

Biotecnología agrícola en el



Miguel A. Altieri

mundo

en desarrollo

mitos, riesgos y alternativas



Las compañías de biotecnología con frecuencia proclaman que los organismos genéticamente modificados, en especial las semillas, son un descubrimiento científico importante y necesario para alimentar al mundo y reducir la pobreza en los países en desarrollo. La mayoría de los organismos internacionales de todo el mundo que tienen a su cargo las políticas y la investigación tendientes a incrementar la seguridad alimentaria en el mundo en desarrollo se adhieren a este punto de vista que descansa en dos premisas críticas. La primera es que el hambre se debe a que existe una brecha entre la producción de alimentos y la densidad de población o su tasa de crecimiento. La segunda es que la ingeniería genética es el único o el mejor camino para incrementar la producción agrícola, y por tanto para solventar las necesidades futuras de alimentos. Un punto de partida para esclarecer estos conceptos erróneos es comprender que no existe relación entre el hambre prevaeciente en un determinado país y su población. Por cada nación densamente poblada y hambrienta, como Bangladesh o Haití, existe una nación hambrienta con poca densidad de población, como Brasil o Indonesia. El mundo produce hoy, como nunca, más alimento por habitante. Existe suficiente alimento dispo-

nible para proporcionar casi dos kilos por persona, diariamente: más de un kilo de grano, legumbres y nueces; alrededor de medio kilo de carne, leche y huevos y otro de frutas y verduras.

La producción mundial de granos en 1999 habría sido suficiente para alimentar a una población de ocho mil millones de personas —en el año 2000 el planeta tenía seis mil millones de habitantes— de haber sido equitativamente distribuida o no hubiera sido empleado como alimento para animales. En Estados Unidos, tres de cada 4.5 kilos de grano son para alimento de animales. Algunos países como Brasil, Paraguay, Tailandia e Indonesia dedican miles de hectáreas de tierras agrícolas a la producción de soya y yuca que se exporta a Europa como alimento para ganado. Si se canalizara una tercera parte del grano producido en todo el mundo hacia los pueblos necesitados, instantáneamente cesaría el hambre.

La globalización también es un factor de hambre, especialmente cuando los países en desarrollo adoptan políticas de libre comercio (bajando los aranceles y permitiendo el flujo de bienes procedentes de los países industrializados), amparados por instituciones internacionales de crédito. La experiencia de Haití, uno de los países más pobres del mundo, es un claro ejemplo de ello. En 1986, la mayoría

del arroz consumido en Haití había sido cultivado en la isla y se importaban sólo 7 000 toneladas. Inmediatamente después de abrir su economía al mundo, empezó a llegar a la isla arroz más barato procedente de Estados Unidos, donde la industria arrocera está subsidiada. En 1996, Haití importaba 196 000 toneladas de arroz extranjero a un costo de 100 millones de dólares al año. La producción arrocera haitiana pasó a un segundo término una vez que la dependencia del arroz extranjero fue total y el costo del arroz subió dejando gran parte de la población pobre al capricho del alza de los precios del grano a nivel mundial. El hambre aumentó.

Las causas reales del hambre son la pobreza, la desigualdad y la falta de acceso al alimento y a la tierra. Hay demasiada gente, demasiado pobre (alrededor de dos mil millones de personas sobreviven con menos de un dólar al día) para comprar el alimento disponible, a menudo mal distribuido, o que carece de tierra y de recursos para cultivarla. Dado que la verdadera raíz de la causa del hambre es la desi-



igualdad, cualquier método para fomentar la producción de alimentos que la agudice está destinado a fallar en el intento por reducirla. Por el contrario, lo que realmente puede acabar con el hambre son las tecnologías que están a favor de los pobres y que producen efectos positivos en la distribución de la riqueza, los ingresos y los bienes. Afortunadamente, estas tecnologías existen, y se pueden agrupar libremente bajo la disciplina de la agroecología, cuyo potencial ha sido ampliamente demostrado.

