

**Biotecnología Agrícola:
Mitos, Riesgos Ambientales y Alternativas**

Miguel A. Altieri
Universidad de California, Berkeley

Primera edición: abril, 2001
Hecho el depósito legal N° 1501162001-1172
© CIED / PED-CLADES / FOOD FIRST, Oakland, California.
Carátula: Bruno Sánchez M.
Publicación financiada con aporte económico de:
Foundation for Deep Ecology y Fred Gellert Family Foundation
(San Francisco, California).

Índice

Introducción

Antecedentes

Capítulo I

Biotecnología, hambre en el mundo y bienestar de los agricultores

Poblaciones hambrientas en medio de la abundancia

¿Qué hay del arroz dorado?

¿Aumenta la biotecnología los rendimientos?

¿Cuáles son los costos para los agricultores americanos?

¿La biotecnología beneficiará a los agricultores pobres?

Capítulo II

Los organismos genéticamente modificados y la salud humana

¿Son los cultivos transgénicos similares a los convencionales?

¿Se pueden ingerir los cultivos transgénicos sin peligro?

Capítulo III

Biotecnología, agricultura y medio ambiente

El impacto de los cultivos resistentes a herbicidas

- . Resistencia a los herbicidas
- . Los herbicidas destruyen más que las malezas
- . Creación de «supermalezas»

Riesgos ambientales de los cultivos resistentes a insectos (Cultivos Bt)

- . Resistencia
- . Efectos sobre especies benéficas
- . Hacia la adopción del principio de la precaución

Capítulo IV

Alternativas más sostenibles que la biotecnología

¿Qué es agroecología?

Historias exitosas en América Latina

Sistemas orgánicos

¿Qué se necesita?

Bibliografía

Anexo: Glosario

Introducción

El problema del hambre y la pobreza en el mundo, cuyas raíces se asientan en la desigual distribución de los recursos productivos y en la injusticia social que prevalecen principalmente en los países del Sur, pretendió ser enfrentado hace

cincuenta años mediante las innovaciones tecnológicas de la Revolución Verde. Sin embargo, aún cuando se incrementaron los rendimientos de determinados cultivos, éstos se concentraron en productos de exportación y agroindustriales bajo sistemas de monoproducción en gran escala, sin un impacto significativo en la pequeña agricultura y, por ende, en la pobreza rural.

A inicios del tercer milenio, el hambre y la pobreza mundial se han incrementado, a pesar de que los excedentes alimenticios acumulados en los países desarrollados servirían para enfrentar decididamente este problema. Sin tomar en cuenta esta realidad, los grupos económicos que estuvieron detrás de la Revolución Verde (empresas de semillas y agroquímicos) argumentan una vez más que el problema está en el incremento de la productividad agrícola y promueven una Segunda Revolución Verde, basada en la biotecnología y en la ingeniería genética.

En el presente libro, el doctor Miguel A. Altieri analiza esos supuestos y demuestra las falacias de las transnacionales del «agribusiness», estudia los problemas ambientales, productivos y económicos que traería la Segunda Revolución Verde y previene sobre los impactos de la ingeniería genética y los alimentos transgénicos en la salud humana. Su libro *Biotecnología agrícola: Mitos, riesgos ambientales y alternativas*, es una alerta para los agricultores y los consumidores de América Latina, en momentos en que la conciencia ambiental sobre este problema crece en Norteamérica y Europa.

El Dr. Altieri ha dedicado importantes años de su vida profesional a la investigación científica y a la búsqueda de nuevos conocimientos para entender la complejidad del funcionamiento de los sistemas agrícolas tradicionales, recuperando los aportes de éstos para superar la pobreza rural y proponer alternativas económica y ambientalmente viables a los pequeños agricultores para conseguir tanto seguridad alimentaria como conservación de recursos genéticos.

Su opción por esta alternativa le permitió emprender numerosos trabajos sobre agroecología y desarrollo rural, que luego fueron publicados en varios países de la región, mereciendo comentarios elogiosos y el reconocimiento académico internacional.

El Programa de Educación a Distancia del Consorcio Latinoamericano en Agroecología y Desarrollo (PED-CLADES), el Centro de Investigación Educación y Desarrollo (CIED) e Institute for Food and Development Policy (Food First), Oakland, California, agradecen al Dr. Altieri su confianza para la edición en castellano de este libro. Igualmente, agradecen a Foundation for Deep Ecology y Fred Gellert Family Foundation (San Francisco, California) su aporte económico a la publicación.

Antecedentes

Hasta hace unas cuatro décadas, los rendimientos agrícolas en los Estados Unidos se basaban en los recursos internos, el reciclaje de la materia orgánica, mecanismos de control biológico y patrones de lluvias. Los rendimientos agrícolas eran modestos pero estables. La producción estaba salvaguardada porque en el campo se cultivaba más de un producto o variedad en el tiempo y el espacio, como un seguro contra la

aparición de plagas o la severidad climática. El nitrógeno del suelo era restablecido por la rotación de los principales cultivos con leguminosas. Las rotaciones destruían insectos, malezas y enfermedades gracias a la ruptura efectiva de los ciclos de vida de estas plagas. Un típico agricultor de maíz sembraba maíz en rotación con diversos cultivos, como soya, y la producción de granos menores era intrínseca para mantener ganado en la finca. La mayor parte del trabajo lo hacía la familia, que era dueña de la finca, con ayuda externa ocasional. No se compraba equipo ni se usaban insumos externos (Altieri 1994; Audirac 1997).

En el mundo en desarrollo, los pequeños agricultores impulsaron sistemas agrícolas aun más complejos y biodiversos, guiados por un conocimiento indígena que ha superado la prueba del tiempo (Thrupp 1998). En este tipo de sistemas, la conexión entre agricultura y ecología era bastante fuerte y rara vez se evidenciaban signos de degradación ambiental.

Pero conforme la modernización agrícola avanzó, la conexión ecología-sistema agrícola fue destruida, ya que los principios ecológicos fueron ignorados u omitidos. El lucro, y no las necesidades de la gente o la preocupación por el ambiente, determinó la producción agrícola. Los intereses de los agronegocios y las políticas prevalecientes favorecieron las grandes fincas, la producción especializada, el monocultivo y la mecanización.

Hoy el monocultivo ha aumentado de manera drástica en todo el mundo, principalmente a través de la expansión geográfica anual de los terrenos dedicados a cultivos individuales. El monocultivo implicó la simplificación de la biodiversidad, dando como resultado final un ecosistema artificial que requiere constante intervención humana bajo la forma de insumos agroquímicos, los cuales, además de mejorar los rendimientos sólo temporalmente, dan como resultado altos costos ambientales y sociales no deseados. Conscientes de tales impactos, muchos científicos agrícolas han llegado al consenso general de que la agricultura moderna se enfrenta a una severa crisis ecológica (Conway y Pretty 1991).

La pérdida anual en rendimientos debida a plagas en muchos cultivos (que en la mayoría llega hasta el 30 por ciento), a pesar del aumento sustancial en el uso de pesticidas (alrededor de 500 millones de kg de ingrediente activo en todo el mundo), es un síntoma de la crisis ambiental que afecta la agricultura. Las plantas cultivadas que crecen como monocultivos genéticamente homogéneos no poseen los mecanismos ecológicos de defensa necesarios para tolerar el impacto de las poblaciones epidémicas de plagas (Altieri 1994).

Cuando estos modelos agrícolas se exportaron a los países del Tercer Mundo a través de la llamada Revolución Verde, se exacerbaron aún más los problemas ambientales y sociales. La mayor parte de agricultores de escasos recursos de América Latina, Asia y África ganaron muy poco en este proceso de desarrollo y transferencia de tecnología de la Revolución Verde, porque las tecnologías propuestas no fueron neutras en cuanto a escala. Los agricultores con tierras más extensas y mejor mantenidas ganaron más, pero los agricultores con menores recursos que viven en ambientes marginales perdieron con mayor frecuencia y la disparidad de los ingresos se vio acentuada (Conway 1997).

El cambio tecnológico ha favorecido principalmente la producción y/o exportación de cultivos comerciales producidos, sobre todo, por el sector de las grandes fincas, con

un impacto marginal en la productividad de los cultivos para la seguridad alimentaria, mayormente en manos del sector campesino (Pretty 1995). En las áreas donde se realizó el cambio progresivo de una agricultura de subsistencia a otra de economía monetaria, se pusieron en evidencia gran cantidad de problemas ecológicos y sociales: pérdida de autosuficiencia alimentaria, erosión genética, pérdida de la biodiversidad y del conocimiento tradicional, e incremento de la pobreza rural (Conroy et al 1996).

Para sostener tales sistemas agroexportadores, muchos países en desarrollo se han convertido en importadores netos de insumos químicos y maquinaria agrícola, aumentando así los gastos gubernamentales y exacerbando la dependencia tecnológica. Por ejemplo, entre 1980 y 1984 América Latina importó cerca de US\$430 millones en pesticidas y unas 6.5 millones de toneladas de fertilizantes (Nicholls y Altieri 1997). Este uso masivo de agroquímicos condujo a una enorme crisis ambiental de proporciones sociales y económicas inmensurables.

Lo irónico es el hecho de que los mismos intereses económicos que promovieron la primera ola de agricultura basada en agroquímicos están ahora celebrando y promoviendo la emergencia de la biotecnología como la más reciente varita mágica. La biotecnología, dicen, revolucionará la agricultura con productos basados en los métodos propios de la naturaleza, logrando una agricultura más amigable para el ambiente y más lucrativa para los agricultores, así como más saludable y nutritiva para los consumidores (Hobbelink 1991).

La lucha global por conquistar el mercado está conduciendo a las grandes corporaciones a producir plantas desarrolladas con ingeniería genética (cultivos transgénicos) en todo el mundo (más de 40 millones de hectáreas en 1999) sin las apropiadas pruebas previas de impacto sobre la salud humana y los ecosistemas, a corto y largo plazo. Esta expansión ha recibido el apoyo de acuerdos de comercialización y distribución realizados por corporaciones y marketeros (por ejemplo Ciba Seeds con Growmark y Mycogen Plant Sciences con Cargill) debido a la falta de reglamentación en muchos países en desarrollo.

En Estados Unidos las políticas del Food and Drug Organization (FDA) y la Environmental Protection Agency (EPA) consideran a los cultivos modificados genéticamente «sustancialmente equivalentes» a los cultivos convencionales. Estas políticas han sido desarrolladas en el contexto de un marco regulador inadecuado y en algunos casos inexistente.

Las corporaciones de agroquímicos, las cuales controlan cada vez más la orientación y las metas de la innovación agrícola, sostienen que la ingeniería genética mejorará la sostenibilidad de la agricultura al resolver los muchos problemas que afectan a la agricultura convencional y librerá al Tercer Mundo de la baja productividad, la pobreza y el hambre.

Comparando mito y realidad, el objetivo de este libro es cuestionar las falsas promesas hechas por la industria de la ingeniería genética. Ellos han prometido que los cultivos producidos por ingeniería genética impulsarán la agricultura lejos de la dependencia en insumos químicos, aumentarán la productividad, disminuirán los costos de insumos y ayudarán a reducir los problemas ambientales (Oficina de Evaluación Tecnológica 1992). Al cuestionar los mitos de la biotecnología, aquí se muestra a la ingeniería genética como lo que realmente es: otro enredo tecnológico

o «varita mágica» destinado a entrapar los problemas ambientales de la agricultura (que son el producto de un enredo tecnológico previo) sin cuestionar las suposiciones defectuosas que ocasionaron los problemas la primera vez (Hindmarsh 1991). La biotecnología promueve soluciones basadas en el uso de genes individuales para los problemas derivados de sistemas de monocultivo ecológicamente inestables diseñados sobre modelos industriales de eficiencia. Este enfoque, unilateral y reduccionista en el caso de los pesticidas, al utilizar el paradigma «un químico-una plaga», ha probado que no es ecológicamente sólido, comparable al enfoque «un gen-una plaga» promovido por la biotecnología (Pimentel et al. 1992).

La agricultura industrial moderna, hoy convertida en epítome o modelo por la biotecnología, se basa en una premisa filosófica que es fundamentalmente errónea y que necesita ser expuesta y criticada para avanzar hacia una agricultura verdaderamente sostenible. Esto es particularmente relevante en el caso de la biotecnología, donde la alianza de la ciencia reduccionista y la industria multinacional monopolizadora llevan a la agricultura por un camino equivocado. La biotecnología percibe los problemas agrícolas como deficiencias genéticas de los organismos y trata a la naturaleza como una mercancía, y en el camino hace a los agricultores más dependientes de un sector de agronegocios que concentra cada vez más su poder sobre el sistema alimentario.

