio sobre la Diversidad Biológica, debe abarcar los tres aspectos en los que se manifiesta la biodiversidad, es decir, el genético, las poblaciones de especies y el ecosistémico. Además, estas evaluaciones, sustentadas en evidencia científica, deben considerar todos los componentes que participan en los OGM: los organismos donadores, el organismo receptor, el método de inserción, la composición completa de la construcción genética insertada, el sitio del genoma receptor donde se insertó el gen, la estabilidad de la construcción genética insertada

(al igual que la expresión de la misma), las condiciones del ambiente donde se quieren liberar y las interacciones de los organismos con su entorno biótico y abiótico. Más aún, para que la evaluación de riesgos tenga un carácter informativo real, debe incluir una comparación con otras alternativas de uso de los organismos convencionales. La complejidad de este enfoque integral es necesaria.

Para el caso de México es de crucial importancia considerar los potenciales riesgos socioeconómicos que puedan surgir de la implementación de determinados paquetes biotecnológicos (véase el recuadro 7.5), así como la diversidad de los sistemas agrícolas y las distintas prácticas utilizadas en el país. En muchos casos, estos sistemas son sumamente contrastantes con las prácticas de extensos monocultivos de alto insumo que requieren semillas para cada temporada, aspectos que caracterizan hasta ahora al cultivo de OGM. Un componente importante en este contexto es el hecho de que el desarrollo y la comercialización de las semillas, incluidas las genéticamente modificadas, en la actualidad prácticamente todas se encuentran en manos de unas cuantas grandes compañías transnacionales.

Una tarea fundamental es fomentar la investigación biotecnológica nacional en instituciones que den respuestas a los problemas que enfrenta la agricultura mexicana. Lo anterior se debe hacer de manera responsable, con las herramientas que proporciona la bioseguridad y con enfoques propios que aprovechen de manera sustentable la biodiversidad como el recurso que es patrimonio con el que México cuenta. Pero eso no es todo; una vez que se cuente con los productos adecuados, diseñados para resolver problemas nacionales, el Estado debe establecer mecanismos que propicien su desarrollo y eventual comercialización.

Un problema muy grave para el país es la sequía y la poca disponibilidad de agua para riego, pero a la vez en México existen variedades de maíz seleccionadas tradicionalmente que toleran ciertos grados de sequía. Financiar investigaciones biotecnológicas que permitan identificar los genes propios del maíz con esta u otras características útiles posibilitaría el desarrollo de variedades locales adaptadas, y haría patente el valor intrínseco de la agrobiodiversidad y de su conocimiento. Este es un ejemplo de cómo al mejoramiento genético tradicional puede sumarse el uso de herramientas moleculares mediante la caracterización del germoplasma. El mejoramiento genético tradicional sumado a las herramientas moleculares traería un cambio del modelo de desarrollo tradicional emanado de las instituciones públicas, hacia mecanismos de

**RECUADRO 7.5** BIOSEGURIDAD Y SOCIEDAD

Michelle Chauvet

La importancia de incluir las consideraciones sociales en los análisis de riesgo en bioseguridad los hace más completos y estos no se limitan solo a los aspectos ambientales.

Desde la perspectiva del científico los alcances de la ciencia y la tecnología son unos, sin embargo, al momento de aplicarlos socialmente pueden ser otros más limitados o diferentes, por lo que se deben evaluar en las condiciones reales. Las ciencias sociales tienen mucho que aportar en este terreno porque cumplen dos funciones sustanciales: en el enlace entre las necesidades e intereses de los actores sociales y los desarrollos tecnológicos, y para advertir de los riesgos potenciales que pudieran acarrear.

Entre los ámbitos de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología relacionados con la regulación en bioseguridad es importante destacar las relaciones entre el Estado, el mercado y la sociedad.

En cuanto al Estado, si bien debe contribuir a la competitividad de los productores, esta no puede poner en riesgo los recursos naturales. Las políticas económicas, de ciencia y tecnología y de bioseguridad tienen que articularse a fin de alcanzar objetivos de beneficio social amplio. Al Estado le corresponde crear y fortalecer instituciones dedicadas a la bioseguridad.

Con respecto al mercado la tendencia cada vez mayor es hacia empresas socialmente responsables. Esta característica parte de la demanda de los consumidores que exigen productos no solo de calidad, sino que en su proceso no hayan deteriorado el ambiente o que provengan de condiciones laborales injustas. Otro requerimiento que se está imponiendo, sobre todo en el mercado alimentario, es el de trazabilidad, es decir, el rastreo del alimento desde su siembra hasta su distribución y la demanda del etiquetado para los productos genéticamente modificados responde a esa exigencia.

Por último, en el aspecto social se enfrentan, en lugar de asociarse, el conocimiento local y el conocimiento científico. La relación de las comunidades indígenas con los recursos naturales es muy especial dada su cosmovisión que le imprime valores intangibles a tales recursos, es decir, más allá de lo que son los reducidos análisis de costo-beneficio. Los valores culturales están íntimamente relacionados con el uso del territorio y por ello hay una coincidencia entre la diversidad biológica y la cultural, como se evidencia en esta obra.

Un tema social fundamental es la participación pública en la toma de decisiones, estrechamente vinculada con el respeto a las diversas formas culturales de uso y acceso a los recursos fitogenéticos. Las demandas sociales que tienen que ver con la

bioseguridad de los organismos genéticamente modificados son nuevas en relación con otras más convencionales, como las salariales o de servicios, y es justamente este carácter de novedad lo que exige también nuevos canales de solución y negociación, distintos a los tradicionales: los partidos políticos y el Estado. En otras palabras, acerca de cómo instrumentar socialmente la participación pública en materia de bioseguridad se está en proceso de aprendizaje y se requiere una gran creatividad en este renglón. Es poca la participación ciudadana porque no existen las estructuras y el aprendizaje para realizarla, por lo que se debe hacer un esfuerzo para buscar maneras realistas de lograr la participación significativa de los ciudadanos (Fischer 2002). No basta con disponer de la tecnología, también cuenta la capacidad de procesamiento de esta (González 2004).

Una meta a seguir en relación con la participación social es, como sostiene Snow: “alfabetizar en ciencia y tecnología a ciudadanos que sean capaces de tomar decisiones informadas, por una parte, y promover el pensamiento crítico y la independencia intelectual en los expertos al servicio de la sociedad, por otra” (López-Cerezo 1998).

Resumiendo, en las consideraciones sociales de los análisis de riesgo en materia de bioseguridad la acción coordinada de los ámbitos estatal, mercantil y social puede llevar a resolver problemas, en lugar de crear nuevos; desafortunadamente, en las condiciones actuales privan más los intereses comerciales sobre los otros.

Una metodología que puede contribuir a incorporar los aspectos sociales en los análisis de riesgo de las aplicaciones de la biotecnología moderna es la evaluación del impacto social (SIA: social impact assessment), cuyo objetivo es asegurar que en el desarrollo se maximicen los beneficios y se minimicen los costos, sobre todo aquellos que afectan a la comunidad. Como premisas de la evaluación del impacto social se debe poner menos atención en el beneficio individual y maximizar el beneficio social; el desarrollo tecnológico debe ser aceptable para la comunidad, equitativo y sustentable y el mejoramiento del bienestar de la comunidad tiene que ser explícito (Vanclay 2003).

Otra iniciativa es el debate científico sobre las nuevas tecnologías y la búsqueda de procesos de negociación entre las organizaciones de la sociedad civil y los investigadores para encontrar las dimensiones sociales y políticas de los nuevos desarrollos tecnológicos, con el objetivo de *rediseñarlos*. Con esta perspectiva trabajan los editores del *Journal Tailoring Biotechnologies*.

Estos ejemplos son buenos puntos de partida para aplicar en las decisiones sobre el uso de las nuevas tecnologías.

producción, con tecnología de punta, dirigidos a resolver problemas como control de CO<sub>2</sub>, eficiencia en el uso del agua, seguridad alimentaria, cambio climático y diversos problemas ambientales.

Existirán casos en los que no se necesite insertar genes de otras especies para contribuir a resolver problemas que enfrenta un creciente número de agricultores en México.

#### 7.4.2 Relación entre los OGM y la biodiversidad

Entre los posibles riesgos potenciales ambientales asociados con la introducción de OGM al medio ambiente, y que es necesario evaluar en el análisis de riesgo, se encuentran los siguientes: generación de “supermalezas” o introducción de especies invasoras; posibilidad de flujo génico entre el OGM y el cultivo convencional; posibilidad de flujo génico entre el OGM y especies silvestres relacionadas; posibilidad del OGM de convertirse en una plaga, peste o patógeno; posibilidad de afectar organismos no blanco y organismos benéficos; posibilidad de desarrollo de nuevos virus; erosión genética y pérdida de diversidad; sustitución del nicho de la plaga objetivo por otra; evolución de la resistencia en plagas; cambios en las interacciones de la comunidad; modificación de los ciclos ecológicos; desplazamiento competitivo y efectos no esperados (Conner *et al.* 2003; Ellstrand 2003b; Rissler y Mellon 1996; Sharma y Ortiz 2000; Snow 2002; Stewart *et al.* 2003).

Algunos de estos riesgos no son exclusivos del uso de cultivos GM, y varios de ellos se relacionan con el flujo génico desde un cultivo genéticamente modificado hacia otros cultivos no modificados genéticamente o hacia parientes silvestres. Sin embargo, el riesgo de flujo génico no necesariamente constituye *per se* un efecto negativo, pero sí lo puede generar el efecto propio de la transferencia del transgén, por ejemplo, por ventajas en la adecuación derivadas del gen. Además puede haber consecuencias económicas o de percepción para algunos agricultores, particularmente en el caso de la agricultura orgánica, la cual tiene un mercado en crecimiento.

Los beneficios de los OGM se pueden catalogar, igual que las objeciones, como intrínsecos y extrínsecos, demostrables o debatibles. Con frecuencia se dice que la agrobiotecnología aumenta la productividad agrícola, disminuye el uso de plaguicidas y herbicidas y mejora la nutrición de la población. Sin embargo, esto debe fundamentarse casuísticamente, ya que estos beneficios dependen de una serie de variables que no siempre están presentes durante el desarrollo de una cosecha.

Actualmente el aumento de la productividad se presupone por la introducción de modificaciones genéticas que incrementan la resistencia de una especie ante una plaga o la convierten en tolerante a algunos herbicidas. Estas características pueden contrarrestar las altas pérdidas de cosechas por plagas o por la invasión de otras hierbas, alcanzando un rango de entre 20 y 40 por ciento (Solbrig 2004). Sin embargo, en ausencia de la plaga blanco u objetivo para el que se desarrolló el OGM, o junto con numerosas plagas (en el caso de México existe una gran diversidad de insectos que en ciertas circunstancias se les puede considerar plaga), o sin la presencia de insumos adicionales como fertilizante o riego, los incrementos en productividad esperados podrían no darse, por lo que no se justificaría el costo de adoptar esta tecnología.