Además, atacar frontalmente la desigualdad mediante verdaderas reformas agrarias crea la esperanza de aumento en la productividad que sobrepasa el potencial de la biotecnología agrícola. Mientras las propuestas de la industria a menudo pronostican para un futuro 15, 20 o incluso 30% de ganancias mediante la biotecnología, los pequeños agricultores producen hoy de 200 a 1 000% más por unidad de área que los grandes agricultores de todo el mundo.

Es crítico comprender que la mayor parte de las innovaciones en la biotecnología agrícola han sido enfocadas más bien a obtener ganancias que a cubrir necesidades. El gran impulso de la industria de la biotecnología genética no es el hacer la agricultura más productiva, sino generar beneficios. Esto se puede ilustrar revisando las principales tecnologías disponibles en el mercado actual, que son los cultivos resistentes a herbicidas como las semillas de soya Roundup Ready de Monsanto, que son tolerantes al herbicida Roundup de Monsanto, y los cultivos Bt (*Bacillus thuringiensis*) que están genéticamente modificados para producir su propio insecticida.

En primera instancia, es claro que la meta es ganar una mayor distribu-

ción en el mercado de herbicidas de un producto de su propiedad y, en segunda, se trata de fomentar la venta de semilla, sin tomar en cuenta el riesgo de dañar la utilidad que representa el uso de un producto clave contra las plagas (*Bacillus thuringiensis*, un insecticida básicamente microbiano) en el cual confían muchos agricultores, incluso los agricultores orgánicos, por ser una importante alternativa a los insecticidas químicos. Estas tecnologías responden a la necesidad de las compañías de biotecnología de intensificar la dependencia de los agricultores a las semillas protegidas por los llamados "derechos de propiedad intelectual" que entran en conflicto directamente con los antiguos derechos de los agricultores para reproducir, distribuir y almacenar semillas.

Las corporaciones buscan que los agricultores compren los más recientes insumos y prohíben que compren o vendan semillas. En Estados Unidos, los agricultores que adoptan semillas de soya transgénicas deben firmar un acuerdo con Monsanto; si siembran semilla de soya transgénica al año siguiente, la multa es de casi 3 000 dólares por cada media hectárea y, dependiendo de la superficie, les puede costar sus tierras y su modo de subsistencia. Mediante el control del germoplasma a partir de la semilla que se va a vender y forzando a los agricultores a pagar precios inflados por los paquetes de semilla química, las compañías han tomado la determinación de obtener el mayor rendimiento de su inversión.

¿Aumentan la productividad?

Un importante argumento adelantado por quienes proponen la biotecnología es que una de las principales caracte-

terísticas de los cultivos transgénicos es el aumento sustancial en el rendimiento. Aun cuando los datos procedentes del mundo en desarrollo son escasos, un informe de 1999 elaborado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y el Servicio de Investigación Económica, en donde se analizaron los datos de 12 y 18 combinaciones de región/cultivo recopilados en 1997 y 1998, resultó concluyente al respecto. Los cultivos vigilados fueron maíz y algodón Bt y maíz, algodón y soya tolerantes a los herbicidas (HT por sus siglas en inglés) y sus contrapartes no modificadas.

En 1997, en siete de doce combinaciones región/cultivo, la diferencia del rendimiento no fue significativa entre los cultivos genéticamente modificados y los no modificados. Cuatro de doce regiones mostraron incrementos importantes (de 13 a 21 %) en el rendimiento de los cultivos modificados *versus* los no modificados (frijol de soya HT en tres regiones y algodón Bt en una región). El algodón HT en una región mostró una importante

reducción en el rendimiento (12%) en comparación con sus contrapartes no modificadas.