Capítulo I

Biotechnología, hambre en el mundo y bienestar de los agricultores

Poblaciones hambrientas en medio de la abundancia

Las compañías de biotecnología sostienen que los organismos genéticamente modificados (GMOs en inglés) -específicamente las semillas genéticamente alteradas- son hallazgos científicos necesarios para alimentar al mundo y reducir la pobreza en los países en desarrollo. La mayoría de las organizaciones internacionales encargadas de la política y la investigación para el mejoramiento de la seguridad alimentaria en el mundo en desarrollo hacen eco de este punto de vista. Este punto se basa en dos suposiciones críticas: que el hambre se debe a una brecha entre la producción de alimentos y la densidad de la población humana o la tasa de crecimiento; y que la ingeniería genética es la única o la mejor forma de incrementar la producción agrícola y por lo tanto cubrir las futuras necesidades de alimento.

Un punto inicial para aclarar estas falsas concepciones es entender que no hay una relación entre la presencia del hambre en un país determinado y su población. Por cada nación hambrienta y densamente poblada como Bangladesh o Haití, hay un país escasamente poblado y hambriento como Brasil o Indonesia. El mundo hoy produce más alimentos por habitante que nunca antes. Hay suficiente alimento disponible para proveer 4,3 libras por persona cada día: 2,5 libras de granos, frijoles y nueces; alrededor de una libra de carne, leche y huevos y otra de frutas y verduras (Lappe et al. 1998).

En 1999 se produjo suficiente cantidad de granos en el mundo para alimentar una población de ocho mil millones de personas (seis mil millones habitaron el planeta en el 2000), si estos se distribuyeran equitativamente o no se dieran como alimento a

los animales. Siete de cada diez libras de granos se usan para alimentar animales en Estados Unidos. Países como Brasil, Paraguay, Tailandia e Indonesia dedican miles de acres de tierras agrícolas a la producción de soya y yuca para exportar a Europa como alimento del ganado. Canalizando un tercio de los granos producidos en el mundo hacia la población hambrienta y necesitada, el hambre cesaría instantáneamente (Lappe et al. 1998).

El hambre también ha sido creado por la globalización, especialmente cuando los países en desarrollo adoptan las políticas de libre comercio recomendadas por agencias internacionales (reduciendo los aranceles y permitiendo el flujo de los productos de los países industrializados). La experiencia de Haití, uno de los países más pobres del mundo, es ilustrativa. En 1986 Haití importó sólo 7,000 toneladas de arroz, porque la mayor parte se producía en la isla. Cuando abrió su economía al mundo, los inundó un arroz más barato proveniente de los Estados Unidos, donde la industria del arroz es subsidiada. En 1996, Haití importó 196,000 toneladas de arroz foráneo al costo de US\$ 100 millones anuales. La producción de arroz haitiano se volvió insignificante cuando se concretó la dependencia en el arroz extranjero. El hambre se incrementó (Aristide 2000).

Las causas reales del hambre son la pobreza, la desigualdad y la falta de acceso a los alimentos y a la tierra. Demasiada gente es muy pobre (alrededor de dos mil millones sobreviven con menos de un dólar al día) para comprar los alimentos disponibles (a menudo con una pobre distribución) o carecen de tierras y los recursos para sembrarla (Lappe et al. 1998). Porque la verdadera raíz del hambre es la desigualdad, cualquier método diseñado para reforzar la producción de alimentos, pero que agudice esta desigualdad, fracasará en reducir el hambre. Por el contrario, sólo las tecnologías que tengan efectos positivos en la distribución de la riqueza, el ingreso y los activos, que estén a favor de los pobres, podrán en realidad reducir el hambre. Afortunadamente tales tecnologías existen y pueden agruparse bajo la disciplina de la agroecología, cuyo potencial es ampliamente demostrado y analizado más profundamente a lo largo de este libro (Altieri et al. 1998; Uphoff y Altieri 1999).

Atacando la desigualdad por medio de reformas agrarias se mantiene la promesa de un aumento de la productividad que sobrepasa el potencial de la biotecnología agrícola. Mientras que los defensores de la industria hacen una promesa de 15, 20 e incluso 30 por ciento de aumento de los rendimientos por la biotecnología, los pequeños agricultores producen hoy de 200 a 1,000 por ciento más por unidad de área que las grandes fincas a nivel mundial (Rosset 1999). Una estrategia clara para tomar ventaja de la productividad de las pequeñas fincas es impulsar reformas agrarias que reduzcan las grandes propiedades ineficientes e improductivas a un tamaño pequeño óptimo, y así proporcionar las bases para el incremento de la producción en fincas de pequeños agricultores, incrementos ante los cuales empalidecería la publicitada promesa productiva de la biotecnología.

Es importante entender que la mayor parte de innovaciones en la biotecnología agrícola se orientan a las ganancias más que a las necesidades. El verdadero motor de la industria de la ingeniería genética no es hacer la agricultura más productiva, sino generar mayores ingresos (Busch et al. 1990). Esto se ilustra revisando las principales tecnologías del mercado de hoy: (1) cultivos resistentes a los herbicidas, tales como la Soya Ready Roundup de Monsanto, semillas que son tolerantes al herbicida Roundup de Monsanto, y (2) los cultivos Bt (*Bacillus thuringiensis*) que han

sido desarrollados por ingeniería genética para producir su propio insecticida. En el primer caso, la meta es ganar más participación de mercado de los herbicidas para un producto exclusivo, y en el segundo, aumentar las ventas de semillas aun a costa de dañar la utilidad de un producto clave para el manejo de plagas (el insecticida microbiano a base de Bt) en el que confían muchos agricultores, incluyendo a la mayoría de agricultores de cultivos orgánicos, como una poderosa alternativa a los insecticidas.

Estas tecnologías responden a la necesidad de las compañías de biotecnología de intensificar la dependencia de los agricultores en semillas protegidas por la llamada «propiedad intelectual» que entra en conflicto directamente con los antiguos derechos de los agricultores a reproducir, compartir o almacenar semillas (Fowler y Mooney 1990). Cada vez que pueden, las corporaciones obligan a los agricultores a comprar una marca de insumos de la compañía y les prohíben guardar o vender la semilla. Si los agricultores de los Estados Unidos adoptan soya transgénica, deben firmar un acuerdo con Monsanto. Si siembran soya transgénica al año siguiente, la multa es de unos \$3,000 por acre, dependiendo del área. Esta multa puede costarle al agricultor su finca, su hogar. Controlando el germoplasma desde la producción de semillas hasta su venta y obligando a los agricultores a pagar precios inflados por paquetes de semillas-químicos, las compañías están decididas a extraer el máximo beneficio de su inversión (Krimsky y Wrubel 1996).

¿Qué hay del arroz dorado?

Los científicos que apoyan la biotecnología y están en desacuerdo con la afirmación que la mayor parte de la investigación en biotecnología está basada en el lucro más que en la necesidad, usan como parte de su retórica humanitaria, el recientemente desarrollado, pero todavía no comercializado, arroz dorado. Este arroz experimental es rico en beta caroteno, el precursor de la vitamina A, que es un producto nutritivo importante para millones de niños, especialmente en Asia, quienes sufren de deficiencia de Vitamina A que puede conducir a la ceguera.

Quienes han creado el arroz dorado dicen que este nuevo cultivo fue desarrollado con fondos públicos y que una vez que se demuestre su viabilidad en campos de cultivo, será distribuido gratuitamente entre los pobres. La idea de que un arroz genéticamente alterado es la forma apropiada de tratar la condición de dos millones de niños en riesgo de ceguera - inducida por la deficiencia de Vitamina A- revela una tremenda ingenuidad sobre las causas reales de la malnutrición por falta de vitaminas y micronutrientes. Si nos remitimos a los patrones de desarrollo y nutrición humanos, rápidamente nos damos cuenta que la deficiencia de Vitamina A no está caracterizada como un problema sino como un síntoma, una señal de alerta. Nos alerta de mayores deficiencias asociadas tanto con la pobreza como con el cambio en la agricultura, desde sistemas de cultivo diversificados hacia monocultivos, promovido por la Revolución Verde.

La gente no presenta deficiencia de Vitamina A porque el arroz contiene muy poca Vitamina A, o beta caroteno, sino porque su dieta se reduce solamente a arroz y a casi nada más, y sufren de otras enfermedades nutricionales que no se pueden tratar con beta caroteno, pero que podrían ser tratadas, junto con la deficiencia de Vitamina A, con una dieta más variada. El arroz dorado debe ser considerado un

intento unidimensional de reparar un problema creado por la Revolución Verde: el problema de la disminución de la variedad de cultivos y la diversidad en la dieta.

Una solución de «varita mágica» que coloca beta caroteno en el arroz -con potencial daño ecológico y a la salud-, al tiempo que deja intacta a la pobreza, las dietas pobres y el monocultivo extensivo, no puede hacer ninguna contribución duradera al bienestar. Usando la frase de Vandana Shiva, «un enfoque de esa naturaleza revela ceguera ante las soluciones sencillas disponibles para combatir la ceguera inducida por la deficiencia de Vitamina A, que incluye a muchas plantas, que cuando son introducidas (o reintroducidas) en la dieta proporcionan el beta caroteno y otras vitaminas y micronutrientes.»

Aunque los vegetales silvestres han sido considerados periféricos en los hogares campesinos, su recolección como se practica actualmente en muchas comunidades rurales constituye un aditivo significativo a la nutrición y subsistencia de las familias campesinas. Dentro y fuera de la periferia de las pozas de arroz hay abundantes vegetales de hoja verde, silvestres y cultivados, ricos en vitaminas y nutrientes, muchos de los cuales son eliminados cuando los agricultores adoptan el monocultivo y los herbicidas asociados (Greenland 1997).

Los biotecnólogos en arroz no entienden las profundas tradiciones culturales populares que determinan las preferencias de alimentos entre la población asiática, especialmente el significado social e incluso religioso del arroz blanco. Es altamente improbable que el arroz dorado reemplace al arroz blanco que por milenios ha jugado variados papeles en aspectos nutricionales, culinarios y ceremoniales. No cabe duda que el arroz dorado sacudirá las tradiciones asociadas con el arroz blanco en la misma forma en que lo harían las papas fritas verdes o azules en las preferencias de la gente de los Estados Unidos.

Pero incluso si el arroz dorado ingresa en los platos de los pobres de Asia, no hay una garantía de que ello beneficiará a la gente pobre que no come alimentos ricos en grasas o aceites. El beta caroteno es soluble en grasas y su ingestión por el intestino depende de la grasa o aceite de la dieta. Aún más, las personas que sufren de desnutrición proteica y carecen de dietas ricas en grasas no pueden almacenar bien la Vitamina A en el hígado ni pueden transportarla a los diferentes tejidos corporales donde se requiere. Debido a la baja concentración de beta caroteno en el arroz milagroso, las personas tendrían que comer más de un kilogramo de arroz diario para obtener la ración diaria recomendada de Vitamina A.

¿Aumenta la biotecnología los rendimientos?

Un importante argumento propuesto por los biotecnólogos es que los cultivos transgénicos aumentarán significativamente el rendimiento de los cultivos. Estas expectativas han sido examinadas por el informe (1999) del Servicio de Investigación Económica (Economic Research Service, ERS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), a partir de datos recolectados en 1997 y 1998 para 112 y 18 combinaciones región/cultivo de Estados Unidos. Los cultivos observados fueron maíz Bt y algodón, y maíz, algodón y soya tolerantes a herbicidas (HT), y su contraparte de cultivos convencionales.

En 1997 los rendimientos no mostraron diferencias significativas entre los cultivos con y sin ingeniería genética en 7 de las 12 combinaciones cultivo/región. Cuatro de las 12 regiones mostraron incrementos significativos (13-21 por ciento) en el rendimiento de las plantas con ingeniería (soya tolerante en tres regiones y algodón Bt en una región). El algodón tolerante a herbicidas en una región mostró una reducción significativa en el rendimiento (12 por ciento) comparado con su contraparte convencional.

En 1998 los rendimientos no tuvieron diferencias significativas entre cultivos con y sin ingeniería en 12 de 18 combinaciones cultivo/región. Cinco combinaciones (maíz BT en dos regiones, maíz HT en una región, algodón Bt en dos regiones) mostraron aumentos significativos en el rendimiento (5 a 30 por ciento) de las plantas con ingeniería, pero sólo bajo presión alta del barrenador europeo del maíz, que es esporádico. De hecho muchos entomólogos piensan que la mayoría de los agricultores no se beneficiarán de las tecnologías Bt bajo niveles promedios de infestación del gusano barrenador, dado que niveles poblacionales negativos de esta plaga se dan esporádicamente una vez cada 4-8 años. El algodón tolerante a herbicidas (tolerante al glifosato o Roundup) fue el único cultivo con ingeniería que no mostró aumentos significativos en el rendimiento en ninguna de las regiones donde fue probado.

En 1999, investigadores del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad de Nebraska plantaron cinco diferentes variedades de soya de Monsanto, junto con sus parientes convencionales más cercanos y las variedades tradicionales de más alto rendimiento en cuatro localidades del estado, usando tierras de secano y campos irrigados. En promedio, los investigadores encontraron que las variedades tratadas por ingeniería genética -aunque más costosas- producían seis por ciento menos que sus parientes cercanos sin ingeniería, y 11 por ciento menos que los cultivos convencionales de mayor rendimiento. Informes de Argentina muestran los mismos resultados de ausencia de un mejor rendimiento de la soya HT, la cual universalmente parece mostrar problemas de rendimiento.