Independientemente de que en las distintas posturas se reflejen algunas subjetividades, que no se puede decir que sean concluyentes, existen experiencias documentadas para alimentar tanto el optimismo como el escepticismo. Los principales argumentos para desarrollar cultivos GM son su mayor productividad, la posibilidad de hacer frente a la creciente necesidad de cosecha de alimentos y, el más reciente, producir materia prima para biocombustibles. Algunos estudios muestran que sí hay un aumento de la productividad, pero otros dicen que esta no se da después de la primera temporada. Ablin y Paz (2004) señalan que “el vertiginoso ritmo de incorporación de la soja genéticamente modificada a la agricultura argentina refleja las considerables ventajas de dichas semillas”; los datos disponibles indican hasta 29.5% de margen adicional (aunque, hay que tomar en cuenta que en Argentina no están patentados, por lo que no se paga regalía; esto aumenta el rendimiento económico, que es lo que miden estos estudios). También hay argumentos acerca de que la productividad no aumenta con los OGM. En un estudio exhaustivo y respaldado con cifras, Friends of the Earth (2007) aporta datos sobre el resultado contrario para los campesinos en el caso de la soya en Paraguay y Brasil, y del algodón en México, India, Colombia, Sudáfrica, Australia y Argentina. Con estos cultivos se ha hecho poco, si acaso, para ayudar a solucionar los grandes problemas que tienen los agricultores en la mayoría de los países. El informe va más allá: asevera que los cultivos GM a menudo se desempeñan peor que sus parientes convencionales, incrementando el uso de plaguicidas y sin aumentar los rendimientos. Señala como una causa de ello las condiciones de sequía imperantes en la mayoría de esos países y para lo cual los transgénicos desarrollados son menos aptos que las semillas convencionales (por

ejemplo, en Paraguay se esperaba un rendimiento de soya RR de 2 200 kg/ha y quedó en únicamente 800 kg/ha). Por la bondad del régimen climático, dan como excepción a Estados Unidos y Argentina en soya.<sup>8</sup>

En varios estudios de caso citados por Morales y Schaper (2004) se señalan los rendimientos comparativos de varios cultivos: Canadá, el rendimiento de la colza convencional fue mayor, tanto física como monetariamente, en cerca de 5%: en el caso de la soya en Estados Unidos, otro estudio aporta un caso en Illinois en el que la soya transgénica da 3.5% más de rendimiento físico entre otros siete casos estatales en los que la semilla convencional da entre 3 y 12 por ciento adicional.

Por otra parte, en el caso del algodón en Sudáfrica, según Kirsten *et al.* (2002), los granjeros locales no consideran el incremento en la cosecha como argumento principal para adoptar el cultivo GM, sino el gasto que evitan por el uso de plaguicidas, ahorro que se pierde por el costo de las semillas transgénicas.<sup>9</sup>

No habrá duda de los beneficios de la biotecnología cuando se conozca mejor en qué condiciones los cultivos pueden tener un rendimiento óptimo. Aunque también se debe reconocer que los riesgos existen, de eso tampoco hay duda. Por ello, la decisión de introducir OGM y, en su caso, el fortalecimiento de la bioseguridad, tiene gran importancia en la aplicación de la agrobiotecnología en un país megadiverso como México, en especial porque es centro de origen y diversificación de especies que son básicas en la alimentación no solo de nuestro país sino del mundo, lo que implica una gran responsabilidad (véase el cuadro 7.1).

En este contexto, la Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), así como otros instrumentos internacionales relacionados constituyen un avance importante en el desarrollo de las diferentes actividades que llevan a cabo distintas instituciones, especialmente porque se delimitan en el ámbito nacional las competencias de las autoridades en el tema, y su objetivo es prevenir, evitar o reducir los posibles riesgos que las prácticas con OGM pudieran ocasionar a la salud humana, al ambiente y a la diversidad biológica o a la sanidad animal, vegetal y acuícola.

### 7.4.3 Regulación y política

En el ámbito internacional se ha reconocido, por un lado, que la biotecnología moderna tiene grandes posibilidades de contribuir al bienestar humano si se desarrolla y utiliza con medidas de seguridad adecuadas para el me-

dio ambiente y la salud humana, y por el otro, la necesidad de salvaguardar, debido a su crucial importancia para la humanidad, los centros de origen y de diversidad genética. De hecho, el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología es un tratado internacional vinculante que regula el movimiento transfronterizo de OGM, donde se sustenta un marco normativo internacional y se crea un entorno para aplicar la biotecnología de forma adecuada para el medio ambiente, considerando los riesgos a la salud humana.

El Protocolo de Cartagena pretende contribuir a obtener los máximos beneficios del potencial de la biotecnología y reducir los riesgos para el medio ambiente y para la salud humana<sup>10</sup> mediante la bioseguridad, la cual este instrumento internacional define como la aplicación de lineamientos, medidas y acciones de prevención, control, mitigación y remediación de impactos y repercusiones adversas a la salud y al ambiente asociados al uso y manejo de los OGM producto de la biotecnología moderna.

México participó intensamente antes y durante las negociaciones del Protocolo de Cartagena, que entró en vigor el 11 de septiembre de 2003, y ahora es uno de los estados parte de este tratado, junto con más de 146 países.<sup>11</sup> Contrario a la percepción generalizada en los sectores vinculados al libre comercio, que es común que opine que los acuerdos multilaterales ambientales obstaculizan el comercio, el Protocolo de Cartagena promueve la reducción de los potenciales obstáculos no arancelarios con la creación de unas reglas mínimas, claras y comunes entre los estados parte del protocolo. El objetivo es evitar que los movimientos transfronterizos de OGM estén sujetos a una lista diferente de requisitos para su importación en cada país involucrado en su comercio, con los cuales se busca garantizar la bioseguridad.

En el ámbito nacional, después de varias iniciativas, diversas versiones y muchos debates finalmente se aprobó la Ley de Bioseguridad de los OGM y se publicó en 2005. Sin embargo, su instrumentación ha sido muy difícil por diversas razones, entre las que destacan: los intereses contrastantes alrededor del tema, una ley fraccionada y en algunos casos incoherente debido a los diferentes actores que participan en el análisis y edición de las distintas versiones de trabajo de la LBOGM. Aunado a esto, la ley establece nuevas atribuciones para el caso particular del sector ambiental que resultan en procesos como resolución de permisos, monitoreo y vigilancia de los OGM en los que este sector no estaba involucrado antes, por lo que el cumplimiento de estas nuevas responsabilidades se ve limitado porque cuentan con un reducido número de per-

sonal capacitado y con recursos escasos. En otros sectores del gobierno, como salud y agricultura, con amplias competencias para implementar la LBOGM, también son todavía escasos el personal capacitado, la infraestructura y los recursos económicos asignados. Estos aspectos deberían revertirse a la brevedad para que los instrumentos legales con los que se cuenta sean efectivos y eficientes.

#### 7.4.4 La participación pública y la bioseguridad

El uso de la agrobiotecnología ha enfrentado diversas objeciones que Solbrig (2004) cataloga como intrínsecas y extrínsecas. Según este autor, la validez de las primeras se puede refutar o demostrar con experimentos y observaciones. En cambio, las segundas son de índole ética o filosófica y se refieren al modo en que se interpreta la naturaleza y el alcance que pueda tener la agrobiotecnología. Es decir, las objeciones intrínsecas se refieren a las consecuencias de la inserción de genes de otras especies, virus o bacterias en una especie determinada y su efecto en la salud humana y los ecosistemas. Estos incluyen, por ejemplo, el hecho de que los OGM puedan convertirse en malezas más difíciles de combatir o que, por su adecuación incrementada, desplacen aceleradamente a otras variedades tradicionales de la misma especie, mermando con esto la variabilidad genética de la misma. Las objeciones extrínsecas están ligadas, por un lado, a los aspectos morales y éticos que surgen ante la asimilación de una tecnología que cambia definitivamente la forma que toma la vida en la Tierra y, por otro lado, determina la transformación de la cadena productiva agrícola y su relación con su entorno natural.

En el ámbito de percepción pública, la repercusión de los OGM es más compleja, ya que en gran medida no solo depende de la información con que se cuente y cómo se interprete, pues también se relaciona con creencias y tradiciones arraigadas, y por ello admitir la “modificación genética que rompe con las barreras naturales de la reproducción” no corresponde con los valores o principios que rigen la vida cotidiana en general.

Los estudiosos de la comunicación de riesgos han identificado distintos aspectos que influyen directamente en la percepción de los riesgos y, por tanto, en su aceptación o rechazo. Entre estos se encuentran los siguientes: si la exposición a determinado riesgo es voluntaria o impuesta; si tenemos control o no al asumir determinado riesgo; si es un riesgo natural o “artificial o producido”; si el riesgo nos es familiar o desconocido; el conocimiento que se tiene del riesgo en función de si está o no relacionado con

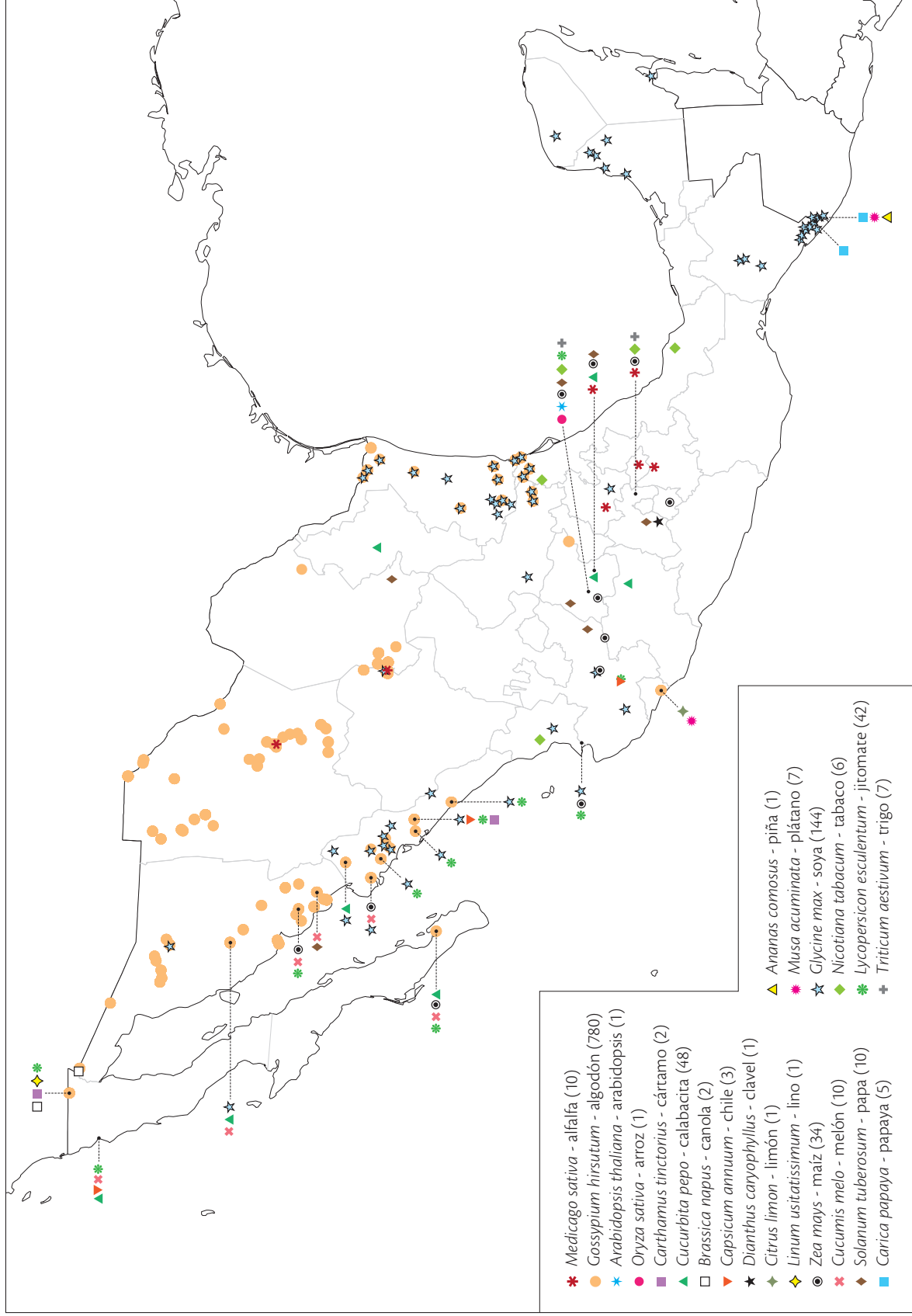
incertidumbres; si la distribución del riesgo es amplia o afecta a grupos vulnerables; o si se trata de un riesgo inmediato y catastrófico o diferido y no catastrófico. El caso del uso de la tecnología del ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y de los OGM se asocia con algunos aspectos que tienden a incrementar la percepción del riesgo. Se trata de una nueva tecnología que se considera ajena y artificial, que la gran mayoría de la población desconoce y no tiene control sobre su exposición, y además se relaciona con ciertos niveles de incertidumbre. Algunos de estos aspectos podrían manejarse sencillamente con mayor información, mientras que otros son más difíciles de controlar. Paradójicamente, actividades que se regulan de manera estricta se perciben como más riesgosas; pero una mayor regulación también incrementa la confianza en las instituciones, lo que a su vez puede influir en una percepción de menor riesgo.

Se debe buscar la participación pública en el proceso de toma de decisiones, como lo expresa el Protocolo de Cartagena en su artículo 23. Sin embargo, una consulta pública que busca ser participativa y efectiva debe partir de un impulso firme de concienciación, educación incluyente y acceso real a la información por parte de todos los sectores. Para México este es uno de los mayores retos por sus grandes contrastes, limitaciones y rezagos de una considerable proporción de sus habitantes, prevaleciente en gran medida en las comunidades indígenas y locales que mantienen con una agricultura de subsistencia una enorme diversidad de cultivos. En este sentido el ejercicio de la tolerancia y el respeto es primordial para mantener una sociedad armónica.

### 7.5 LA BIOSEGURIDAD EN MÉXICO

México ha sido pionero en la experimentación con OGM de uso agrícola. Las primeras solicitudes de liberaciones de OGM al ambiente con fines experimentales se presentaron en 1988, pero apenas en 1991 se liberó el primero: jitomate (*Lycopersicon esculentum*) resistente a insectos. Desde entonces y hasta 2006 se han sembrado OGM de 21 cultivos, todos en etapa experimental, con un total de 1 116 liberaciones caso por caso. Como se puede observar en la figura 7.1, las liberaciones se han llevado a cabo en distintas zonas del país; destacan el caso del algodón en el norte y de la soya en el sur.

En la figura 7.2 se puede observar que la superficie total sembrada de algodón (convencional + GM) en todo el país tuvo una disminución muy severa en el periodo



**Figura 7.1** Liberaciones de OGM en México permitidas en el periodo 1991-2006. Fuentes: Senasica (2006); SIAP (2007).  
 Nota: entre paréntesis se indica el número de liberaciones por cultivo.

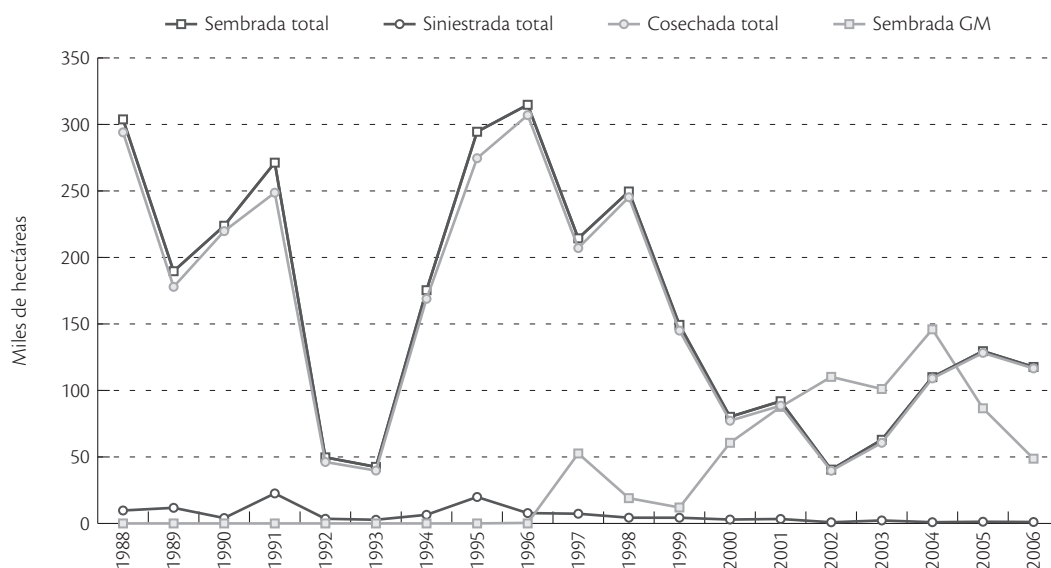


Figura 7.2 Superficie nacional sembrada de algodón. Fuentes: Senasica (2006); SIAP (2007).

1992-1993, debido principalmente a las emergencias fitosanitarias que se presentaron (Massieu *et al.* 2000; Traxler y Godoy-Ávila 2004). A partir del año 1995 comenzó la siembra experimental de algodón GM en varios sitios de la República, y alcanzó la máxima superficie permitida por la Sagarpa en 2004, siendo el algodón Bollgard (genéricamente denominado como Bt, que confiere resistencia a plagas de lepidópteros) una de las herramientas del programa integral de manejo de plagas aldoneras emprendido por la autoridad sanitaria (Massieu *et al.* 2000). Desde entonces la superficie sembrada de algodón GM ha aumentado hasta casi coincidir con los totales nacionales. No obstante estas tendencias, a la fecha los beneficios agrícolas concretos no se han analizado de manera integrada y sólida.

Desafortunadamente, y en parte porque las liberaciones al ambiente de estos cultivos se llevaron a cabo en un régimen legal relativamente limitado y enfocado sobre todo desde el sector agrícola, no se cuenta con información fundamentada acerca de los efectos del uso de estos cultivos biotecnológicos en el ambiente. Por tal motivo se requiere con urgencia integrar de manera consistente la información relevante sobre el uso de plaguicidas y herbicidas en estos cultivos GM, en comparación con los convencionales. Adicionalmente es necesario generar información de línea base y fomentar la investigación en materia de bioseguridad sobre los efectos de estos cultivos a organismos “no blanco”, a la diversidad biológica y

al medio ambiente, en comparación con otras opciones agrícolas como los cultivos convencionales y sus prácticas relacionadas.

En México se conformó en 1999 la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem), la cual busca de manera incluyente generar políticas y coordinar acciones sobre el tema entre las dependencias del gobierno federal con competencia en la materia. La Cibiogem, como se establece en la Ley de Bioseguridad, incluye además un consejo consultivo científico y un consejo consultivo mixto, lo que debería garantizar una mayor participación pública y una toma de decisiones fundamentada científicamente. Además, México forma parte del Tratado de Libre Comercio con Canadá y Estados Unidos;<sup>12</sup> que lo mantiene en un puesto de referencia sobre el tema para muchos otros países, no sólo de América Latina sino del resto de mundo.

En materia de investigación en biotecnología nuestro país cuenta con un grupo de 762 reconocidos biotecnólogos repartidos en 109 institutos de investigación científica (Bolívar 2003), quienes desarrollan diversos proyectos de investigación. Para ser congruentes con las características de nuestro país, sería imperativo que al menos parte de dicha investigación se vincule a la realidad nacional y dé respuesta a las interrogantes sobre el comportamiento de los riesgos asociados al uso de estos organismos, con el objetivo primordial de despolarizar el debate alrededor de su uso.

En 1999 la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) empezó a desarrollar lo que hoy es el Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM)<sup>13</sup> (Soberón *et al.* 2002), cuya información es pública y de libre acceso en línea para apoyar los procesos de análisis de riesgo, toma de decisiones, gestión y comunicación del riesgo. Con el empleo del enfoque caso por caso, la utilización de la información contenida en el SIOVM, y siguiendo la metodología de análisis de riesgo<sup>14</sup> desarrollada en la CONABIO, se han elaborado 1 696 recomendaciones caso por caso desde el año 2000 hasta marzo de 2008; de estas, en 50% de los casos se estimó que existían bajas probabilidades de flujo génico hacia los parientes silvestres. Véanse mapas de algodón y maíz en la figura 7.3a-d.

Con el objetivo de contribuir a que se tomen decisiones, con un enfoque ambiental y de conservación de la biodiversidad, la CONABIO y el Instituto Nacional de Ecología (INE) han trabajado de forma conjunta para desarrollar protocolos de evaluación y análisis de riesgos, así como bases de datos con la información necesaria. En el INE, con el apoyo del Subcomité Especializado de Medio Ambiente (SEMA), se desarrolló el Protocolo de Análisis de Riesgo para la Liberación de Organismos Genéticamente Modificados en el Medio Ambiente (AROMMA),<sup>15</sup> instrumento que, considerando otras experiencias internacionales en análisis de riesgo, es adecuado a las necesidades de México como país megadiverso y centro de origen, y que además puede modificarse en función de los avances biotecnológicos. Este protocolo contiene varios módulos de análisis, manejo y comunicación del riesgo que incluyen: antecedentes de desarrollo y uso de OGM, biología molecular y el proceso de transformación genética utilizado, análisis de las características reproductivas y las características del posible ambiente de liberación, análisis de características fenotípicas novedosas en los OGM, análisis de medidas de mitigación, control y monitoreo de OGM, y medidas en casos de contingencia. Mediante este proceso se ponderan cualitativamente los riesgos identificados y se sustenta de manera científica la toma de decisiones respecto al uso de OGM en el campo mexicano.