Las pérdidas en el rendimiento se amplifican en cultivos como el maíz Bt donde se requiere que los agricultores dejen el 20 por ciento de su tierra como refugios de maíz no transgénico. Se espera que parcelas alternantes de maíz transgénico y no transgénico retarden la evolución de la resistencia a las plagas al proveer refugios a los insectos susceptibles a fin de que puedan cruzarse con insectos resistentes. Los cultivos en el refugio posiblemente sufran fuerte daño y de este modo los agricultores tendrán pérdidas en el rendimiento. Un refugio totalmente libre de pesticidas debe tener el 20 a 30 por ciento del tamaño de una parcela sometida a ingeniería, pero si se usan insecticidas, entonces el refugio debe tener alrededor del 40 por ciento del tamaño de la parcela biotecnológica porque asperjar con insecticidas incrementa el desarrollo de la resistencia al Bt (Mellon y Rissler 1999).

Si por el contrario se dedicara el 30 por ciento de los terrenos cultivables a plantar soya bajo un diseño de cultivos en franjas con maíz (como muchos agricultores alternativos hacen en el medio oeste), se obtendrían rendimientos de más del 10% que con los monocultivos comparativos de maíz y soya, al tiempo que se introducirían potenciales para la rotación interna en el campo donde los arreglos contorneados minimizan la erosión en las laderas (Ghaffarzadeh et al. 1999), Más aún, el barrenador europeo del maíz sería minimizado porque las poblaciones de esta

plaga tienden a ser menores en los sistemas de cultivos mixtos y rotativos (Andow 1991).

En el caso del algodón no hay una necesidad demostrada de introducir la toxina Bt en el cultivo ya que la mayor parte de Lepidópteros (mariposas y polillas) que atacan este cultivo son plagas secundarias inducidas por los pesticidas. La mejor forma de enfrentarlas no es asperjando insecticidas sino usando el control biológico o técnicas culturales como la rotación o los cultivos alternados con alfalfa. En el sureste, la plaga clave es el gorgojo (boll weevil), inmune a la toxina Bt.

¿Cuáles son los costos para los agricultores americanos?

Para evaluar la economía de la finca y el impacto de los cultivos transgénicos en las fincas de los Estados Unidos, es bueno examinar la realidad que enfrentan los agricultores de Iowa, quienes viven en el corazón de las tierras del maíz y la soya transgénicos. Aunque las malezas son una preocupación, el problema real que ellos enfrentan es la caída de los precios de sus productos debido a la superproducción a largo plazo. De 1990 a 1998 el precio promedio de una tonelada métrica de soya disminuyó en 62 por ciento y los retornos de los costos descendieron de \$532 a \$182 por hectárea, una caída del 66 por ciento. Frente a la caída de los retornos por hectárea los agricultores no tienen elección excepto «hacerse más grande o abandonar las tierras». Los agricultores sólo se podrán mantener en el negocio si incrementan el área de cultivo para compensar la caída en las ganancias por unidad de área. Cualquier tecnología que facilite el crecimiento será «adoptada», incluso si las ganancias de corto plazo son consumidas por los precios que continúan cayendo en la medida en que se expande el modelo agrícola industrial.

Para estos agricultores de Iowa la reducción de los retornos por unidad de tierra de cultivo ha reforzado la importancia de los herbicidas dentro del proceso productivo porque reducen el tiempo que dedican al cultivo mecanizado y permiten a un determinado agricultor sembrar más acres. Una encuesta llevada a cabo entre los agricultores de Iowa en 1998 indicó que el uso de glifosato con variedades de soya resistentes al glifosato redujo los costos del control de malezas en cerca del 30 por ciento comparado con el manejo convencional de malezas para las variedades no transgénicas. Sin embargo, los rendimientos de la soya resistente al glifosato fueron menores en cuatro por ciento y los retornos netos por unidad de área de terreno fueron casi idénticos en la soya resistente y en la convencional (Duffy 1999).

Desde el punto de vista de la conveniencia y la reducción de costos, el uso de herbicidas de amplio espectro en combinación con variedades resistentes a los herbicidas atrae a los agricultores. Tales sistemas combinan muy bien con las operaciones en gran escala, la producción sin labranza y los subcontratos para la aplicación de químicos. Sin embargo, desde el punto de vista de precios, cualquier fluctuación en el precio de las variedades transgénicas en el mercado empeorará el impacto de los actuales precios bajos. Tomando en consideración que las exportaciones americanas de soya a la Unión Europea decayeron de 11 millones de toneladas a seis millones en 1999 debido al rechazo de los consumidores europeos a los organismos genéticamente modificados (GMOs), es fácil predecir un desastre para los agricultores que dependen de los cultivos transgénicos. Las soluciones duraderas al dilema que enfrentan los agricultores de Iowa no vendrán de los

cultivos tolerantes a los herbicidas sino de una reestructuración general de la agricultura del medio oeste (Brummer 1998).

La integración de las industrias de semillas y químicos puede acelerar el incremento de los gastos por hectárea de paquetes «semilla más químicos» trayendo retornos significativamente más bajos a los agricultores. Las compañías que desarrollan cultivos tolerantes a herbicidas están tratando de desviar el mayor costo posible por acre desde los herbicidas hacia la semilla vía mayores costos de semilla. En Illinois, la adopción de cultivos resistentes a herbicidas ha convertido al sistema de semilla-manejo de malezas de la soya en el más caro en la historia moderna -entre \$40 y \$69 por acre, dependiendo de las tasas, la presión de las malezas, etc. Tres años antes, el promedio de costos de la semilla-más-control de malezas era de \$26 por acre y representaba el 23% de los costos variables. Hoy representa el 35-40% (Carpenter & Gianessi 1999). Muchos agricultores están deseosos de pagar por la simplicidad y efectividad de este nuevo sistema de manejo de malezas, pero tales ventajas pueden tener corta vida tan pronto como se presenten problemas ecológicos.

En el caso de cultivos BT la información demuestra que el uso de insecticidas ha bajado especialmente en algodón. La mayoría de los estudios sugieren que se han bajado el número de aplicaciones por hectárea/año, resultando en una reducción en el uso nacional en USA de 450,000 kg de ingrediente activo (i.a.), pero esto representa sólo una reducción de 0.18 kg i.a. por hectárea, o 9% reducción del promedio de 2.01 kg i.a. por hectárea. Para raíz Bt la reducción por hectárea equivale a 0.04-0.08 kg de i.a. por hectárea, un ahorro mínimo comparado con reducciones de 50% con manejo integrado y de 100% con agricultura orgánica.

Pero como se enfatizó antes, el costo final que los agricultores pagan es su creciente dependencia de los insumos biotecnológicos protegidos por un sistema severo de derechos de propiedad intelectual que legalmente inhibe el derecho de los agricultores a reproducir, compartir y almacenar semillas (Busch et al. 1990). Los agricultores que ejercen este derecho pero a la vez rompen el contrato firmado con una corporación pueden perder sus fincas ya que el contrato estipula que deben pagar \$ 3 mil dólares por acre por infringir el acuerdo. Para un agricultor con más de 100 acres el costo es desastroso.

¿La biotecnología beneficiará a los agricultores pobres?

Muchas de las innovaciones de la biotecnología disponibles hoy eluden a los agricultores pobres, ya que estos agricultores no pueden pagar por las semillas protegidas por patentes, propiedad de las corporaciones biotecnológicas. La extensión de la tecnología moderna hacia los agricultores de escasos recursos ha estado históricamente limitada por considerables obstáculos ambientales. Se estima que 850 millones de personas viven en tierras amenazadas por la desertificación. Otros 500 millones viven en terrenos demasiado abruptos para ser cultivados. Debido a éstas y otras limitaciones, alrededor de dos millones de personas ni siquiera han sido alcanzadas por la ciencia agrícola moderna. La mayor parte de la pobreza rural se desarrolla en la banda latitudinal entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, la región más vulnerable a los efectos del calentamiento global. En tales ambientes, una gran cantidad de tecnologías baratas y accesibles localmente

están disponibles para mejorar y no limitar las opciones de los agricultores, una tendencia que es inhibida por la biotecnología controlada por las corporaciones.

Los investigadores en biotecnología piensan solucionar los problemas asociados con la producción de alimentos en esas áreas marginales desarrollando cultivos GM con características que los pequeños agricultores consideran deseables, tales como mayor competitividad frente a las malezas y tolerancia a la sequía. Sin embargo, estos nuevos atributos no son necesariamente una panacea. Características como la tolerancia a la sequía son poligénicas (determinadas por la interacción de genes múltiples). En consecuencia, el desarrollo de cultivos con tales características es un proceso que tomaría por lo menos 10 años. Bajo estas circunstancias, la ingeniería genética no da algo por nada. Cuando se trabaja con genes múltiples para crear un rasgo determinado, es inevitable sacrificar otras características como la productividad. Como resultado, el uso de una planta tolerante a la sequía incrementaría los rendimientos de un cultivo sólo en 30-40 por ciento. Cualquier rendimiento adicional deberá provenir del mejoramiento de las prácticas ambientales (como la cosecha del agua o el mejoramiento de la materia orgánica del suelo para mejorar la retención de la humedad) más que de la manipulación genética de características específicas (Persley y Lantin 2000).

Aun cuando la biotecnología pudiera contribuir a incrementar la cosecha en un cultivo, eso no significa que la pobreza disminuiría. Muchos agricultores pobres en los países en desarrollo no tienen acceso al dinero, al crédito, a la asistencia técnica o al mercado. La llamada Revolución Verde de los 50 y 60 ignoró a esos agricultores porque la siembra de las nuevas medidas de alto rendimiento y su mantenimiento por medio de pesticidas y fertilizantes era demasiado costosa para los campesinos pobres. Los datos, tanto de Asia como de América Latina, demuestran que los agricultores ricos con tierras más extensas y mejor llevadas obtuvieron más de la Revolución Verde, mientras los agricultores con menores recursos en general ganaron muy poco (Lappe et al. 1998). La nueva «Revolución Genética» sólo podría terminar repitiendo los errores de su predecesora.

Las semillas genéticamente modificadas están bajo control corporativo y bajo la protección de patentes y, como consecuencia, son muy caras. Ya que la mayor parte de las naciones en desarrollo todavía carecen de infraestructura institucional y crédito con bajos intereses, elementos necesarios para llevar estas semillas a los agricultores pobres, la biotecnología sólo exacerbará la marginalización.

Los agricultores pobres no tienen cabida en el nicho de mercado de las compañías privadas, cuyo enfoque está dirigido a las innovaciones biotecnológicas para los sectores agrícolas-comerciales de los países industrializados y desarrollados, donde tales corporaciones pueden esperar grandes retornos a su inversión en investigación. El sector privado a menudo ignora cultivos importantes como la yuca, que es un alimento fundamental para 500 millones de personas en el mundo. Los pocos agricultores empobrecidos que tendrán acceso a la biotecnología se volverán peligrosamente dependientes de las compras anuales de semillas genéticamente modificadas. Estos agricultores tendrán que atenerse a los onerosos acuerdos de propiedad intelectual y no sembrar las semillas obtenidas de una cosecha de las plantas producto de la bioingeniería. Tales condiciones constituyen una afrenta para los agricultores tradicionales, quienes por siglos han guardado y compartido semillas como parte de su legado cultural (Kloppenburg 1998). Algunos científicos y formuladores de políticas sugieren que las grandes inversiones a través de

asociaciones públicas-privadas pueden ayudar a los países en desarrollo a adquirir la capacidad científica e institucional para delinear la biotecnología de manera que se adapte a las necesidades y circunstancias de los pequeños agricultores. Pero, una vez más, los derechos corporativos de propiedad intelectual sobre los genes y la tecnología de clonación de genes arruinarían tales planes. Por ejemplo, EMBRAPA (el Instituto Nacional de Investigación Agrícola de Brasil) debe negociar licencias con nueve diferentes compañías antes de poder lanzar una papaya resistente a virus, desarrollada con investigadores de la Universidad de Cornell (Persley y Lantin 2000).

Capítulo II

Los organismos genéticamente modificados y la salud humana

¿Son los cultivos transgénicos similares a los convencionales?

Las agencias gubernamentales que regulan los cultivos obtenidos por la biotecnología consideran a estos «sustancialmente equivalentes» a los cultivos convencionales. Esta conjetura es inexacta y carece de base científica. La evidencia demuestra que la transferencia genética usando técnicas del ADNr es sustancialmente diferente de los procesos que gobiernan la transferencia de genes en el mejoramiento tradicional. En este esfuerzo, los mejoradores de plantas desarrollan nuevas variedades a través del proceso de selección y buscan la expresión de material genético que ya está presente dentro de una especie. El cruzamiento convencional involucra el movimiento de grupos de genes ligados funcionalmente, principalmente entre cromosomas similares, e incluye a los promotores relevantes, secuencias reguladoras y genes asociados involucrados en la expresión coordinada de la característica de interés en la planta.