Una de las necesidades prioritarias del gobierno en materia de bioseguridad, principalmente para los casos de los sectores ambiente, salud y agrícola, donde recaen las actividades reguladas de acuerdo con la propia LBOGM, es contar con una estructura en recursos humanos altamente capacitados para atender todas las obligaciones legales adquiridas, no solo por la entrada en vigor de la ley,

sino como país parte del Protocolo de Cartagena y depositario de valiosos recursos genéticos.

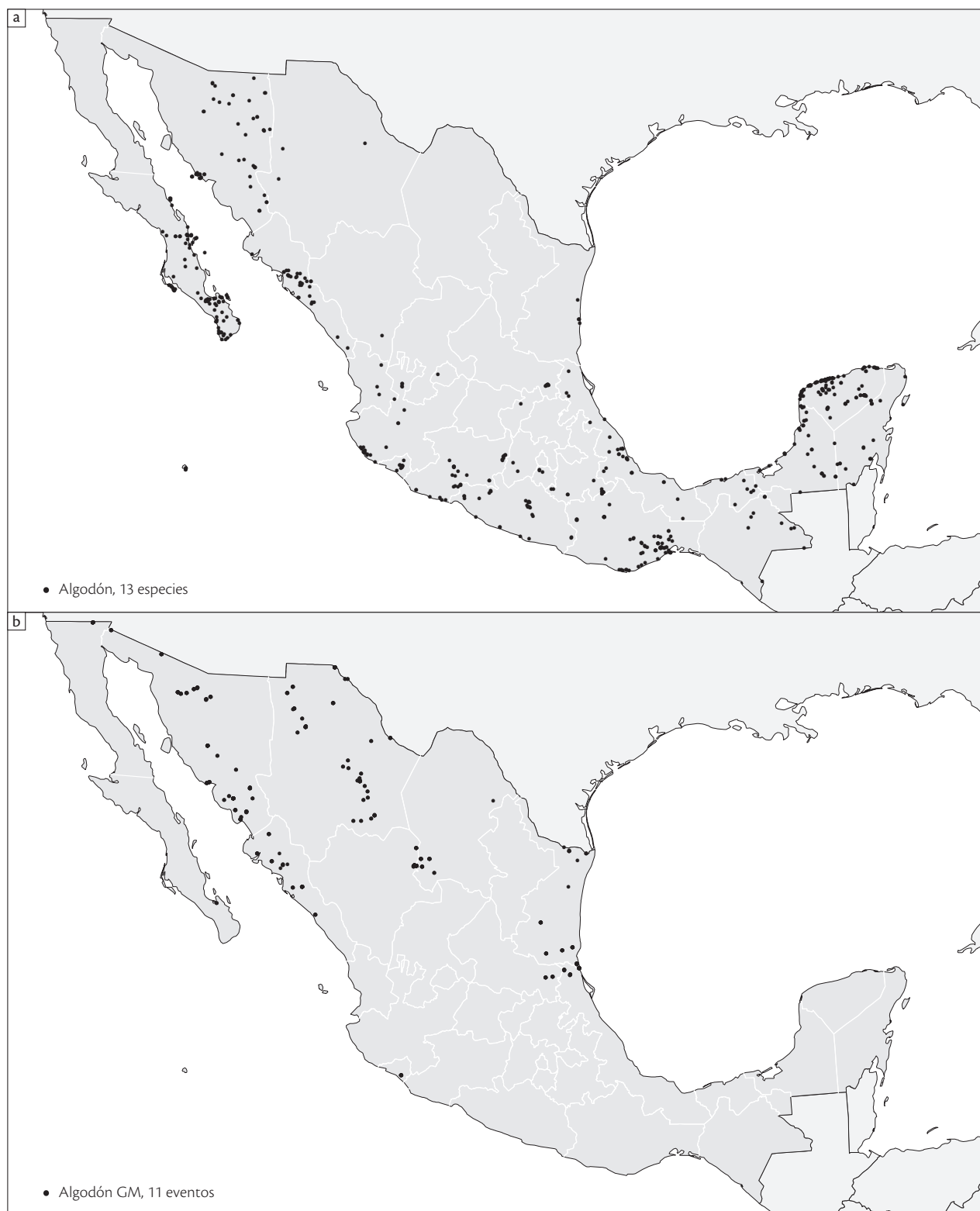
Entre 2002 y 2005 en nuestro país se desarrolló un proyecto de fortalecimiento de capacidades para implementar el Protocolo de Cartagena, otorgado a México por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environment Facility, GEF) con un presupuesto de más de un millón de dólares. Estos fondos se invirtieron en capacitación técnica de recursos humanos en todo el país, tanto para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) como para la de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). Además, se equiparon dos laboratorios de detección e identificación de OGM. Uno de ellos es el primer laboratorio en México acreditado para detectar maíz GM y el otro se encuentra en etapas finales de certificación. También se mejoraron bases de datos con información de cultivos genéticamente modificados y sus parientes silvestres, entre otras actividades.

Desde mayo de 2006 se lleva a cabo un segundo proyecto, (con financiamiento de 10 millones de pesos con recursos del gobierno federal para año y medio) que busca consolidar algunos de los productos elaborados con el proyecto antes descrito. Entre otros objetivos, pretende dejar instalado un laboratorio donde se detecten OGM en alimentos para el sector salud, incluyendo las metodologías y protocolos para el análisis de las muestras.

Todavía son pocos los proyectos de investigación en el tema de bioseguridad en México, sin embargo, existen y están aportando datos interesantes. Cabe resaltar el trabajo pionero, en todo el mundo, del INE en investigación acerca de la liberación no intencional de maíz genéticamente modificado en México (Ortiz-García *et al.* 2005), sobre todo con recursos del gobierno federal. Las fuentes de financiamiento para este tipo de proyectos, aunque limitadas, son variadas e incluyen fondos internacionales y ocasionalmente fondos sectoriales nacionales (véase el cuadro 7.4). El gobierno ha invertido recursos públicos mediante fondos sectoriales para financiar investigación que apoye la toma de decisiones y el manejo de riesgos para OGM de uso agrícola. Estos recursos se han asignado particularmente para identificar y detectar maíz GM; los resultados de esa inversión aún están por verse y serán determinantes para saber si se siguió la ruta correcta o si se debe instrumentar otro mecanismo para generar este tipo de información.

En reiteradas ocasiones México ha expresado la importancia de establecer un trato diferencial claro para aquellas especies cuyos centros de origen o de diversidad





**Figura 7.3** [Esta página y la siguiente] **(a)** Distribución de algodón y parientes silvestres en México; **(b)** liberación de algodón genéticamente modificado en México (hasta 2006); **(c)** distribución de maíz y parientes silvestres en México, y **(d)** liberación de maíz genéticamente modificado en México (de 1993 a 1998). Fuentes: Senasica (2006); SIAP (2007).

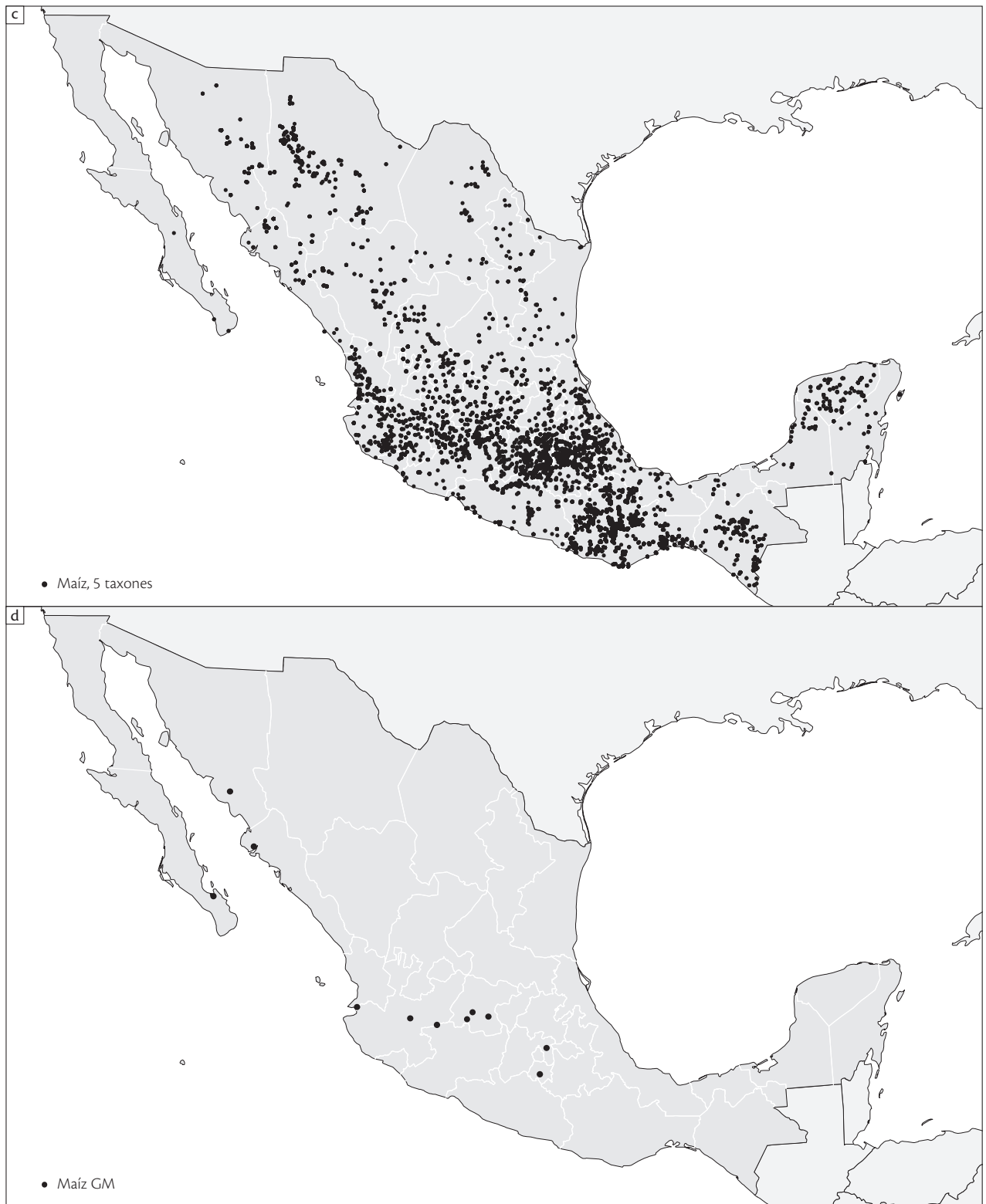


Figura 7.3 [concluye].

genética estén en nuestro país. Lo anterior se ha hecho patente tanto en las negociaciones internacionales<sup>16</sup> como en el marco regulatorio nacional. La propia LBOGM reconoce la importancia de priorizar zonas que tengan dicha condición de centros de origen y concentración de agrobiodiversidad.<sup>17</sup>

En principio, esto se aplica a todas las especies que pertenecen a esta categoría, pero en particular la LBOGM establece que el maíz tendrá un régimen de protección especial (artículo 2 fracción XI). Esto responde direc-

tamente a la aplicación del principio y enfoque precautorios y a reconocer el valor estratégico de este cultivo para México. Aunque todavía existen diversas interpretaciones acerca de lo que puede ser e incluir este régimen, cada vez se reconoce más que el maíz y su manejo, incluyendo el uso de maíz GM en México, representan un reto y una enorme responsabilidad para el propio gobierno. Como se mencionó, el maíz es una planta con peculiaridades importantes: es de polinización abierta, al tiempo que es la especie agrícola de mayor variedad genética conocida,

**Cuadro 7.4** Algunos proyectos de investigación en bioseguridad

Proyecto	Institución	Financiamiento
Una propuesta multidisciplinaria para la evaluación de los potenciales riesgos y beneficios asociados con el uso de maíces criollos mejorados por medio de la biotecnología en comunidades rurales de México	Fundación Rockefeller <sup>1</sup>	US\$ 424 900
Semarnat-2002-C01-0538 Impacto de la introducción de variedades transgénicas en la diversidad de maíces criollos y teocintes en México: estado actual, perspectivas y recomendaciones Investigadora responsable: Dra. Elena Álvarez-Buylla, Instituto de Ecología, UNAM	Fondos sectoriales Semarnat-Conacyt <sup>2</sup>	
Bioseguridad: implicaciones ecológicas y evolutivas en <i>Cucurbita</i> . Investigador responsable: Dr. Mauricio Quesada	Fondos sectoriales Semarnat-Conacyt	
Análisis comparativo de técnicas para la detección e identificación de transgenes. Investigadora responsable: Dra. Mari Carmen Quirasco	Fondos sectoriales Semarnat-Conacyt. Convocatoria 2004 (vigente 2005-2007) <sup>3</sup>	\$ 1 162 000
Monitoreos realizados por el Instituto Nacional de Ecología (INE) de manera coordinada con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de 2002 a 2006	INE-CONABIO	
Evaluación de la presencia de transgenes en maíces criollos de Oaxaca y Puebla (duración: 21/09/2001-31/03/2003). Investigadora responsable: Dra. Elena Álvarez-Buylla	CONABIO <sup>4</sup>	\$ 333 000
Semarnat-2002-C01-0544 Recursos genéticos de México: manejo in situ y bioseguridad. Investigador responsable: Dr. Alejandro Casas Fernández, Instituto de Ecología, UNAM	Fondos sectoriales Semarnat-Conacyt <sup>2</sup>	
Semarnat-2002-C01-0730 Comunicación ambiental y biodiversidad. Investigadora responsable: Dra. Ana Rosa Barahona Echeverría, Facultad de Ciencias, UNAM	Fondos sectoriales Semarnat-Conacyt <sup>2</sup>	
Semarnat-2002-C01-0304 Recombinación del genoma de virus de RNA en <i>Carica papaya</i> : una medida de análisis de riesgo para la introducción de papaya en un centro de diversidad. Investigadora responsable: Dra. Silvia Rosales, Cinvestav, Unidad Irapuato	Fondos sectoriales Semarnat-Conacyt <sup>2</sup>	
DGAPA IN505694. Propiedad intelectual y bioseguridad: dos aspectos críticos para el desarrollo y difusión de la biotecnología. Investigadora responsable: Dra. Amanda Gálvez Mariscal. Informe final presentado, julio de 1997	UNAM	
DGAPA-PAPIIT Clave IN218101 Desarrollo e implementación de métodos para el análisis molecular de transgenes y proteínas heterólogas en alimentos derivados de maíz. Investigadores responsables: Dr. Javier Plasencia de la Parra y Dra. Maricarmen Quirasco Baruch	UNAM	\$ 243 232 para el primer año
Identificación de secuencias transgénicas en granos y productos de maíz en México	Fondos PNUD-Cofepris <sup>5</sup>	\$ 900 000

<sup>1</sup> <<http://www.ira.cinvestav.mx/?id=23>>.

<sup>2</sup> <[http://www.conacyt.mx/Fondos/Sectoriales/SEMARNAT/2002-01/SEMARNAT\\_Resultados\\_2002-01.html](http://www.conacyt.mx/Fondos/Sectoriales/SEMARNAT/2002-01/SEMARNAT_Resultados_2002-01.html)>.

<sup>3</sup> <[http://www.conacyt.mx/Fondos/Sectoriales/SEMARNAT/2004-01/SEMARNAT\\_Resultados\\_2004-01.html](http://www.conacyt.mx/Fondos/Sectoriales/SEMARNAT/2004-01/SEMARNAT_Resultados_2004-01.html)>.

<sup>4</sup> <<http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfV027.pdf>>.

<sup>5</sup> <<http://www.undp.org.mx/Doctos/Licitaciones/SDC-77-%202006.pdf>>.

lo cual permite que se cultive en un amplio rango de ambientes lo que también se relaciona con prácticas de intercambio, selección y almacenamiento de semillas muy extendidas en el territorio. Su valor estratégico lo ilustra el hecho de que es uno de los principales granos de la alimentación mundial,<sup>18</sup> que en el caso de México se traduce en un consumo promedio de 350 gramos diarios per cápita en 600 presentaciones diferentes (Bourges 2002).

Aunque existen casos en la literatura acerca de la liberación de OGM en áreas que son centro de origen o centro de diversidad genética de la especie en cuestión, como es el caso del arroz en China (Zi 2005), y del algodón y la papa en México, algunos autores proponen metodologías bioseguras para liberar, y de esta manera avanzar en el conocimiento, como sucedió con la papa en Perú (Celis *et al.* 2004). También hay quienes han aplicado el principio o enfoque precautorio desde una perspectiva más extrema. Es el caso de sorgo genéticamente modificado en Sudáfrica,<sup>19</sup> de arroz basmati en India (G.K. Garg, com. pers. 2006) y de maíz en México desde 1998, cuando la Sagarpa estableció una moratoria de facto para el cultivo de maíz genéticamente modificado empezando por la experimentación, aunque esta se llevó a cabo entre los años 1995 y 1998.

Junto con la toma de decisiones desde la perspectiva del enfoque precautorio en los centros de origen, en algunos países se ha decidido, si bien no explícitamente, no cultivar organismos transgénicos por otras razones, sobre todo económicas asociadas a la percepción pública de algunos grupos de consumidores. Este es el caso para el trigo y la papa en Estados Unidos. México debiera tomar en cuenta los aspectos socioeconómicos en su análisis y toma de decisiones respecto a cultivos estratégicos como el maíz y el frijol, entre otros. Igualmente importante es que México se apoye en la gente calificada con la que ya cuenta para que, con la “retrospectiva” de lo que ha ocurrido en otros países, haga un análisis prospectivo acerca de los escenarios posibles. Debemos aprender de las experiencias externas, como en el caso de Canadá con el cultivo de canola. En este país la cadena productiva de canola (desde la semilla fundadora) se mezcló con canola transgénica, que llegó a la cadena productiva de mostaza (aun cuando no existe mostaza genéticamente modificada) limitando significativamente el comercio de este producto con Europa (A. Gálvez, com. pers. 2006).

Aun con los logros alcanzados en los últimos años, el lento desarrollo de las actividades en bioseguridad en México contrasta con la rapidez con la que está creciendo la superficie de tierra ocupada por cultivos transgénicos,

como la soya y el algodón. Para ilustrar este contraste, consideremos el número creciente de solicitudes de liberación en México que corresponde a una superficie total solicitada, desde 1988 hasta agosto de 2006, de 863 865 hectáreas.<sup>20</sup>

Aunque el análisis de riesgo se considera un aspecto crucial para la toma de decisiones respecto al uso, consumo y liberación al ambiente de OGM, existen otras cuestiones que deberían tener un peso específico en función de las necesidades y características de nuestro país, mediante una política pública en materia de bioseguridad. De entrada, esta política debe ser congruente con los acuerdos y tratados internacionales de los que México es parte. Además, como un principio fundamental se requiere que las políticas de desarrollo biotecnológico o de importación de biotecnología se articulen con las necesidades productivas, de salud pública y ambientales de nuestro país.

Aunque el tema de la bioseguridad relacionado con la biotecnología moderna es reciente, queda claro, después de diversas experiencias, que la bioseguridad es un tema complejo, necesario y aún por desarrollar. Esto en parte se debe a lo nuevo y polémico del tema, pero también a las grandes inversiones en recursos monetarios y humanos destinados a su desarrollo e investigación, así como las potenciales ganancias derivadas de intereses creados muy fuertes. Además, en general son los países menos desarrollados los que tienen la mayor carga en cuanto a desarrollo de biotecnología y de bioseguridad.

El mercado de los productos de la biotecnología moderna en semillas está muy concentrado. Se estima que en todo el mundo tiene un volumen de ingresos de 21 000 millones de dólares anuales,<sup>21</sup> equivalente a 11.73% de los ingresos programados por el gobierno de México<sup>22</sup> en 2006, de los cuales, solo 10 empresas concentran 50%. Sin embargo, la red corporativa de estas empresas implica que su tamaño y poder es aún mayor. Por ejemplo, desde 1998 la principal empresa productora de semillas transgénicas, Monsanto, tiene una alianza estratégica con Cargill, Inc. (compañía líder en procesamiento y distribución de granos) por medio de la empresa Renessen LLC.<sup>23</sup> Así, los insumos de la actividad agrícola los manejan los compradores de dicha actividad, es decir, los agricultores tienen en el proveedor y el cliente a la misma persona. Es una forma de operación y encadenamiento productivo que cambia totalmente el papel del agricultor en el mercado. Los intereses de estas corporaciones, de los consumidores y de los agricultores tradicionales y orgánicos procuran reflejarse en el marco jurídico de la bioseguridad.

## 7.6 LOS GRANDES RETOS DE LA BIOSEGURIDAD

### 7.6.1 Nuevas aplicaciones

El cambio de usos de los cultivos es preocupante. Si bien es cierto que es interesante para la especie humana que los cultivos tradicionales tengan el potencial de generar nuevos insumos para otras actividades (más allá de la alimentación), esto se hace, aunque en diversos grados, dentro de los cauces de los mercados tradicionales de alimentos, sin diferenciación alguna y, por ende, con riesgos para la salud. Adicionalmente, estos usos alternativos van a competir por la superficie cultivable, de por sí ya escasa, destinada a la alimentación de la humanidad. Las prioridades que se fijan en la selección de la alternativa a seguir están muy sesgadas por el monto de las ganancias esperadas y no por las necesidades reales y urgentes de alimentación humana.

La política comercial de las empresas y sus esfuerzos por impulsar la siembra de OGM en su centro de origen y diversificación no se comprende para un grupo de empresas que dominan el mercado. Tal vez con esa idea se hizo un acercamiento con la Confederación Nacional Campesina (CNC), con la que Monsanto, la principal empresa productora de semillas en el mundo, ha hecho un convenio cuyo alcance aún no se hace público, pero que bien pudiese servir para construir el puente de colaboración que se necesita en esta materia (Confederación Nacional Campesina 2007).