La ingeniería genética trabaja principalmente por medio de la inserción de material genético, generalmente de fuentes sin precedentes, es decir, material genético que proviene de especies, familias e incluso reinos que anteriormente no podían ser fuentes de material genético para una especie en particular. El proceso involucra el uso de una "pistola inserta genes" (gene gun) y un «gen promotor» de un virus y un marcador como parte del paquete o construcción que se inserta en la célula de la planta hospedera. Las actuales tecnologías del ADNr consisten en la inserción al azar de genes en ausencia de secuencias normales del promotor y los genes reguladores asociados. Como hay pocos ejemplos de caracteres de plantas en las cuales se han identificado los genes reguladores asociados, actualmente no es posible introducir un gen totalmente «funcional» usando las técnicas de ADNr. Estas técnicas también involucran la inserción simultánea de promotores virales y marcadores selectivos que facilitan la introducción de genes de especies no compatibles. Estas transformaciones genéticas no pueden suceder cuando se usan los métodos tradicionales, lo cual explica ampliamente la forma tan abismal en que estos dos procesos difieren (Hansen 1999).

En resumen, el proceso de ingeniería genética difiere claramente del mejoramiento convencional ya que éste se basa sobre todo en la selección a través de procesos naturales de reproducción sexual o asexual entre una especie o dentro de géneros

estrechamente relacionados. La ingeniería genética usa un proceso de inserción de material genético, vía un «gene gun» o un transportador bacteriano especial, cosa que no ocurre en la naturaleza. Los biotecnólogos pueden insertar material genético en una especie a partir de cualquier forma viviente, creando así organismos nuevos con los cuales no se tiene experiencia evolutiva.

¿Se pueden ingerir los cultivos transgénicos sin peligro?

El prematuro lanzamiento comercial de los cultivos transgénicos, debido a la presión comercial y a las políticas de la FDA y la EPA que consideran a los cultivos genéticamente modificados «sustancialmente equivalentes» a los cultivos convencionales, ha tenido lugar en el contexto de un marco regulador aparentemente inadecuado, no transparente y, en algunos casos, inexistente. De hecho, la aprobación del lanzamiento comercial de los cultivos transgénicos se basa en la información científica proporcionada voluntariamente por las compañías que los producen.

Se estima que cerca del 50 por ciento de los alimentos preparados a base de maíz y soya en Estados Unidos provienen de maíz y frijol soya genéticamente modificados. La mayor parte de los consumidores desconocen esto y no tienen posibilidad de determinar si un alimento es transgénico, ya que estos no llevan una etiqueta que lo diga. Dado que ningún científico puede aseverar que tales alimentos están completamente libres de riesgos, se puede considerar que la mayoría de la población de los Estados Unidos está siendo sujeta a un experimento de alimentación en gran escala. Los consumidores de la Unión Europea (UE) han rechazado los alimentos genéticamente modificados (Lappe y Bailey 1998).

Debido a los métodos no usuales utilizados para producir cultivos GM, algunos temen que las variantes genéticas producidas puedan introducir sustancias extrañas en la provisión de alimentos con efectos negativos inesperados sobre la salud humana. Una preocupación importante es que alguna proteína codificada por un gen introducido pueda ser un alérgeno y causar reacciones alérgicas en las poblaciones expuestas (Burks y Fuchs 1995).

La biotecnología se emplea para introducir genes en diversas plantas que son fuentes de alimentos o componentes de varios alimentos. Los caracteres que se introducen incluyen resistencia a virus e insectos, tolerancia a los herbicidas y cambios en la composición o el contenido nutricional. Dada la diversidad de caracteres, es fácil predecir el potencial alérgico de las proteínas introducidas en los alimentos que provienen de fuentes sin registros de poseer alérgenos o que tienen secuencias de aminoácidos similares a las de alérgenos conocidos presentes en proteínas de maní, almendras, leche, huevos, soya, mariscos, pescado y trigo.

Hay una pequeña pero real posibilidad de que la ingeniería genética pueda transferir proteínas nuevas y no identificadas en los alimentos, provocando así reacciones alérgicas en millones de consumidores sensibles a los alérgenos, pero sin que haya posibilidad de identificarlos o de autoprotgerse de tales alimentos dañinos.

Otra preocupación está asociada con el hecho de que casi en todos los cultivos genéticamente modificados se incorporan genes de resistencia a los antibióticos como marcadores, para indicar que una planta ha sido modificada con éxito. Es de esperar que estos genes y sus productos enzimáticos, que causan la inactivación de los antibióticos, estén presentes en los alimentos modificados y sean incorporados por las bacterias presentes en el estómago humano. Esto trae a colación importantes preguntas sobre las consecuencias en la salud humana, particularmente si comprometen la inmunidad (Ticciati y Ticciati 1998).

El tratamiento con ingeniería genética puede eliminar o inactivar sustancias nutritivas valiosas en los alimentos. Investigaciones recientes demuestran que la soya modificada resistente a los herbicidas tiene menores niveles de isoflavonas (12-14 por ciento), fito-estrógenos clave (principalmente genistina) presentes en forma natural en la soya y que constituyen un potencial protector contra algunas formas de cáncer en la mujer (Lappe et al. 1998).

No hay científico que pueda negar la posibilidad de que cambiando la estructura genética fundamental de un alimento se puedan causar nuevas enfermedades o problemas de salud. No hay estudios de largo plazo que prueben la inocuidad de los cultivos genéticamente modificados. Estos productos no han sido probados en forma exhaustiva antes de llegar a los estantes de las tiendas. A pesar de esto, los cultivos transgénicos están siendo probados en los consumidores.

Capítulo III

Biotecnología, agricultura y medio ambiente

La biotecnología se está usando para reparar los problemas causados por previas tecnologías agroquímicas (resistencia a los pesticidas, polución, degradación del suelo, etc.) desarrolladas por las mismas compañías que ahora lideran la biorrevolución. Los cultivos transgénicos creados para el control de plagas siguen de cerca los paradigmas de usar un solo mecanismo de control (un pesticida) que ha demostrado repetidas veces su fracaso frente a insectos, patógenos y plagas (Consejo Nacional de Investigación 1996). El promocionado enfoque «un gen - una plaga» será fácilmente superado por plagas que continuamente se adaptan a nuevas situaciones y desarrollan mecanismos de detoxificación (Robinson 1996).

La agricultura desarrollada con cultivos transgénicos favorece los monocultivos que se caracterizan por niveles peligrosamente altos de homogeneidad genética, que a su vez conducen a una mayor vulnerabilidad de los sistemas agrícolas ante situaciones de estrés biótico y abiótico (Robinson 1996). Cuando se promueve el monocultivo también se inhiben los métodos agrícolas ecológicos, como las rotaciones y los cultivos múltiples, exacerbando así los problemas de la agricultura convencional (Altieri 2000).

En la medida en que las semillas obtenidas por ingeniería genética reemplacen a las antiguas variedades tradicionales y sus parientes silvestres, la erosión genética se acelerará en el Tercer Mundo (Fowler y Mooney 1990). La búsqueda de uniformidad no sólo destruirá la diversidad de los recursos genéticos sino que alterará la complejidad biológica en la cual se basa la sostenibilidad de los sistemas tradicionales de cultivo (Altieri 1996).

Hay muchas preguntas ecológicas sin respuesta sobre el impacto del lanzamiento de plantas y microorganismos transgénicos en el medio ambiente y la evidencia disponible apoya la posición de que el impacto puede ser sustancial. Entre los principales riesgos ambientales asociados con las plantas producidas por ingeniería genética están la transferencia involuntaria de «transgenes» a las especies silvestres relacionadas, con efectos ecológicos impredecibles.

El impacto de los cultivos resistentes a herbicidas

Resistencia a los herbicidas

Al crear cultivos resistentes a sus herbicidas, las compañías biotecnológicas pueden expandir mercados para sus productos químicos patentados. (En 1997, 50 mil agricultores plantaron 3.6 millones de hectáreas de soya resistente a los herbicidas, equivalente al 13 por ciento de los 71 millones de acres de soya a nivel nacional en Estados Unidos, Duke 1996). Los observadores dieron un valor de \$75 millones a los cultivos resistentes a los herbicidas en 1995, el primer año de comercialización, lo que indica que para el año 2000 el mercado sería de unos 805 millones de dólares, que representan un crecimiento del 61 por ciento (Carpenter y Gianessi 1999).

El uso continuo de herbicidas como bromoxynil y glifosato (también conocido como Roundup de Monsanto), tolerados por cultivos resistentes a estos herbicidas, puede acarrear problemas (Goldberg 1992). Se sabe muy bien que cuando un solo herbicida se usa continuamente en un cultivo, se incrementa enormemente el riesgo de desarrollo de resistencia al herbicida en las poblaciones de malezas (Holt et al. 1993). Se conocen unos 216 casos de resistencia a una o más familias de herbicidas (Holt y Le Baron 1990). Los herbicidas del grupo Trizzinas registran la mayor cantidad de especies de malezas resistentes (alrededor de 60).

Dada la presión de la industria para incrementar las ventas de herbicidas, el área tratada con herbicidas de amplio espectro se expandirá, intensificando así el problema de la resistencia. Por ejemplo, se ha proyectado que el área tratada con glifosato se incrementará en unos 150 millones de acres. Aunque el glifosato se considera menos propicio para crear resistencia en malezas, el aumento en el uso del herbicida dará como resultado resistencia de las malezas, aun cuando sea más lenta. Esto ya ha sido registrado en poblaciones australianas de pastos como ryegrass, quackgrass, *Eleusine indica* y *Cirsium arvense* (Gill 1995).

Los herbicidas destruyen más que las malezas

Las compañías biotecnológicas sostienen que el bromoxynil y el glifosato se degradan rápidamente en el suelo cuando se aplican con propiedad, no se acumulan en el agua subterránea, no tienen efectos sobre otros organismos y no dejan residuos en los alimentos. Sin embargo, hay evidencia de que el bromoxynil causa defectos congénitos en animales, es tóxico para los peces y puede causar cáncer en los seres humanos (Goldberg 1992). Debido a que el bromoxynil se absorbe a través de la piel, y porque causa defectos congénitos en roedores, es probable que sea peligroso para los agricultores y trabajadores del campo. Asimismo, se ha informado que el glifosato es tóxico para algunas especies que habitan en el suelo, incluyendo

predadores, como arañas, escarabajos carábidos y coccinélidos, y para otros que se alimentan de detritos como los gusanos de tierra, así como para organismos acuáticos, incluyendo peces (Paoletti y Pimentel 1996). Se sabe que este herbicida se acumula en frutas y tubérculos porque sufre relativamente poca degradación metabólica en las plantas, por lo que surgen preguntas sobre su inocuidad, especialmente ahora que se usan anualmente más de 37 millones de libras de este herbicida sólo en Estados Unidos. Más aún, las investigaciones demuestran que el glyphosate tiende a actuar en una forma similar a la de los antibióticos, alterando en una forma todavía desconocida la biología del suelo y causando efectos tales como:

- I Reducir la habilidad de la soya y del trébol para fijar nitrógeno

- I Hacer más vulnerables a las enfermedades a las plantas de frijol

- I Reducir el crecimiento de las micorrizas que moran en el suelo, hongos clave para ayudar a las plantas a extraer el fósforo del suelo.

Creación de «supermalezas»

Aunque hay cierta preocupación porque los cultivos transgénicos por sí mismos puedan convertirse en malezas, el principal riesgo ecológico es que el lanzamiento en gran escala de los cultivos transgénicos promueva la transferencia de transgenes de los cultivos a otras plantas, las cuales podrían transformarse en malezas (Darmency 1994). Los transgenes que confieren ventajas biológicas significativas pueden transformar plantas silvestres en nuevas o peores malezas (Rissler y Mello 1996). El proceso biológico que nos preocupa es la introgresión-hibridación entre especies de plantas diferentes pero emparentadas. La evidencia señala que tales intercambios genéticos ya se realizan entre plantas silvestres, malezas y especies cultivadas. La incidencia de *Sorghum bicolor*, una maleza emparentada con el sorgo y el flujo genético entre el maíz y el teosinte demuestran el potencial de que los parientes de los cultivos puedan convertirse en malezas peligrosas. Esto es preocupante dada la cantidad de cultivos que crecen en las proximidades de sus parientes silvestres sexualmente compatibles en Estados Unidos (Lutman 1999). Debe tenerse extremo cuidado en los sistemas agrícolas que se caracterizan por polinización cruzada, como avena, cebada, girasoles y sus parientes silvestres, y entre el raps y otras crucíferas relacionadas (Snow y Moran 1997).

En Europa hay una gran preocupación sobre la posible transferencia de polen de genes tolerantes a los herbicidas de las semillas oleosas de Brassica a las especies *Brassica nigra* y *Sinapsis arvensis* (Casper y Landsmann 1992). Algunos cultivos crecen cerca de plantas silvestres que no son sus parientes cercanos pero que pueden tener cierto grado de compatibilidad cruzada como los cruces de *Raphanus raphanistrum* x *R. sativus* (rábanos) y el sorgo alepo x maíz-sorgo (Radosevich et al. 1996). Repercusiones en cascada de estas transferencias pueden en última instancia significar cambios en la estructura de las comunidades vegetales. Los intercambios genéticos constituyen una amenaza grande en los centros de diversidad, porque en los sistemas agrícolas biodiversos la probabilidad que los cultivos transgénicos encuentren parientes silvestres sexualmente compatibles es muy alta.