Independientemente de las distintas aplicaciones, un gran reto para México es el monitoreo y la vigilancia de los OGM en el ambiente. Por la envergadura de la tarea, se deberá recurrir a varios grupos aliados. Por un lado, un monitoreo inclusivo y extenso debe considerar la participación local de grupos interesados e informados. Por otro, se debe instrumentar una red de laboratorios que fortalezca a los que ya está operando el gobierno. Esto último tampoco es tarea sencilla, ya que muchos laboratorios en instituciones públicas que cuentan con la capacidad y la infraestructura para apoyar las tareas de detección, identificación y cuantificación de OGM deben someterse a rigurosos protocolos de acreditación que respalden sus resultados, esfuerzo que quizá sobrepase sus propios objetivos de investigación y limite rangos de acción. No es lo mismo hacer y desarrollar OGM que crear técnicas para su identificación que cumplan con altos controles de calidad y de la que se desprendan decisiones con significativas implicaciones legales y comerciales.

### 7.6.2 Instrumentación de la LBOGM

Uno de los desafíos a los que hay que hacer frente es cumplir con lo que la LBOGM dicta en sus artículos 86, 87 y 88 (véase la nota 17). En estos artículos se establece que la Sagarpa y la Semarnat, mediante acuerdos y de manera conjunta, deben determinar tanto las especies que tienen su centro de origen y de diversidad genética en México, como las áreas donde estas se encuentran, con el fin de que en estas zonas no se lleven a cabo liberaciones al ambiente de los OGM de esa especie.

Esta tarea no es sencilla. Por ejemplo, para el caso del maíz, definir las áreas de diversidad genética donde se encuentran actualmente variedades, razas y parientes silvestres requiere información de la línea base sobre la distribución tanto de poblaciones silvestres de las distintas especies de teocinte, como de registros actualizados de las numerosas variedades y razas de maíz que se consideran un reservorio genético. No contar con esta información actualizada ni integrada adecuadamente muestra el olvido en el que se tiene al campo mexicano, y cómo decisiones acerca de la productividad nacional de maíz se han guiado más por los precios en el mercado de este producto, influidos por subsidios de la agricultura estadounidense, que por una visión de soberanía y de autosuficiencia para el cultivo con más consumo en México.

También hay una serie de preguntas que deben contestarse cuidadosamente para que el establecimiento de estas áreas cumpla con el objetivo de la ley. Entre las cuestiones prioritarias por resolver está determinar los criterios para integrar la información existente y cómo atender y tomar en cuenta los acuerdos que surjan, la naturaleza dinámica temporal y espacial de las plantas cultivadas, en particular del maíz, así como el desempeño de vigilancia y monitoreo de las autoridades competentes. Se debe considerar lo que ocurrió en Oaxaca y Puebla (Ortiz-García *et al.* 2005; Quist y Chapela 2001), que puede estar sucediendo en Tamaulipas, Michoacán, Chihuahua,<sup>24</sup> Sinaloa (Castro *et al.* 2006), el Distrito Federal (Serratos-Hernández *et al.* 2007) y en otros estados de la República. A pesar de que se cuenta con el más refinado análisis de riesgo, la posibilidad de que se siembre maíz transgénico fuera de las zonas permitidas es grande, por lo que deberá desarrollarse una capacidad de respuesta rápida y efectiva. Abordar esto de manera adecuada es un reto enorme (véanse ejemplos representativos de estos desafíos en <[http://www.ine.gob.mx/download/mex\\_origen\\_maiz\\_vf.pdf](http://www.ine.gob.mx/download/mex_origen_maiz_vf.pdf)> y en <[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/Doc\\_CdeOCdeDG.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/Doc_CdeOCdeDG.pdf)>).

### 7.6.3 Fortalecimiento de capacidades

La cuestión fundamental para alcanzar una bioseguridad efectiva en nuestro país reside en dos aspectos de extrema importancia. Por un lado está la necesidad de crear las capacidades necesarias para establecer una normatividad con instrumentos eficientes, que se enfrente a las restricciones presupuestarias de un gobierno con obligaciones históricas acumuladas y con una coordinación insuficiente, y por otro, los intereses contrarios dentro del propio gobierno encargado de regular la actividad. Las atribuciones y responsabilidades de las diferentes secretarías de Estado aún son dispares y, en este tema en particular, contrapuestas. Por ello no se ha podido alcanzar una política de Estado coherente y reflexionada, lo cual es una necesidad imperante. Esta situación no es un caso exclusivo de México. El uso de la agrobiotecnología, como se ha visto a lo largo de este documento, es tema de controversia en todo el mundo.

A esta controversia ha contribuido la contrastante realidad. Por un lado, la inversión en investigación y desarrollo tecnológico o la compra de patentes son actos económicos que requieren de recursos financieros y relaciones institucionales muy sólidas, por lo que se concentran en las grandes empresas multinacionales. La biotecnología no es la excepción. Si bien buena parte de la investigación se realiza con recursos públicos, las multinacionales han tenido acceso a este desarrollo y han dado los pasos necesarios para su comercialización.

El desarrollo de la biotecnología está impulsado y acelerado por las necesidades del mercado. Aun cuando se trata de la tecnología con mayor escrutinio de la historia, las enormes inversiones de las empresas transnacionales, en investigación y desarrollo tecnológico, más las inversiones en la compra de patentes, no pueden acumularse indefinidamente sin dar los rendimientos esperados por las empresas, lo que las lleva a tomar decisiones que, a la luz del principio precautorio, son precipitadas. En un sector tan dinámico y con tantas fusiones y adquisiciones, la competencia es un asunto de sobrevivencia para la empresa y sus ejecutivos. La consecuencia de ello es que los protocolos de seguridad más confiables para esta tecnología no siempre se aplican, y se impulsa un enfoque optimista frente a los riesgos y el principio precautorio se considera excesivo. Las empresas involucradas cotizan en las principales bolsas de valores del mundo y requieren responder a sus accionistas con elevados rendimientos, lo que lleva a una dinámica que, en el caso de una tecnología con riesgos, puede ser peligrosa.

Por otro lado, existe el riesgo de que la aplicación de la biotecnología en la agricultura, con su potencial impacto en la salud humana y ambiental, podría afectar el tejido social rural y su entorno de sustento. El uso seguro de la biotecnología asociada a la producción de cultivos transgénicos está en una encrucijada en la que convergen la agricultura, el medio ambiente y el comercio, y es importante que se consideren las características y necesidades propias de nuestro país, para tomar decisiones informadas, incluyentes y en concordancia con un desarrollo sustentable. Una política inteligente sería desarrollar las potencialidades que tiene México en esta materia, ya que se cuenta con cuadros de investigadores de primer orden y con una riqueza enorme de recursos genéticos, de manera que se contribuya a resolver los problemas nacionales y que se garantice su uso responsable.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo brindado por la Coordinación de Análisis de Riesgo y Bioseguridad de la CONABIO, tanto en información como en análisis, a cargo de los biólogos Oswaldo Oliveros y Claudia Sánchez, y de la candidata a maestra en ciencias Alejandra Barrios.

### NOTAS

- 1 Visítense <<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/300/5620/758>> y <[http://www.williams.edu/Economics/wp/Gollin The Green Revolution.pdf](http://www.williams.edu/Economics/wp/Gollin%20The%20Green%20Revolution.pdf)>.
- 2 El artículo 3 del Protocolo de Cartagena, dice que “por *biotecnología moderna* se entiende la aplicación de: a) técnicas *in vitro* de ácido nucleico, incluidos el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o b) la fusión de células más allá de la familia taxonómica, que superan las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional”.
- 3 El Convenio sobre la Diversidad Biológica incluye en su agenda un programa de trabajo temático de agrobiodiversidad. El Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura reconoce que cualquier recurso fitogenético tiene un valor: “se entiende cualquier material genético de origen vegetal de valor real o potencial para la alimentación y la agricultura” como “recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura”. También se encuentra el concepto en proyectos de legislación nacional,

- como en la Minuta de la Ley Federal de Acceso y Aprovechamiento de los Recursos Genéticos, dictaminada el 27 de abril de 2005.
- 4 Visítese <[http://www.cimmyt.org/english/wps/obtain\\_seed/pgrc.htm](http://www.cimmyt.org/english/wps/obtain_seed/pgrc.htm)>.
  - 5 El artículo 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo dice: “Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente”.
  - 6 Visítese <<http://www.cbd.int/biosafety/>>.
  - 7 Esta ley se puede consultar en <[http://www.cddhcu.gob.mx/LeyesBiblio/doc/Ley\\_BOGM.doc](http://www.cddhcu.gob.mx/LeyesBiblio/doc/Ley_BOGM.doc)> o en <[http://www.conacyt.mx/CIBIOGEM/Ley\\_BOGM.pdf](http://www.conacyt.mx/CIBIOGEM/Ley_BOGM.pdf)>.
  - 8 Friends of Earth International. 2007. *Who benefits from GM crops? An analysis of the global performance of GM crops (1996-2006)*, FOEI, Amsterdam. <<http://www.foei.org/en/publications/pdfs/gmcrops2007full.pdf>>.
  - 9 <<http://croplife.intraspin.com/BioTech/paper.asp?id=12>>.
  - 10 Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000.
  - 11 <<http://www.cbd.int/biosafety/signinglist.shtml?sts=rtf&ord=dt>>, consultado el 23 de mayo de 2008.
  - 12 Países no Parte, Canadá firmó pero no ha ratificado y Estados Unidos es no signatario del Protocolo de Cartagena.
  - 13 Visítese <[www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/consulta\\_SIOVM.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/consulta_SIOVM.html)>.
  - 14 Visítese <[www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/manual\\_analisis.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/manual_analisis.html)> para una descripción de la metodología empleada. Esta se concentra en el tema del flujo de genes hacia parientes silvestres y cultivados, otros aspectos de la evaluación desde la perspectiva ecológica y de medio ambiente se consideran en los comités correspondientes de acuerdo con la LBOGM.
  - 15 Visítese <<http://www.ine.gob.mx/aromma/>>.
  - 16 El concepto de centros de origen y centros de diversidad genética se encuentra en el preámbulo del protocolo de Cartagena donde se reconoce “la crucial importancia que tienen para la humanidad los centros de origen y los centros de diversidad genética”. El concepto también se utiliza en los anexos I, II y III del mismo Protocolo. En este documento no hay una definición de los mismos, pero su importancia estratégica para la humanidad queda claramente asentada en el preámbulo y es por tanto una afirmación política consensuada por las partes.
  - 17 ARTÍCULO 2. Para cumplir su objeto, este ordenamiento tiene como finalidades: Fracción XI. Determinar las bases para el establecimiento caso por caso de áreas geográficas libres de OGM en las que se prohíba y aquellas en las que se restrinja la realización de actividades con determinados organismos genéticamente modificados, así como de cultivos de los cuales México sea centro de origen, en especial del maíz, que mantendrá un régimen de protección especial.
- ARTÍCULO 86. Las especies de las que los Estados Unidos Mexicanos sea centro de origen y de diversidad genética así como las áreas geográficas en las que se localicen, serán determinadas conjuntamente mediante acuerdos por la Semarnat y la Sagarpa, con base en la información con la que cuenten en sus archivos o en sus bases de datos, incluyendo la que proporcione, entre otros, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, el Instituto Nacional de Ecología, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y la Comisión Nacional Forestal, así como los acuerdos y tratados internacionales relativos a estas materias. La Semarnat y la Sagarpa establecerán en los acuerdos que expidan, las medidas necesarias para la protección de dichas especies y áreas geográficas.
- ARTÍCULO 87. Para la determinación de los centros de origen y de diversidad genética se tomarán en cuenta los siguientes criterios:
- I. Que se consideren centros de diversidad genética, entendiéndose por estos las regiones que actualmente albergan poblaciones de los parientes silvestres del OGM de que se trate, incluyendo diferentes razas o variedades del mismo, las cuales constituyen una reserva genética del material, y
  - II. En el caso de cultivos, las regiones geográficas en donde el organismo de que se trate fue domesticado, siempre y cuando estas regiones sean centros de diversidad genética.
- ARTÍCULO 88. En los centros de origen y de diversidad genética de especies animales y vegetales solo se permitirá la realización de liberaciones de OGM cuando se trate de OGM distintos a las especies nativas, siempre que su liberación no cause una afectación negativa a la salud humana o a la diversidad biológica.
- 18 Visítese <<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>>.
  - 19 GM sorghum stalled in SA. News in Brief. *Nature Biotechnology* 24: 1048-1049, 2006.
  - 20 Visítese la página <[http://web2.senasica.sagarpa.gob.mx/xportal/inocd/trser/Doc2060/ensayos\\_OGM\\_1988\\_2005.pdf](http://web2.senasica.sagarpa.gob.mx/xportal/inocd/trser/Doc2060/ensayos_OGM_1988_2005.pdf)> (consultada en junio de 2007) y <[http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/portal/html/sanidad\\_vegetal/referencia\\_fitosanitaria/Relacion\\_OGMs\\_resueltas\\_positivamente\\_por\\_SENASICA.pdf](http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/portal/html/sanidad_vegetal/referencia_fitosanitaria/Relacion_OGMs_resueltas_positivamente_por_SENASICA.pdf)> (consultada en junio de 2007).
  - 21 ETC Group, Comunicado 90, 2005.
  - 22 De acuerdo con la Ley de Ingresos de la Federación: 179 000 millones de dólares.
  - 23 Monsanto, Annual report, 2005.
  - 24 Casos de contaminación de cultivos de maíz transgénico en México, Greenpeace 2007. Visitar <[www.greenpeace.org/raw/content/mexico/press/reports/contaminacion-por-ogms-en-mexi.pdf](http://www.greenpeace.org/raw/content/mexico/press/reports/contaminacion-por-ogms-en-mexi.pdf)>.

## REFERENCIAS

- Ablin, E.R., y S. Paz. 2004. Política comercial y organismos genéticamente modificados: el mercado mundial de la soja y el caso Argentina, en A. Bárcena, J. Katz, C. Morales y M. Schaper (eds.), *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, Santiago de Chile, pp. 123-151.
- Barta, A., K. Sommergruber, D. Thompson, K. Hartmuth, M.A. Matzke *et al.* 1986. The expression of a nopaline synthase-human growth hormone chimaeric gene in transformed tobacco and sunflower callus tissue. *Plant Molecular Biology* **6**:347-357.
- Becerra, R. 2000. El amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. *Biodiversitas* **30**:1-6.
- Beck, U. 1992. *Risk society: Towards a new modernity*. Sage, New Delhi (traducido del alemán: Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne, publicado en 1986, Sage Publications, Londres).
- Beck, U. 2004. *Poder y contrapoder en la era global. La nueva economía política mundial*. Paidós Ibérica, Barcelona.
- Bellon, M.R. 2006. Crop research to benefit poor farmers in marginal areas of the developing world: A review of technical challenges and tools. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* **70**:1-11.
- Bestard, J. 1996. "Prólogo", en M. Douglas, *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales*. Paidós, Barcelona.
- Bolívar, F.G. (coord.). 2003. *Recomendaciones para el desarrollo y consolidación de la biotecnología en México*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Academia Mexicana de Ciencias, México.
- Bourges, H. 2002. Alimentos obsequio de México al mundo, en D. Alarcón-Segovia y H. Bourges (eds.), *La alimentación de los mexicanos*. El Colegio Nacional, México, pp. 97-134.
- Brush, S., y M. Chauvet. 2004. *Evaluación de los efectos sociales y culturales asociados con la producción de maíz transgénico*. Capítulo 6 de los documentos de discusión del informe Maíz y biodiversidad: Los efectos del maíz transgénico en México, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, en <[http://www.cec.org/pubs\\_docs/documents/index.cfm?varlan=espanol&ID=1430](http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=espanol&ID=1430)>.
- Casas, A., y J. Caballero. 1996. Traditional management and morphological variation in *Leucaena esculenta* (Fabaceae: Mimosoideae) in the Mixtec region of Guerrero, Mexico. *Economic Botany* **50**:167-181.
- Casas, A., B. Pickersgill, J. Caballero y A. Valiente-Banuet. 1997. Ethnobotany and domestication in Xoconochtlí, *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley and La Mixteca Baja, Mexico. *Economic Botany* **51**:279-292.
- Casas, A., A. Valiente-Banuet y J. Caballero. 1998. La domesticación de *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccobono (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **62**:129-140.
- Casas, A., A. Valiente-Banuet, A. Rojas-Martínez y P. Dávila. 1999. Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus *Stenocereus stellatus* in central Mexico. *American Journal of Botany* **86**:534-542.
- Castro, I., P. Sánchez, J.L. Corrales, J.A. Garzón, S. Velarde *et al.* 2006. *Identificación de transgenes en poblaciones de maíces criollos (Zea mays L.) del estado de Sinaloa*. Congreso Mexicano de Ecología 2006, Morelia, Michoacán, 26-30 de noviembre de 2006.
- Celis, C., M. Scurrah, S. Cowgill, S. Chumbiauca, J. Green *et al.* 2004. Environmental biosafety and transgenic potato in a center of diversity for this crop. *Nature* **432**:222-225.
- Cleveland, D.A., y D. Soleri. 2005. Rethinking the risk management process for genetically engineered crop varieties in small-scale, traditionally based agriculture. *Ecology and Society* **10**:9.
- Clive, J. 2007. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2007. No. 37. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), Ithaca.
- Colorado Institute of Public Policy. 2004. *Bio-pharming in Colorado: A guide to issues for making informed choices*. Full Report. Colorado State University, Fort Collins, en <[www.cipp.colostate.edu/reports/bp-full-report](http://www.cipp.colostate.edu/reports/bp-full-report)>.
- Confederación Nacional Campesina. 2007. *La CNC y Monsanto firman convenio para proteger maíces mexicanos*. Coordinación de Comunicación Social, comunicado de prensa, 18 de abril de 2007. CNC/29/07, en <[www.confederacionnacionalcampesina.org.mx/prensa/abril/18ABRIL07.pdf](http://www.confederacionnacionalcampesina.org.mx/prensa/abril/18ABRIL07.pdf)>.
- Conner, A.J., T.R. Glare y J.P. Nap. 2003. The release of genetically modified crops into the environment: Part II. Overview of ecological risk assessment. *The Plant Journal* **33**:19-46.
- Contreras-Medina, R., I. Luna-Vega y J.J. Morrone. 2001. Conceptos biogeográficos. *Elementos* **41**:33-37.
- Challenger, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. CONABIO-Instituto de Biología, UNAM y Agrupación Sierra Madre, México.
- Chauvet, M., y A. Gálvez. 2005. Learning about biosafety in Mexico: Between competitiveness and conservation. *International Journal of Biotechnology* **7**:62-71.
- Daniell, H., S. Kumar y N. Dufourmantel. 2005. Breakthrough in chloroplast genetic engineering of agronomically important crops. *Trends in Biotechnology* **23**:238-245.
- Diamond, J. 1997. *Guns, germs and steel: The fates of human societies*. W.W. Norton, Nueva York.
- Douglas, M. 1987. Les études de perception du risque: un état de l'art, en J.L. Fabiani y J. Theys (comps.), *La société*



- vulnérable: évaluer et maîtriser les risques. École Normale Supérieure, Paris, pp. 55-60.
- Elbeheri, A. 2005. Biopharming and the food system: Examining the potential benefits and risks. *AgBioforum* 8: 18-25.
- Ellstrand, N.C. 2003a. Going to great lengths to prevent the escape of genes that produce specialty chemicals. *Plant Physiology* 132: 1770-1774.
- Ellstrand, N.C. 2003b. *Dangerous liaisons? When cultivated plants mate with their wild relatives*. The John Hopkins University Press, Baltimore.
- FAO. *Estadísticas*, en <<http://faostat.fao.org>> (consultado el 1 de agosto de 2006).
- Friends of the Earth International. 2007. *Who benefits from GM crops? An analysis of the global performance of GM crops (1996-2006)*, FOEI, Amsterdam.
- Fischer, F. 2002. *Citizens, experts, and the environment: The politics of local knowledge*. Duke University Press, Durham.
- García Acosta, V. 2005. El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos* 19: 11-24.
- Giddens, A. 1999. Risk and responsibility. *Modern Law Review* 62: 1-10.
- Gliessman, S.R. 1997. *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press, Chelsea.
- Gliessman, S.R. 1990. Understanding the basis of sustainability for agriculture in the tropics: Experiences in Latin America, en C.A. Edwards (ed.), *Sustainable agricultural systems*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny.
- Gómez, M.A. 2001. Producción de vacunas y compuestos farmacéuticos en plantas transgénicas. *Revista de la Sociedad Química de México* 46: 264-270.
- González, R.L. 2004. *La biotecnología agrícola en México: efectos de la propiedad intelectual y la bioseguridad*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Han, M., T. Su, Y.G. Zu y Z.G. An. 2006. Research advances on transgenic plant vaccines. *Acta Genetica Sinica* 33: 285-293.
- Harris, D.R. 1972. The origins of agriculture in the tropics. *American Scientist* 60: 180-193.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1998. Aspectos de la domesticación de plantas en México: una apreciación personal, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México, pp. 715-735.
- Herzer, H.M. 2006. *Construcción del riesgo, desastre y gestión ambiental urbana, perspectivas en debate*. Disponible en <[www.cap-net-esp.org/document/document/48/S9\\_-\\_Construccion\\_del\\_riesgo\\_desastre\\_y\\_gestion\\_ambiental\\_urbana.pdf](http://www.cap-net-esp.org/document/document/48/S9_-_Construccion_del_riesgo_desastre_y_gestion_ambiental_urbana.pdf)>.
- Hillman, G.C., y M.S. Davies. 1990. Measured domestication rates in wild wheats and barley under primitive cultivation, and their archeological implications. *Journal of World Prehistory* 4: 157-222.
- Huot, M.F. 2003. *Plant molecular farming: Issues and challenges for Canadian regulators*. Option Consommateurs, Montreal.
- Jofre-Garfias, A.E., y A. Álvarez-Morales. 2002. *Global and multidisciplinary approach to study the feasibility of introducing transgenic landraces of maize in Mexico aimed to help small rural communities*. The 7<sup>th</sup> International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms, Beijing, 10 a 16 de octubre, pp. 237.
- Katz, J., y A. Bárcena. 2004. El advenimiento de un nuevo paradigma tecnológico. El caso de los productos transgénicos, en A. Bárcena, J. Katz, C. Morales y M. Schaper (eds.), *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, Santiago de Chile, pp. 19-31.
- Kirsten, J., M. Gouse y L. Jenkins. 2002. *Bt. Cotton in South Africa: Adoption and the impact on farm incomes amongst small-scale and large-scale farmers*. Paper presented at the 6<sup>th</sup> International ICABR Conference, Ravello.
- Kleinman, D.L., A.J. Kinchy y J. Handselman (eds.). 2005. *Controversies in science and technology: From maize to menopause*, Vol. 1. The University of Wisconsin Press, Madison.
- Ko, K., y H. Koprowski. 2005. Plant biopharming of monoclonal antibodies. *Virus Research* 111: 93-100.
- Lilja, N., y M. Bellon. 2006. *Analysis of participatory research projects in the International Maize and Wheat Improvement Center*. CIMMYT, México.
- Lira-Saade, R., T.C. Andres y M. Nee. 1995. *Cucurbita L.*, en R. Lira-Saade (eds.), *Estudios taxonómicos y ecogeográficos de las Cucurbitaceae latinoamericanas de importancia económica. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Gene pools*, núm. 9. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, pp. 1-115.
- López-Cerezo, J.A. 1998. Ciencia, tecnología y sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. *Revista Iberoamericana de Educación*, núm. 18.
- Ma, J.K-C., P.M.W. Drake y P. Christou. 2003. The production of recombinant pharmaceutical proteins in plants. *Nature Reviews Genetics* 4: 794-805.
- Ma, J.K-C., E. Barros, R. Bock, P. Christou, P.J. Dale et al. 2005. Molecular farming for new drugs and vaccines: Current perspectives on the production of pharmaceuticals in transgenic plants. *European Molecular Biology Organization Reports* 6: 593-599.
- Mascia, P.N., y R.B. Flavell. 2004. Safe and acceptable strategies for producing foreign molecules in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 7: 189-195.
- Massieu, Y.C., M. Chauvet, Y. Castañeda, R.E. Barajas y R.L. González. 2000. Consecuencias de la biotecnología en México: el caso de los cultivos transgénicos. *Sociológica* 15: 133-159.