La transferencia de genes de los cultivos transgénicos a cultivos orgánicos representa un problema específico para los agricultores orgánicos; la certificación orgánica se basa en que los productores puedan garantizar que sus cultivos no

tengan transgenes insertados. Algunos cultivos que pueden cruzarse con otras especies, como el maíz o el raps se verán afectados en mayor grado, pero todos los que desarrollan agricultura orgánica corren el riesgo de contaminación genética. No hay reglamentos que obliguen a un mínimo de separación entre los campos transgénicos y orgánicos (Royal Society 1998).

En conclusión, el hecho de que la hibridación y la introgresión interespecíficas sea algo común en especies como girasol, maíz, sorgo, raps, arroz, trigo y papa, provee una base para anticipar flujos genéticos entre los cultivos transgénicos y sus parientes silvestres, que pueden dar lugar a nuevas malezas resistentes a los herbicidas (Lutman 1999). Hay consenso entre los científicos de que los cultivos transgénicos en algún momento permitirán el escape de los transgenes hacia las poblaciones de sus parientes silvestres. El desacuerdo está en cuán serio será el impacto de tales transferencias (Snow y Moran 1997).

Riesgos ambientales de los cultivos resistentes a insectos

(Cultivos Bt)

Resistencia

Según la industria biotecnológica, la promesa de los cultivos transgénicos insertados con genes Bt son el reemplazo de los insecticidas sintéticos que ahora se usan para controlar insectos plaga. Pero esto no es muy claro ya que la mayor parte de los cultivos son atacados por diversas plagas y las plagas que no pertenecen al orden Lepidoptera de todos modos tendrán que ser combatidas con insecticidas porque no son susceptibles a la toxina Bt expresada en el cultivo (Gould 1994). En un reciente informe (USDA 1999) que analiza el uso de pesticidas en la temporada agrícola 1997 en Estados Unidos en 12 combinaciones de regiones y cultivos, se demostró que en siete localidades no hubo diferencia estadística en el uso de pesticidas entre cultivos con Bt y cultivos convencionales sin Bt. En el Delta del Mississippi se usó una cantidad significativamente mayor de pesticidas en algodón Bt versus algodón sin Bt.

Por otro lado, se sabe que varias especies de lepidópteros han desarrollado resistencia a la toxina BT tanto en pruebas de campo como en laboratorio, lo que sugiere la posibilidad de aparición de importantes problemas de resistencia en los cultivos Bt a través de los cuales la continua expresión de la toxina crea una fuerte presión de selección (Tabashnik 1994). Ningún entomólogo serio puede cuestionar si la resistencia se desarrollará o no. La pregunta es ¿qué tan rápido sucederá?. Los científicos ya han detectado el desarrollo de «resistencia de comportamiento» en algunos insectos que aprovechan la expresión irregular de la potencia de la toxina en el follaje del cultivo, atacando sólo las partes con bajas concentraciones de toxina. Es más, ya que las toxinas insertadas por medios genéticos con frecuencia disminuyen en los tejidos hojas y tallo conforme el cultivo madura, la baja dosis sólo puede matar o debilitar completamente las larvas susceptibles (homocigotes); en consecuencia, puede presentarse una adaptación mucho más rápida a la toxina Bt si la concentración permanece siempre alta. La observación de las plantas de maíz transgénico a finales de octubre indicaron que la mayoría de los barrenadores europeos del maíz que sobrevivieron, habían entrado en dormancia preparándose para emerger como adultos en la siguiente primavera (Onstad y Gould 1998).

Para retrasar el inevitable desarrollo de resistencia de los insectos a los cultivos Bt, los bioingenieros están preparando planes de manejo de resistencia que consisten en mosaicos de parcelas transgénicas y no transgénicas (llamadas refugios) para demorar la evolución de la resistencia proporcionando poblaciones de insectos susceptibles que puedan cruzarse con los insectos resistentes. Aunque estos refugios deben tener un tamaño de por lo menos 30% del área cultivada, el nuevo plan de Monsanto recomienda refugios de sólo 20% incluso cuando se usen insecticidas. Adicionalmente, el plan no ofrece detalles en cuanto a si los refugios se plantarán junto con los cultivos transgénicos, o a cierta distancia, donde según los estudios son menos efectivos (Mallet y Porter 1992). Además, debido a que los refugios requieren el difícil objetivo de la coordinación regional con los agricultores, no es realista esperar que los agricultores medianos y pequeños dediquen 30-40 por ciento de su área de cultivo a refugios, especialmente si los cultivos en estas áreas van a soportar fuertes daños por plagas.

Los agricultores que enfrentan los mayores riesgos del desarrollo de resistencia de los insectos al Bt son los agricultores orgánicos de los alrededores, quienes siembran maíz y soya sin agroquímicos. Una vez que la resistencia aparece en una población de insectos, los agricultores orgánicos no podrán usar *Bacillus thuringiensis* en la forma de insecticida microbiano para el control de plagas de lepidópteros que se trasladen de los campos transgénicos vecinos. Además, la contaminación genética de los cultivos orgánicos, resultado del flujo de genes (polen) de los cultivos transgénicos puede comprometer la certificación de los cultivos orgánicos y los agricultores pueden perder sus mercados. ¿Quién compensará a los agricultores orgánicos por tales pérdidas?

Sabemos por la historia de la agricultura, que las enfermedades de las plantas, las plagas de insectos y las malezas se vuelven más severas con el desarrollo de monocultivos, y que los cultivos genéticamente manipulados de manejo intensivo pronto pierden diversidad genética (Altieri 1994; Robinson 1996). Basados en estos hechos, no hay razón para creer que la resistencia a los cultivos transgénicos no evolucionará entre los insectos, plagas y patógenos como ha sucedido con los pesticidas. No importa qué estrategia de manejo de la resistencia se use, las plagas se adaptarán y superarán las limitaciones agronómicas (Green 1990). Los estudios de resistencia a los pesticidas demuestran que puede aparecer una selección no intencional y resultar en problemas de plagas mayores que los que existían antes del desarrollo de nuevos insecticidas. Las enfermedades y plagas siempre han sido amplificadas por los cambios hacia una agricultura genéticamente homogénea, precisamente el tipo de sistema que la biotecnología promueve (Robinson 1996).

Efectos sobre especies benéficas

Manteniendo las poblaciones de plagas a niveles muy bajos, los cultivos Bt podrían potencialmente dejar morir de hambre a los enemigos naturales, porque los predadores y avispa parásitas que se alimentan de las plagas necesitan una pequeña cantidad de presas para sobrevivir en el agroecosistema. Entre los enemigos naturales que viven exclusivamente de los insectos a los cuales los cultivos transgénicos están diseñados para destruir (lepidoptera), parasitoides de huevos y de larvas serían los más afectados porque son totalmente dependientes de hospederos vivos para su desarrollo y supervivencia. Algunos predadores podrían teóricamente prosperar en organismos muertos (Schuler et al. 1999).

Los enemigos naturales podrían verse afectados directamente por efecto de los niveles intertróficos de la toxina. La posibilidad de que las toxinas Bt se muevan a través de la cadena alimentaria de los insectos presenta serias implicaciones para el biocontrol natural en campos de agricultores. Evidencias recientes muestran que la toxina Bt puede afectar a insectos benéficos predadores que se alimentan de las plagas de insectos presentes en los cultivos Bt (Hilbeck 1998). Estudios en Suiza muestran que la media de la mortalidad total de las larvas del Crisopas predadoras (Chrysopidae) criado en presas alimentadas con Bt fue de 62 por ciento, comparada con 37 por ciento cuando se alimentaron con presas libres de Bt. Estas especies de Chrysopidae alimentadas con Bt también mostraron un tiempo más prolongado de desarrollo a lo largo de su estado de vida inmadura (Hilbeck 1998).

Estos hallazgos son preocupantes, especialmente para los pequeños agricultores que confían en el rico complejo de predadores y parásitos, asociados con sus sistemas de cultivo mixto, para el control de las plagas de insectos (Altieri 1994). Los efectos a nivel intertrófico de la toxina Bt traen a colación serias posibilidades de causar rupturas del control natural de plagas. Los predadores polífagos que se mueven dentro y entre cultivos mixtos encontrarán presas que contienen Bt, durante toda la temporada (Hilbeck 1999). La ruptura de los mecanismos de biocontrol puede dar como resultado un incremento de las pérdidas del cultivo debido a plagas o conllevar a un uso más intensivo de pesticidas, con consecuencias para la salud y riesgos para el medio ambiente.

También se sabe que el polen transportado por el viento desde los cultivos Bt que se deposita en la vegetación natural que rodea los campos transgénicos puede matar otras especies de insectos. Un estudio de la Universidad de Cornell (Losey et al. 1999) demostró que el polen de maíz que contiene toxina Bt puede ser transportado varios metros por el viento y depositarse en el follaje de la planta *Asclepias* con efectos potencialmente dañinos sobre las poblaciones de la mariposas monarca. Estos hallazgos abren toda una nueva dimensión de los impactos inesperados de los cultivos transgénicos sobre otros organismos que juegan papeles clave pero muchas veces desconocidos en el ecosistema.

Pero los efectos ambientales no se limitan a cultivos e insectos. Las toxinas Bt pueden ser incorporadas en el suelo junto con los residuos de hojas cuando los agricultores aran la tierra con los restos de los cultivos transgénicos luego de la cosecha. Las toxinas pueden persistir por dos o tres meses, porque resisten la degradación cuando se unen a la arcilla y a los ácidos húmicos en el suelo en tanto que mantienen su actividad tóxica (Palm et al. 1996). Tales toxinas Bt activas que se acumulan en el suelo y el agua, junto con los residuos de hojas transgénicas, pueden tener impactos negativos sobre el suelo y los invertebrados acuáticos, así como sobre el reciclaje de nutrientes (Donnegan y Seidler 1999).

El hecho que el Bt retenga sus propiedades insecticidas y que se vea protegido de la degradación microbiana al unirse a las partículas del suelo, persistiendo en varios suelos por lo menos 234 días, es una seria preocupación para los agricultores pobres quienes no pueden comprar los costosos fertilizantes químicos. Por el contrario, estos agricultores usan los residuos locales, materia orgánica y microorganismos del suelo para mejorar la fertilidad (especies clave, invertebrados, hongos o bacterias) que pueden verse afectados negativamente por la toxina ligada al suelo (Saxena et al. 1999).

Hacia la adopción del principio de la precaución

Los efectos ecológicos de los cultivos obtenidos vía ingeniería genética no se limitan a la resistencia de plagas o a la creación de nuevas malezas o razas de virus. Como discutimos aquí, los cultivos transgénicos pueden producir toxinas ambientales que se movilizan a través de la cadena alimentaria y que pueden llegar hasta el suelo y el agua afectando así a los invertebrados y probablemente alteren los procesos ecológicos como el ciclo de los nutrientes. Aún más, la homogeneización en gran escala de los terrenos con cultivos transgénicos exacerbará la vulnerabilidad ecológica asociada con la agricultura en base a monocultivos (Altieri 2000). No es aconsejable la expansión de esta tecnología a los países en desarrollo. Hay fortaleza en la diversidad agrícola de muchos de estos países que no debiera ser inhibida o reducida por el monocultivo extensivo, especialmente si el hacerlo ocasiona serios problemas sociales y ambientales (Thrupp 1998).

A pesar de estas consideraciones, los cultivos transgénicos han ingresado rápidamente en los mercados internacionales y se han ubicado en forma masiva en los terrenos agrícolas de Estados Unidos, Canadá, Argentina, China y otros países alcanzando más de 40 millones de hectáreas. Es una pena que recién hoy, después de 4 años de comercialización masiva de los cultivos transgénicos, el ex Secretario de Agricultura de Estados Unidos, Dan Glickman, haya solicitado estudios para evaluar los efectos de largo plazo de estos cultivos, tanto ecológicos como sobre la salud. Esta iniciativa es tardía, ya que la liberación ecológica de genes no es recuperable y sus efectos son irreversibles.

El rápido lanzamiento de los cultivos transgénicos y el consecuente desarreglo financiero (los precios de las acciones de las compañías de biotecnología están declinando) es una reminiscencia perturbadora de los previos incidentes con la energía nuclear y los pesticidas clorados como el DDT. Una combinación de oposición pública y obligaciones financieras forzó la paralización de estas tecnologías luego que sus efectos sobre el medio ambiente y la salud humana demostraron que eran mucho más complejos, difusos y persistentes que las promesas que acompañaron su rápida comercialización.

En el contexto de las negociaciones al interior de la Convención de Diversidad Biológica (CBD, en inglés) el año pasado, 130 países han demostrado sabiduría al adoptar el «principio de precaución» firmando un acuerdo global que controla el comercio de los organismos genéticamente modificados (OGM). Este principio que es la base para un acuerdo internacional sobre bioseguridad (International Biosafety Protocol) sostiene que cuando se sospecha que una tecnología nueva puede causar daño, la incertidumbre científica sobre el alcance y la severidad de la tecnología no debe obstaculizar la toma de precauciones. Esto da el derecho a países a oponerse a la importación de productos transgénicos sobre los cuales hay sospechas mínimas de que representan un peligro para la salud o el medio ambiente. Desgraciadamente un bloque de países exportadores de granos encabezado por EUA se opone a este acuerdo internacional argumentando que los productos agrícolas deben eximirse de tales regulaciones por atentar contra el mercado libre. El principio de la precaución establece que en lugar de que los críticos sean los que prueben los daños potenciales de la tecnología, los productores de dicha tecnología deberán presentar evidencia de que ésta es inocua. Hay una clara necesidad de pruebas independientes y monitoreo para asegurar que los datos autogenerados presentados a las agencias reguladoras gubernamentales no están parcializados o inclinados hacia los intereses de la

industria. Además, se debiera propiciar una moratoria mundial en contra de los OGM hasta que las interrogantes lanzadas tanto por científicos de renombre -quienes están haciendo investigaciones serias sobre el impacto ecológico y en la salud de los cultivos transgénicos- como por el público en general sean aclaradas por grupos de científicos independientes.

Muchos grupos ambientalistas y de consumidores que abogan por una agricultura más sostenible demandan el apoyo continuo a la investigación agrícola con base ecológica ya que existen soluciones agroecológicas a todos los problemas biológicos que la biotecnología quiere resolver. El problema es que la investigación en las instituciones públicas refleja cada vez más los intereses de grupos privados dejando de lado los bienes de investigación pública como el control biológico, los sistemas orgánicos y las técnicas agroecológicas en general (Busch 1990). La sociedad civil debe exigir más investigación sobre alternativas a la biotecnología, desarrollada por universidades y otras organizaciones públicas. Hay también una urgente necesidad de rechazar el sistema de patentes y los derechos de propiedad intelectual intrínsecos de la Organización Mundial de Comercio (OMC) que no sólo provee a las corporaciones multinacionales el derecho de apropiarse y patentar recursos genéticos, sino que también acentúa la velocidad a la cual las fuerzas del mercado estimulan el monocultivo con variedades transgénicas genéticamente uniformes.

Capítulo IV

Alternativas más sostenibles que la biotecnología

¿Qué es agroecología?

Los defensores de la Revolución Verde sostienen que los países en desarrollo deberían optar por un modelo industrial basado en variedades mejoradas y en el creciente uso de fertilizantes y pesticidas a fin de proporcionar una provisión adicional de alimentos a sus crecientes poblaciones y economías. Pero como hemos analizado anteriormente la información disponible demuestra que la biotecnología no reduce el uso de agroquímicos ni aumenta los rendimientos. Tampoco beneficia a los consumidores ni a los agricultores pobres. Dado este escenario, un creciente número de agricultores, ONGs y defensores de la agricultura sostenible propone que en lugar de este enfoque intensivo en capital e insumos, los países en desarrollo deberían propiciar un modelo agroecológico que da énfasis a la biodiversidad, el reciclaje de los nutrientes, la sinergia entre cultivos, animales, suelos y otros componentes biológicos, así como a la regeneración y conservación de los recursos (Altieri 1996).

Una estrategia de desarrollo agrícola sostenible que mejora el medio ambiente debe estar basada en principios agroecológicos y en un método de mayor participación para el desarrollo y difusión de tecnología. La agroecología es la ciencia que se basa en los principios ecológicos para el diseño y manejo de sistemas agrícolas sostenibles y de conservación de recursos, y que ofrece muchas ventajas para el desarrollo de tecnologías más favorables para el agricultor. La agroecología se erige sobre el conocimiento indígena y tecnologías modernas selectas de bajos insumos para diversificar la producción. El sistema incorpora principios biológicos y los recursos

locales para el manejo de los sistemas agrícolas, proporcionando a los pequeños agricultores una forma ambientalmente sólida y rentable de intensificar la producción en áreas marginales (Altieri et al. 1998).

Se estima que aproximadamente 1.9 a 2.2 mil millones de personas aún no han sido tocadas directa o indirectamente por la tecnología agrícola moderna. En América Latina la proyección es que la población rural permanecería estable en 125 millones hasta el año 2000, pero 61 por ciento de esta población es pobre y la expectativa es que aumente. Las proyecciones para África son aún más dramáticas. La mayor parte de la pobreza rural (cerca de 370 millones) se centra en áreas de escasos recursos, muy heterogéneas y predispuestas a riesgos. Sus sistemas agrícolas son de pequeña escala, complejos y diversos. La mayor pobreza se encuentra con más frecuencia en las zonas áridas o semiáridas, y en las montañas y laderas que son vulnerables desde el punto de vista ecológico. Tales fincas y sus complejos sistemas agrícolas constituyen grandes retos para los investigadores.

Para que beneficie a los campesinos pobres, la investigación y el desarrollo agrícolas deberían operar sobre la base de un enfoque «de abajo hacia arriba», usando y construyendo sobre los recursos disponibles -la población local, sus conocimientos y sus recursos naturales nativos-. Debe tomarse muy en serio las necesidades, aspiraciones y circunstancias particulares de los pequeños agricultores, por medio de métodos participativos. Esto significa que desde la perspectiva de los agricultores pobres, las innovaciones tecnológicas deben:

- I Ahorrar insumos y reducir costos
- I Reducir riesgos
- I Expandirse hacia las tierras marginales frágiles
- I Ser congruentes con los sistemas agrícolas campesinos
- I Mejorar la nutrición, la salud y el medio ambiente

Precisamente es debido a estos requerimientos que la agroecología ofrece más ventajas que la Revolución Verde y los métodos biotecnológicos. Las características de las técnicas agroecológicas:

- I Se basan en el conocimiento indígena y la racionalidad campesina
- I Son económicamente viables, accesibles y basadas en los recursos locales
- I Son sanas para el medio ambiente, sensibles desde el punto de vista social y cultural
- I Evitan el riesgo y se adaptan a las condiciones del agricultor
- I Mejoran la estabilidad y la productividad total de la finca y no sólo de cultivos particulares.

Hay miles de casos de productores rurales que, en asociación con ONGs y otras organizaciones, promueven sistemas agrícolas y conservan los recursos, manteniendo altos rendimientos, y que cumplen con los criterios antes mencionados. Aumentos de 50 a 100 por ciento en la producción son bastante comunes con la mayoría de métodos de producción. En ocasiones, los rendimientos de los cultivos que constituyen el sustento de los pobres- arroz, frijoles, maíz, yuca, papa, cebada- se han multiplicado gracias al trabajo y al conocimiento local más que a la compra de insumos costosos, y capitalizando sobre los procesos de intensificación y sinergia. Más importante tal vez que sólo los rendimientos, es posible aumentar la producción total en forma significativa diversificando los sistemas agrícolas, usando al máximo los recursos disponibles (Uphoff y Altieri 1999).

Muchos ejemplos sustentan efectividad de la aplicación de la agroecología en el mundo en desarrollo. Se estima que alrededor de 1.45 millones de familias rurales pobres que viven en 3.25 millones de hectáreas han adoptado tecnologías regeneradoras de los recursos. Citamos algunos ejemplos (Pretty 1995):

I Brasil: 200,000 agricultores que usan abonos verdes y cultivos de cobertura duplicaron el rendimiento del maíz y el trigo.

I Guatemala-Honduras: 45,000 agricultores usaron la leguminosa *Mucuna* como cobertura para conservación del suelo triplicando los rendimientos del maíz en las laderas.

I México: 100,000 pequeños productores de café orgánico aumentaron su producción en 50 por ciento.

I Sureste de Asia: 100,000 pequeños productores de arroz que participaron en las escuelas para agricultores de MIP aumentaron sustancialmente sus rendimientos sin usar pesticidas.

I Kenia: 200,000 agricultores duplicaron sus rendimientos de maíz usando agroforestería basada en leguminosas e insumos orgánicos.

Historias exitosas en América Latina

Estabilización de las laderas en América Central: Quizás el principal reto de la agricultura en América Latina ha sido diseñar sistemas de cultivo para las áreas de laderas, que sean productivos y reduzcan la erosión. Vecinos Mundiales asumió este reto en Honduras a mediados de la década de los 80. El programa introdujo prácticas de conservación del suelo como el drenaje y el diseño de canales, barreras vegetales y paredes de roca, así como métodos de fertilización como el uso de abono de excremento de pollos y cultivos intercalados con leguminosas. Los rendimientos de granos se triplicaron y en algunos casos se cuadruplicaron, de 400 kg por hectárea a 1200-1600 kg. El aumento del rendimiento aseguró una amplia provisión de granos a las 1200 familias participantes en el programa.

Varias ONGs de América Central han promovido el uso de leguminosas como abono verde, una fuente gratuita de fertilizante orgánico. Los agricultores del norte de

Honduras están usando el frijol veloso con excelentes resultados. Los rendimientos de maíz son ahora más del doble del promedio nacional, la erosión y las malezas están controladas y los costos de preparación del terreno son menores.

Aprovechando la bien establecida red agricultor-a agricultor en Nicaragua, más de 1000 campesinos recuperaron tierras degradadas en la cuenca de San Juan en sólo un año de aplicación de esta sencilla tecnología. Estos agricultores han disminuido el uso de fertilizantes químicos de 1900 a 400 kg por hectárea, y han incrementado los rendimientos de 700 a 2000 kg por hectárea. Sus costos de producción son 22 por ciento menores que los de agricultores que usan fertilizantes químicos y monocultivo.

Re-creando la Agricultura Inca: En 1984 varias ONGs y agencias estatales ayudaron a los agricultores locales en Puno-Perú, a reconstruir sus antiguos sistemas (waru-warus) que consisten en campos elevados rodeados de canales llenos de agua. Estos campos producen abundantes cultivos a pesar de las heladas destructoras comunes a altitudes de 4000 metros. La combinación de camas elevadas y canales modera la temperatura del suelo, alarga la temporada de cultivo y conduce a una mayor productividad en los waru-warus que en los suelos normales de las pampas con fertilización química. En el distrito de Huatta, los waru-warus produjeron rendimientos anuales de papa de 14 toneladas por hectárea, un contraste favorable con el promedio regional de rendimiento de papa que es de 1-4 toneladas por hectárea.

Varias ONGs y agencias gubernamentales en el Valle del Colca al sur del Perú han apoyado la reconstrucción de los andenes, ofreciendo a los campesinos préstamos con bajos intereses o semillas y otros insumos para restaurar los andenes abandonados. El primer año, los rendimientos de papa, maíz y cebada mostraron 43-65 por ciento de incremento comparado con los rendimientos de los campos en declive. Una leguminosa nativa (tarwi) se usó en rotación o como cultivo asociado en los andenes, para fijar el nitrógeno, minimizar la necesidad de fertilizantes e incrementar la producción. Estudios en Bolivia, donde las leguminosas nativas se han usado en rotación de cultivos, muestran que aunque los rendimientos son mayores en campos de papas fertilizados químicamente y operados con maquinarias, los costos de energía son mayores y los beneficios económicos netos son menores que con el sistema agroecológico que enfatiza el tarwi (*Lupinus mutabilis*).

Fincas integradas: Numerosas ONGs han promovido fincas diversificadas en las cuales cada componente del sistema refuerza biológicamente a los otros componentes -por ejemplo, los residuos de un componente se convierten en insumos de otro-. Desde 1989 la ONG CET ha ayudado a los campesinos del Sur-Centro de Chile a producir alimento autosuficiente para todo el año reconstruyendo la capacidad productiva de la tierra. Se establecieron sistemas de finca modelo pequeñas, que consisten en policultivos y secuencias de rotación de forraje y cultivos alimenticios, bosques y árboles frutales, y animales. Los componentes se escogen de acuerdo a su contribución nutricional en subsiguientes rotaciones, a su adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas locales, a los patrones de consumo de los campesinos locales y a las oportunidades de mercado.

La fertilidad del suelo de estas fincas ha mejorado y no han aparecido problemas serios de plagas o enfermedades. Los árboles frutales y los forrajes obtienen rendimientos mayores que el promedio, y la producción de leche y huevos supera con creces a la de las fincas convencionales de altos insumos. Un análisis nutricional

del sistema demuestra que una familia típica produce 250 por ciento de proteína adicional, 80 y 550 por ciento de exceso de vitamina A y C, respectivamente, y 330 por ciento de calcio adicional. Si todos los productos de la finca se vendieran a precio de mayorista, la familia podría generar un ingreso neto mensual 1.5 veces mayor que el salario mínimo legal mensual en Chile, dedicando sólo unas pocas horas por semana a la finca. El tiempo libre lo usan los agricultores para otras actividades, dentro y fuera de la finca, que les generan ingresos.