- Matson, P.A., W.J. Parton, A.G. Power y M.J. Swift. 1997. Agricultural intensification and ecosystems properties. *Science* **277**: 504-509.
- McMeekin, A., M. Harvey, S. Glynn, I. Miles y P. Vergragt. 2004. *Prospecting bioscience for the future of non-food uses of crops*. Institute of Innovation Research. The University of Manchester, Manchester.
- Morales, C., y M. Schaper. 2004. Las nuevas fronteras tecnológicas: los transgénicos y sus impactos en América Latina y el Caribe, en A. Bárcena, J. Katz, C. Morales y M. Schaper (eds.), *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, Santiago de Chile, pp. 191-271.
- Nadal, A. 2000. *The environmental and social impacts of economic liberalization on corn production in Mexico*. World Wildlife Fund, Oxfam, RU.
- National Research Council. 2002. *Animal biotechnology: Science-based concerns*. Committee on Defining Science based Concerns Associated with Products of Animal Biotechnology, Committee on Agricultural Biotechnology, Health, and the Environment, Board on Agriculture and Natural Resources. National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, Washington D.C.
- Nature Biotechnology. 2004. Drugs in crops – The unpalatable truth. *Nature Biotechnology* **22**: 133-134.
- Nixon, K.C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.), *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press, Oxford, pp. 447-458.
- Ortega-Paczka, R. 1999. Genetic erosion in Mexico, en J. Serwinski e I. Faberová (eds.) *Proceedings of the technical meeting on the Methodology of the FAO World Information and Early Warning System on Plant Genetic Resources*. Research Institute of Crop Production, Praga, 21 a 23 de junio de 1999, pp. 69-75.
- Ortiz-García, S., E. Ezcurra, B. Schoel, F. Acevedo, J. Soberón et al. 2005. Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003-2004). *Proceedings of the National Academy of Sciences* **102**: 12338-12343.
- Ortiz-García, S., y E. Huerta-Ocampo. 2002. La bioseguridad: una herramienta para el desarrollo sustentable, en E. Leff, E. Ezcurra, I. Pisanty y P. Romero Lankao (comps.), *La transición hacia el desarrollo sustentable: Perspectivas de América Latina y el Caribe*. Semarnat, INE-UAM-PNUMA, México, pp. 363-380.
- Parra, P., y L. Ortiz de Bertorelli. 1988. Evidencia bioquímica en la definición de relaciones filogenéticas entre líneas mesoamericanas y andinas de *Phaseolus vulgaris* L. *Revista de la Facultad de Agronomía U.C.V.* **24**: 79-88.
- Quist, D., e I.H. Chapela. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* **414**: 541-543.
- Ramírez, J. 1996. El Chile. *Biodiversitas* **8**: 8-14.
- Rissler, J., y M. Mellon. 1996. *The ecological risk of engineered crops*. The MIT Press, Cambridge.
- Romeu, E. 1995a. La vainilla: de Papantla a Papantla, el regreso de un cultivo. *Biodiversitas* **1**: 10-13.
- Romeu, E. 1995b. Los pinos mexicanos, récord mundial de biodiversidad. *Biodiversitas* **2**: 11-15.
- Rzedowski, J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México, pp. 129-145.
- Rzedowski, J. 2005. México como lugar de origen y diversificación de linajes vegetales, en J. Llorente-Bousquets y J.J. Morrone (eds.), *Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines*. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo-Facultad de Ciencias, UNAM-CONABIO, México, pp. 375-382.
- Senasica. 2006. Relación de solicitudes de permiso resueltas positivamente por el Senasica. Disponible en <[http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/portal/html/sanidad\\_vegetal/referencia\\_fitosanitaria/Relacion\\_OGMS\\_resueltas\\_positivamente\\_por\\_SENASICA.pdf](http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/portal/html/sanidad_vegetal/referencia_fitosanitaria/Relacion_OGMS_resueltas_positivamente_por_SENASICA.pdf)>.
- Serratos-Hernández, J.A., J.L. Gómez-Olivares, N. Salinas-Arreortua, E. Buendía-Rodríguez, F. Islas-Gutiérrez et al. 2007. Transgenic protein in maize in the soil conservation area of Federal District, Mexico. *Frontiers in Ecology and the Environment* **5**: 247-252.
- Sharma, H.C., y R. Ortiz. 2000. Transgenics, pest management, and the environment. *Current Science* **79**: 421-437.
- SIAP. 2007. Anuario estadístico de la producción agrícola. Producción agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes 2007. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en <[www.siap.gob.mx/aagricola\\_siap/icultivo/index.jsp](http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp)>.
- Snow, A.A. 2002. Transgenic crops – Why gene flow matters. *Nature Biotechnology* **20**: 542.
- Soberón, J., E. Huerta-Ocampo y L. Arriaga-Cabrera. 2002. *The use of biological databases to assess the risk of gene flow: The case of Mexico*. LMOs and the Environment: Proceedings of an International Conference. Organization for Economic Cooperation and Development, Raleigh-Durham, pp. 59-65.
- Solbrig, O. 2004. Ventajas y desventajas de la agrobiotecnología, en A. Bárcena, J. Katz, C. Morales y M. Schaper (eds.), *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, Santiago de Chile, pp. 33-69.
- Stewart, C.N., M. Halfhill y P. Raymer. 2003. *Transgene introgression and consequences in Brassica*. *Proceedings of the Conference on Introgression from Genetically Modified Plants into Wild Relatives and its Consequences*. Amsterdam, 21 a 24 enero de 2003, University of Amsterdam, Amsterdam.

- Stewart, P., y A. Knight. 2005. Trends affecting the next generation of U.S. agricultural biotechnology: Politics, policy, and plant-made pharmaceuticals. *Technological Forecasting and Social Change* 72: 521-534.
- Stoger, E., J.K.C. Ma, R. Fischer y P. Christou. 2005. Sowing the seeds of success: Pharmaceutical protein from plants. *Current Opinion in Biotechnology* 16: 167-173.
- Styles, B.T. 1993. The genus *Pinus*: A Mexican purview, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa. (eds.), *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press, Oxford, pp. 397-420.
- Traxler, G., y S. Godoy-Ávila. 2004. Transgenic cotton in Mexico. *AgBioForum* 7: 57-62.
- Turrent, A., y J.A. Serratos. 2004. Context and background on wild and cultivated maize in Mexico, en *Maize and biodiversity: The effects of transgenic maize in Mexico*. Secretariat of the Commission for Environmental Cooperation of North America, Montreal.
- Twyman, R.M., S. Schillberg y R. Fischer. 2005. Transgenic plants in the biopharmaceutical market. *Expert Opinion on Emerging Drugs* 10: 185-218.
- USDA. 2005. *Animal and plant health inspection service: Controls over issuance of genetically engineered organism release permits*. Audit Report. United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
- USDA. 2006. *Statement by Agriculture Secretary Mike Johanns Regarding Genetically Engineered Rice*. United States Department of Agriculture, en <[www.usda.gov/wps/portal/usdahome?contentidonly=true&contentid=2006/08/0307.xml](http://www.usda.gov/wps/portal/usdahome?contentidonly=true&contentid=2006/08/0307.xml)>.
- Vanclay, F. 2003. International principles for social impact assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal* 21: 5-11.
- Vavilov, N.I. 1926. Studies on the origin of cultivated plants. *Bulletin of Applied Botany, Genetics, and Plant-Breeding* 16: 1-248.
- Vavilov, N.I. 1951. *Estudios sobre el origen de las plantas cultivadas*. Ediciones Acme Agency, Buenos Aires.
- Vavilov, N.I. 2005. Clasificación de las hortalizas según centro de origen (adaptado de Vavilov). Pontificia Universidad Católica de Chile, en <[www.uc.cl/sw\\_educ/hort0498/HTML/p007.html](http://www.uc.cl/sw_educ/hort0498/HTML/p007.html)> (consultado en 2005).
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts, E. Hernández-Xolocotzi y P.C. Mangelsdorf. 1987. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución, en *Xolocotzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi*, t. II. *Revista de Geografía Agrícola*. Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 609-732.
- Zeder, M.A. 2006. Central questions in the domestication of plants and animals. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews* 15: 105-117.
- Zi, X. 2005. GM rice forges ahead in China amid concerns over illegal planting. *Nature Biotechnology* 23: 637.
- Zohary, D. 1970. Centres of diversity and centres of origin, en O.H. Frankel y E. Bennett (eds.), *Genetic resources in plants. Their exploration and conservation*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Zohary, D. 1984. Modes of evolution in plants under domestication, en W.F. Grant (ed.), *Plant biosystematics*. Academic Press, Toronto, pp. 579-586.