Hace poco una ONG cubana ayudó a establecer numerosos sistemas agrícolas integrados en cooperativas de la provincia de La Habana. Se probaron diferentes policultivos en las cooperativas, como yuca-frijol-maíz, tomate-yuca-maíz y camote-maíz. La productividad de estos policultivos fue 1.45 a 2.82 veces más elevada que la productividad de los monocultivos. El uso de abonos verdes aseguró una producción de zapallo equivalente a la que se obtiene aplicando 175 kg de úrea por hectárea. Además, las leguminosas mejoraron las características físicas y químicas del suelo y rompieron eficazmente el ciclo de infestación de insectos plaga claves.

Los casos resumidos (ver Altieri 2000) son sólo un pequeño ejemplo de las miles de experiencias exitosas de agricultura sostenible implementada a nivel local. Los datos muestran que los sistemas agroecológicos, a través del tiempo, exhiben niveles más estables de producción total por unidad de área que los sistemas de altos insumos; producen tasas de retorno económicamente favorables; proveen retornos a la mano de obra y otros insumos suficientes para una vida aceptable para los pequeños agricultores y sus familias; y aseguran la protección y conservación del suelo, al tiempo que mejoran la biodiversidad. Lo que es más importante, estas experiencias que ponen énfasis en la investigación agricultor-a agricultor y adoptan métodos de extensión popular, representan incontables demostraciones de talento, creatividad y capacidad científica en las comunidades rurales. Ello demuestra el hecho de que el recurso humano es la piedra angular de cualquier estrategia dirigida a incrementar las opciones para la población rural y especialmente para los agricultores de escasos recursos.

Sistemas orgánicos

Los enfoques agroecológicos también pueden beneficiar a los agricultores medianos y grandes involucrados en la agricultura comercial, tanto en el mundo en desarrollo como en Estados Unidos y Europa (Lampkin 1990). Gran parte del área manejada con agricultura orgánica se basa en la agroecología y se ha extendido en el mundo hasta alcanzar unos siete millones de hectáreas, de las cuales la mitad está en Europa y cerca de 1.1 millones en Estados Unidos. Sólo en Alemania hay alrededor de ocho mil fincas orgánicas que ocupan el 2 por ciento del total del área cultivada. En Italia las fincas orgánicas llegan a 18,000 y en Austria unas 20,000 fincas orgánicas constituyen el 10 por ciento del total de la producción agrícola.

En 1980 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos estimó que había por lo menos once mil fincas orgánicas en Estados Unidos y por lo menos 24 mil que usaban alguna técnica orgánica. En California, los alimentos orgánicos constituyen uno de los segmentos de mayor crecimiento en la economía agrícola, con ventas al por menor creciendo de 20 a 25 por ciento al año. Cuba es el único país que está llevando a cabo una conversión masiva hacia los sistemas orgánicos, promovida por

la caída de las importaciones de fertilizantes, pesticidas y petróleo luego del colapso de las relaciones con el bloque soviético en 1990. Los niveles de productividad de la isla se han recuperado gracias a la promoción masiva de las técnicas agroecológicas tanto en áreas urbanas como rurales.

Las investigaciones han demostrado que las fincas orgánicas pueden ser tan productivas como las convencionales, pero sin usar agroquímicos, consumiendo menos energía y conservando el suelo y el agua. En resumen, hay fuerte evidencia de que los métodos orgánicos pueden producir suficiente alimento para todos, y hacerlo de una generación a la siguiente sin disminuir los recursos naturales ni dañar el medio ambiente. En 1989 el Consejo Nacional de Investigación describió estudios de caso de ocho fincas orgánicas abarcando un rango de fincas mixtas de granos/ganado de 400 acres en Ohio; hasta una de 1400 acres de uvas en California y Arizona. Los rendimientos en las fincas orgánicas fueron iguales o mejores que los promedios de rendimiento de las fincas convencionales intensivas de los alrededores. Una vez más estas fincas pudieron sostener su producción año tras año sin usar insumos sintéticos costosos (NRC 1984).

Estudios de largo plazo han sido realizados por el Farming Systems Trial (Experimentos de Sistemas Agrícolas) del Instituto Rodale, un centro de investigación sin fines de lucro cerca de Kutztown, Pennsylvania. Se probaron tres tipos de parcelas experimentales por casi dos décadas. Una sometida a una alta intensidad de rotación estándar de maíz y frijol soya, usando fertilizantes y pesticidas comerciales. Otra es un sistema orgánico al cual se ha añadido una rotación de pasto/leguminosas de forraje para alimentar al ganado vacuno, y cuyo estiércol se ha devuelto al terreno. La tercera es una rotación orgánica donde se ha mantenido la fertilidad del suelo únicamente con leguminosas como cultivos de cobertura que se incorporan al suelo durante la labranza. Los tres tipos de parcelas han dado ganancias iguales en términos de mercado. El rendimiento del maíz mostró una diferencia de menos del 1 por ciento. La rotación con estiércol ha sobrepasado a las otras dos en la acumulación de materia orgánica del suelo y nitrógeno y ha perdido pocos nutrientes que contaminan el agua del subsuelo. Durante la sequía récord de 1999, las parcelas dependientes de químicos rindieron sólo 16 bushels de frijol soya por acre; los campos orgánicos con leguminosas produjeron 30 bushels por acre y los que aplicaron estiércol obtuvieron 24.

En lo que debe ser el experimento orgánico más extenso en el mundo -150 años- en la Estación Experimental de Rothamsted, Inglaterra, se reporta que sus parcelas orgánicas con estiércol han logrado rendimientos de trigo de 1.58 toneladas por acre, comparados con 1.55 toneladas por acre en las parcelas con fertilización sintética. No parece haber mucha diferencia, pero las parcelas con estiércol contienen seis veces más materia orgánica que las parcelas tratadas con químicos.

La evidencia demuestra en muchas formas que la agricultura orgánica conserva los recursos naturales y protege el medio ambiente más que los sistemas convencionales. La investigación también muestra que las tasas de erosión del suelo son menores en las fincas orgánicas y que los niveles de biodiversidad son mayores. El razonamiento de ambos sistemas es totalmente diferente: los sistemas orgánicos se basan en la suposición que en cualquier momento el área se siembra con abono verde de leguminosas o cultivos de forraje que servirá para alimentar a las vacas, cuyo estiércol a la vez se incorporará al suelo. Las fincas químicas se basan en una suposición totalmente diferente: que su supervivencia depende de una fábrica de

fertilizantes remota que a la vez está consumiendo vastas cantidades de combustibles fósiles y emitiendo gases.

¿Qué se necesita?

No hay duda que los pequeños agricultores que viven en los ambientes marginales en el mundo en desarrollo pueden producir mucho del alimento que requieren. La evidencia es concluyente: nuevos enfoques y tecnologías lideradas por agricultores, gobiernos locales y ONGs en todo el mundo ya están haciendo suficientes contribuciones a la seguridad alimentaria a nivel familiar, nacional y regional. Una gran variedad de métodos agroecológicos y participativos en muchos países muestran resultados incluso ante condiciones adversas. El potencial incluye: aumento de los rendimientos de los cereales de 50 a 200 por ciento, aumento de la estabilidad de la producción por medio de la diversificación y la conservación del agua y del suelo, mejora de las dietas y los ingresos con apoyo apropiado y difusión de estos métodos, y contribución a la seguridad alimentaria nacional y a las exportaciones (Uphoff y Altieri 1999).

La difusión de estas miles de innovaciones ecológicas dependerá de las inversiones, políticas y cambios de actitud de parte de investigadores y de quienes toman decisiones. Los mayores cambios deben darse en políticas e instituciones de investigación y desarrollo para asegurar la difusión y adopción de las alternativas agroecológicas de manera equitativa, cosa que éstas sean multiplicadas y escalonadas a fin de que su beneficio total para la seguridad alimentaria sostenible pueda hacerse realidad. Deben desaparecer los subsidios y las políticas de incentivos que promueven los métodos químicos convencionales. Debe objetarse el control corporativo sobre el sistema alimentario. Los gobiernos y organizaciones públicas internacionales deben alentar y apoyar las asociaciones positivas entre las ONG, universidades locales y organizaciones campesinas para ayudar a los agricultores a lograr la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y la conservación de los recursos naturales.

Se deben desarrollar oportunidades de mercado equitativas, con énfasis en el comercio justo y otros mecanismos que enlacen más directamente a agricultores y consumidores. El reto final es incrementar la inversión y la investigación en agroecología y poner en práctica proyectos que hayan probado tener éxito para miles de agricultores. Esto generará un impacto significativo en el ingreso, la seguridad alimentaria y bienestar medioambiental de la población mundial, especialmente de los millones de agricultores pobres a quienes todavía no ha llegado la tecnología agrícola moderna, y a los cuales la biotecnología no tiene nada que ofrecer.

Glosario

A

Acido desoxirribonucleico (ver ADN): la base molecular de la herencia.

Adaptación: proceso por el cual un organismo sufre modificaciones de modo que sus funciones se tornan más apropiadas a los cambios del medio ambiente.

ADN: material genético celular compuesto por bases púricas y pirimídicas en arreglos ascendentes y descendentes de doble hélice.

Agrobacterium tumefaciens: bacteria que causa tumores en una serie de plantas dicotiledóneas, especialmente en miembros costeros del género *Pinus*. La bacteria penetra en células vegetales muertas o dañadas de un organismo y les transfiere una porción de ADN, en forma de plásmido, que induce la formación de tumores. El plásmido se integra luego en el material genético de la planta, lo que constituye una forma natural de ingeniería genética. Las cepas de *A. tumefaciens* pueden ser sometidas a ingeniería genética artificial para introducir genes seleccionados en células vegetales. Se pueden regenerar plantas completas a partir de células infectadas desarrolladas en cultivo de tejidos, cada una de las cuales porta el gen foráneo.

Alelo dominante: un alelo que sólo se expresa en condición heterocigota.

Alelo: de alelomorfo, uno de una posible serie de formas alternativas de un gen determinado que difiere en la secuencia de ADN, pero que da origen a un producto similar; por ejemplo un grupo sanguíneo o una proteína vegetal.

Alérgeno: sustancia que causa una reacción de hipersensibilidad en el cuerpo humano.

Aminoácido: ácido orgánico que posee un grupo amino (-NH₂). Existen 20 aminoácidos diferentes que se acomodan en un orden definido para construir moléculas lineales de proteínas, cada una de las cuales contiene cientos de aminoácidos.

Aminoácidos esenciales: uno de los ocho aminoácidos que no son sintetizados en el cuerpo humano; fenilalanina, metionina, lisina, triptofano, colina, leucina, isoleucina y treonina.

Amplificación genética: proceso por el cual los genes o secuencias de ADN del genoma aumentan el número de copias.

Antibiótico: sustancia que destruye o inhibe el crecimiento de un microorganismo (bacteria u hongo).

Anticuerpo: nombre común de una molécula de proteína o inmunoglobulina que reacciona con un antígeno específico.

Antígeno: sustancia foránea capaz de inducir una respuesta inmunológica, generalmente de tipo humoral, en un vertebrado y que involucra la producción de un anticuerpo específico para las propiedades estructurales del antígeno.

ARN (ácido ribonucleico): semejante al ADN excepto por el azúcar del nucleótido que es ribosa en vez de desoxirribosa, y la base que es uracilo en vez de timina. El ARN es el material genético de los virus ARN.

ARN de transferencia: moléculas de ARN que transfieren aminoácidos específicos al ARN mensajero para sintetizar los polipéptidos que codifica.

ARN mensajero: el ARN intermediario en la síntesis proteica que contiene una transcripción de la secuencia genética que especifica la secuencia de aminoácidos del polipéptido que codifica.

ARN ribosómico: moléculas de ARN que conforman el ribosoma.

B

Bacilo: un género de bacteria de forma alargada. *Bacillus thuringiensis* es un bacilo originario del suelo que forma esporas, crece en los suelos de muchas regiones y es la fuente del toxoide usado en ingeniería genética (ver toxoide Bt).

Bacteria: un microorganismo unicelular perteneciente al reino Procariota.

Baculovirus: virus que afecta insectos.

Banco de genes: en plantas, normalmente una construcción a temperatura y humedad controladas que se usa para almacenar semillas (u otro material de reproducción) para su futuro uso en programas de investigación y mejoramiento. También son llamados bancos de semillas.

Banco de semillas: una colección de semillas y germoplasma de una gran sección de vegetales o cultivos alimenticios que se guardan en nitrógeno líquido por períodos prolongados.

Bioingeniería: construcción genéticamente controlada de plantas o animales que consiste en la transferencia de genes para crear una nueva función o producto, a partir de un organismo que de otra manera sería genéticamente incompatible.

Biotecnología: combinación de bioquímica, genética, microbiología e ingeniería para desarrollar productos y organismos con valor comercial.

Brassica: género de plantas entre las que se encuentra el brócoli y la col.

Bromocynil: herbicida que contiene bromina, producto de la compañía Rhone Poulenc bajo el nombre de Buctril.

C

Carcinógeno: agente generalmente químico que causa cáncer.

Célula: la unidad más pequeña de todos los seres vivos capaz de auto-replicarse.

Clon: copia idéntica de un gen o un individuo, o el total de copias idénticas de un gen o individuo. En genética, el clon es idéntico al original en estructura genética.

Clonación de genes: técnica para hacer muchas copias de un gen, aislarlo e identificarlo.

Código genético: código que establece la correspondencia entre la secuencia de bases de los ácidos nucleicos (ADN y ARN complementario) y la secuencia de aminoácidos y proteínas.

Cromosoma: estructura entrelazada de ADN y proteínas que porta información genética en una secuencia lineal.

Cruzamiento: acción de fertilizar una planta con el polen de otra. Esta polinización puede ser llevada a cabo por los seres humanos, los insectos, el viento y puede ser intencional o no. Sin embargo, cuando el cruzamiento lo hacen los seres humanos, se supone que hay una cierta intención.

Cultivar: una variedad de planta producida por mejoramiento selectivo y mantenida en cultivo.

D

Diploide: material genético con doble carga genética obtenido a partir de dos gametos haploides.

Diversidad genética: de un grupo -población o especie- es la posesión de una amplia variedad de caracteres y alelos que con frecuencia originan diferentes expresiones en diferentes individuos.

Dominante: forma de expresión de un gen en la cual el fenotipo de la forma dominante se expresa por encima de la forma recesiva.

E

Ecosistema: combinación de todos los organismos de un lugar determinado en interacción con el medio ambiente.

Efecto cuello de botella: fluctuaciones en las frecuencias genéticas que surgen por la contracción abrupta de una población grande hacia otra más pequeña que luego vuelve a expandirse con una carga genética alterada.

Elemento genético móvil: una secuencia de ADN que se puede transponer (mover) de un lugar a otro en el genoma de una célula. Se llama también transposón.

Endogamia o cruzamiento monohíbrido: cruzamiento de individuos estrechamente relacionados.

Epigenético: cualquier proceso que no involucre cambios en la secuencia de bases del ADN en el genoma.

Epístasis: interacción entre genes.

Especie: un grupo de organismos de cruzamiento libre genéticamente aislado de fuentes estrechamente relacionadas que de otra manera podrían intercambiar genes; en taxonomía, individuos dentro de un orden que se reproduce libremente entre sí.

Especie biológica: grupo de individuos que comparten libremente una secuencia común de genes y que se reproducen aisladamente pero que normalmente no pueden cruzarse.

Estrógeno: que tiene las propiedades del estrógeno para estimular el crecimiento o la proliferación celular en tejidos sexuales específicos.

Eucariota: el super-reino de organismos cuyas células contienen un núcleo con membrana verdadera.

Evolución Darwiniana: reproducción preferente de organismos genéticamente variados con adaptaciones específicas que les permiten una supervivencia diferencial.

Exogamia: cruzamientos entre miembros lejanamente relacionados de la misma especie.

Expresión genética: en genética molecular significa la aparición eventual de un polipéptido codificado por un gen.

F

Fenotipo: característica expresada, o rasgo de un organismo que se expresa según su genotipo.

Fijación de nitrógeno: proceso por el cual el nitrógeno atómico se vuelve accesible a las plantas cuando se metabolizan sustancias químicas como el amoníaco.

Flavona: molécula aromática (contiene un anillo bencénico como núcleo) significativa en la comunicación de las leguminosas con *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*.

Flavonoides: moléculas de algunas plantas que pueden tener propiedades biológicas impredecibles, generalmente antioxidantes u hormonales.

Frijol soya: *Glycine max* (L) Marr. Una leguminosa tropical de amplia aplicación en agronomía; produce nódulos radiculares en simbiosis con *Bradyrhizobium japonicum* y *Rhizobium fredii*.

G

Gen: unidad hereditaria conformada por una secuencia de bases del ADN con información «inicio» y «final», a lo largo de la secuencia de bases, para dar lugar a una proteína específica.

Gen dominante: gen cuyos productos se expresan sólo cuando una forma del gen está presente como un único alelo.

Genoma: todos los genes que posee un organismo determinado.

Germoplasma: el material de las células germinales supuestamente responsable del mantenimiento de las características hereditarias que se trasmite a las siguientes generaciones.

Glifosato: el ingrediente activo del herbicida Round-Up TM.

H

Haploide: que contiene sólo la mitad del complemento normal de cromosomas; el contenido genético de los gametos.

Herbicida: un pesticida que sólo afecta plantas; producto químico con efecto destructivo o inhibidor del crecimiento en las plantas.

Heterozigosis: condición bajo la cual dos alelos diferentes están presentes en un individuo.

Heterocigote: individuo que tiene un gen con dos alelos diferentes.

Hibridación por introgresión: incorporación de genes de una especie en la carga genética de otra; con frecuencia da origen a una población de individuos representativa de la línea progenitora pero que al mismo tiempo posee algunas características del linaje del progenitor donante.

Híbrido: organismo derivado de dos líneas diferentes de progenitores homocigotes.

Homogeneidad: que tiene la misma forma o contenido.

Homólogo: similar, derivado de un ancestro común.

Homocigosis: que tiene los mismos alelos en ambos cromosomas paternos; el estado de ser homocigote.

Homocigote: un individuo que tiene genes con dos alelos idénticos.

Huellas digitales genéticas (fingerprinting): un método iniciado probablemente por Alec Jeffreys que posibilita el establecimiento de las interrelaciones genéticas entre parientes cercanos por medio de la tecnología del ADN.

I

Información genética: los datos que contiene una secuencia de bases en la molécula del ADN.

Ingeniería genética: tecnologías experimentales o industriales usadas para alterar el genoma de una célula viviente y producir diferentes moléculas o más moléculas que las programadas; también, la manipulación de genes para evadir la reproducción normal o asexual.

Inserción de genes: creación de combinaciones genéticas por introducción de una secuencia genética nueva en un genoma preexistente, comúnmente en bacterias.

Introgresión: introducción de genes de un miembro de una especie a otra en la cual el donante es geográfica y morfológicamente distante del receptor. Ver hibridación por introgresión.

Isoflavona: sustancia aromática indicadora que participa en la formación de nódulos en las leguminosas.

Isogénico: que tiene la misma estructura genética.

L

Leguminosas: familia de plantas que se caracteriza por una morfología floral similar a la de la arveja. Muchas pero no todas las legumbres presentan nódulos radiculares por la simbiosis con bacterias del suelo fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Azorhizobium*.

Lepidoptera: género de insectos que agrupa a las polillas y mariposas; larva de las mismas.

Linaje de un cultivo: los descendientes de un progenitor único de un cultivo alimenticio determinado.

Línea endogámica: una línea producida por endogamia. En fitomejoramiento, una línea casi homocigota originada por continua autofertilización acompañada de selección. (Ver línea pura).

Línea pura: una población genéticamente uniforme (homocigota).

Locus de rasgo cualitativo (QTL): término dado a una región del genoma que controla un fenotipo por interacción con otros genes (ejemplo, el contenido de aceite del frijol soya).

M

Marcador genético: cualquier segmento de ADN que puede ser identificado y cuya ubicación cromosómica es conocida, de modo que pueda ser usado como punto de referencia para elaborar mapas genéticos o localizar otros genes; cualquier gen que tiene un fenotipo identificable que puede ser usado para el seguimiento de la presencia o ausencia de otros genes del mismo fragmento de ADN transferido a una célula.

Mejoramiento: propagación controlada de plantas y animales

Molécula: arreglo de átomos en una estructura, unidos por enlaces inter-atómicos (por ejemplo enlaces de hidrógeno o carbono-carbono).

Monocultivo: un cultivo o colonia que contiene organismos de una sola línea genética pura; línea de plantas genéticamente uniformes u organismos derivados de cultivo de tejidos.

Mutación: una súbita variación heredable en un gen o en la estructura del cromosoma.

Mutación de adaptación o mutación dirigida: fenómeno por el cual las levaduras y células bacterianas en fase estacionaria (sin crecimiento) tienen alguna forma de producir (o retener en forma selectiva) sólo las mutaciones más adecuadas que le permiten usar nuevos sustratos para el crecimiento.

N

Nódulo: sobrecrecimiento de las raíces (o tallos en algunos casos) de las leguminosas, inducido por bacterias o agentes exógenos, como los factores bacterianos derivados de la formación de nódulos o los inhibidores del transporte de las auxinas.

O

OGM: abreviatura de organismo genéticamente modificado; planta o animal que contiene material genético alterado en forma permanente.

Organismo transgénico: organismo creado por ingeniería genética, en cuyo genoma se han incorporado uno o más genes foráneos.

P

Patógeno: cualquier agente que causa enfermedad.

Plásmido: molécula circular de ADN con enlaces covalentes, común en las bacterias. Se emplea con frecuencia como vector de clonación en ingeniería genética.

Pleiotropía: que tiene muchos efectos diferentes a partir de un gen único.

Poligenes: grupo (hipotético) de genes que controlan una característica, cada uno con un efecto pequeño y aditivo.

Polinización: proceso por el cual las células sexuales masculinas de la antera de una planta fertilizan el estigma.

Procariota: el super-reino que agrupa formas de vida sin pared celular; microorganismos que carecen de membrana en el núcleo que contiene los cromosomas.

Promotor: región reguladora de un gen involucrada en el control de la unión de la polimerasa del ARN con el gen marcado.

Propagación: reproducción asexual y desarrollo de plantas a partir de cultivo de tejidos, esquejes o fragmentos de una planta progenitora.

R

Recombinación: formación de nuevas combinaciones de alelos o nuevos genes que se presenta cuando dos fragmentos de ADN se unen o intercambian fracciones.

Recursos genéticos: en este libro se ha usado esencialmente como sinónimo de germoplasma, excepto que lleva en sí la fuerte implicación de que el material es considerado con un valor económico o utilitario.

Reduccionismo: doctrina por la cual un sistema complejo puede ser completamente entendido en términos de sus partes más simples; por ejemplo, un organismo debe ser totalmente entendido en términos de sus genes, o una sociedad en términos de sus individuos.

Regulador del crecimiento vegetal: amplio grupo de sustancias químicas que controlan el crecimiento de las plantas. Muchas son también compuestos naturales que se encuentran dentro de las plantas donde funcionan como hormonas.

Rhizobium: bacteria capaz de inducir la formación de nódulos en leguminosas como arveja, alfalfa y trébol.

Ribonucleasa: enzima que degrada el ARN.

Ribosoma: una organela celular necesaria para la síntesis de las proteínas.

Round-Up Ready™: la marca de las plantas de frijol soya producida por ingeniería genética, resistentes a los efectos herbicidas del glyphosate (Round-Up™).

S

Secuencia del ADN: arreglo lineal de las bases en un gen (ATGC) que conforma el código genético.

Selección artificial: elección de un genotipo que pasará a formar parte de los tipos genéticos que darán origen a subsecuentes generaciones de un organismo dado.

Silenciamiento genético: proceso (o procesos) por el cual ciertos genes del genoma son impedidos de expresarse por modificaciones químicas u otros medios.

T

Teratogénico: capaz de producir defectos congénitos u otros daños reproductivos que se manifiestan en una afección visible en forma o tamaño.

Toxoide Bt: proteína cristalina derivada de algunas cepas de *Bacillus thuringiensis* que se activa y se convierte en veneno en el ambiente alcalino del tracto intestinal de las larvas de insectos.

Transcripción: proceso por el cual se fabrica una secuencia complementaria a la secuencia de un gen en el genoma, que se puede usar directamente -como en el caso del ARN ribosómico y de transferencia- o que continúa su proceso hacia ARN mensajero y se traduce en una proteína. El proceso es catalizado por la enzima polimerasa del ARN dependiente del ADN.

Transcripción inversa: lo contrario al proceso de transcripción de una copia del ADN complementario (ADNc) a partir de una secuencia de ARN, es catalizada por la enzima transcriptasa inversa.

Transducción: en genética, la transferencia de genes de un organismo a otro por medio de virus.

Transferencia horizontal de genes: transferencia de genes de un individuo a otro de la misma o diferente especie, generalmente por medios distintos al cruzamiento.

Transformación: en genética, cuando un organismo adquiere el ADN de otro organismo de la misma o de diferente especie.

Transgene: un gen que se ha trasladado entre diferentes líneas de especies dentro de las células germinales de un hospedante.

Transgénesis: la ciencia del movimiento interespecífico de genes individuales.

Transgénico: adjetivo que describe a un organismo que contiene genes extraños a su estructura genética nativa.

V

Variedad local: población de plantas genéticamente heterogéneas generalmente desarrolladas por muchos años -incluso siglos- en la agricultura tradicional por selección directa del agricultor, la cual está adaptada específicamente a las condiciones locales.

Variedades: sub-tipos morfológicamente diferentes de una especie o género determinado; ejemplo, una nueva variedad de maíz.

Vector: portador de una enfermedad o un gen; por ejemplo, el mosquito es el vector de la malaria. Los virus, plásmidos y transposones son vectores de genes. Los áfidos son vectores que transfieren enfermedades de una planta a otra.

Vector transportador (shuttle): vector construido artificialmente que puede transferir genes entre dos especies genéticamente distantes.

Virus: elemento genético parasitario incluido en una cubierta proteica que puede replicarse dentro de las células y formar partículas infecciosas o permanecer en dormancia dentro de ellas. Su material genético puede integrarse al genoma celular para formar provirus.