En 1998 en 12 de 18 combinaciones región/cultivo la producción no fue significativamente diferente entre los cultivos no modificados y los modificados. En cinco combinaciones cultivo región (maíz Bt en dos regiones, maíz HT en una región y algodón Bt en dos regiones) los cultivos modificados mostraron importantes incrementos en la productividad (de 5 a 30%) sobre los no modificados, pero tan sólo bajo la presión del gorgojo del maíz europeo, el cual es esporádico. El algodón HT (glifosato-tolerante) fue el único cultivo genéticamente modificado que mostró un crecimiento poco importante en su productividad en todas las regiones. En 1999, investigadores del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad de Nebraska cultivaron cinco diferentes variedades de semillas de soya Monsanto junto con sus especies emparentadas tradicionales más cercanas y las variedades tradicionales de más alto

rendimiento; esto se llevó a cabo en cuatro localidades del estado, tanto en tierras secas como en campos irrigados. Los investigadores encontraron, en promedio, que aun cuando las variedades genéticamente modificadas eran más caras, producían seis por ciento menos que sus parientes más cercanos no modificados genéticamente y 11% menos rendimiento que el más alto de los cultivos tradicionales. Algunos informes procedentes de Argentina muestran los mismos resultados en cuanto a que no ha ocurrido un aumento en la productividad con semillas de soya HT, lo que al parecer presenta una caída en la producción a nivel mundial.

¿Benefician a los agricultores pobres?

La mayoría de las innovaciones tecnológicas disponibles hoy día no toman en cuenta a los campesinos pobres, pues estos agricultores no están en capacidad de costear las semillas protegidas por patentes pertenecientes a las corporaciones de biotecnología. Además, la posibilidad de ampliar la tecnología moderna para proporcionar recursos a los campesinos ha sido limitada históricamente por obstáculos ambientales considerables. Alrededor de 850 millones de personas viven en tierras amenazadas por la desertificación; otros 500 millones de personas residen en tierras muy difíciles de cultivar debido a la pendiente de sus tierras. Además, la mayoría de la vida rural pobre entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio se desarrolla en regiones que serán más vulnerables a los efectos del calentamiento global. En tales medios sería preciso contar con una plétora de tecnologías locales baratas y accesibles para propiciar, en vez de limitar, las opciones



de los agricultores, tendencia que inhibe la tecnología controlada por las corporaciones.

Muchos investigadores en biotecnología se han comprometido a combatir los problemas asociados a la producción de alimentos en esas zonas marginales mediante el desarrollo de cultivos genéticamente modificados con características consideradas deseables para los pequeños agricultores, tales como un incremento en la competitividad contra las malezas y tolerancia a las sequías. Estos nuevos atributos, sin embargo, no necesariamente serán una panacea. Algunas características tales como la tolerancia a la sequía son poligénicas, lo que quiere decir que están determinadas por la interacción de múltiples genes. En consecuencia, el desarrollo de cultivos con estas características es un complejo proceso que podría tomar por lo menos diez años. Y bajo estas circunstancias, la ingeniería genética no da algo a cambio de nada. Cuando se hace un mal trabajo con múltiples genes para crear una característica deseada, inevitablemente se acaba por sacrificar otras características tales como la productividad. El uso de una planta tolerante a la sequía aumentaría la productividad del cultivo tan sólo en 30 o 40%. Cualquier incremento adicional a la producción tendría que provenir más bien de prácticas ambientales mejoradas (tales como el almacenamiento de agua o aumentando la materia orgánica del suelo para tener una mejor retención de humedad) y no tanto de la manipulación genética de características específicas.

Aun cuando la biotecnología contribuya a obtener mayores cosechas, la pobreza no necesariamente declinará. Muchos campesinos de los países en desarrollo no tienen acceso al dine-

ro en efectivo, al crédito, a la asistencia técnica o a los mercados. La llamada Revolución Verde de los años cincuenta y sesenta no llegó a estos agricultores porque el mantener los nuevos cultivos altamente productivos mediante el uso de plaguicidas y fertilizantes era demasiado costoso para los empobrecidos propietarios de tierras. Los datos con que contamos demuestran que, tanto en Asia como en América Latina, los agricultores ricos, con tierras más extensas y mejor dotadas, sacaban mayor provecho de la Revolución Verde, mientras que

pobres, la biotecnología no hará más que exacerbar la marginalización.

Además, los agricultores pobres no encajan en el nicho de mercado de las empresas privadas, que se enfocan a las innovaciones tecnológicas para los sectores agrícolas y comerciales de las naciones industriales y en desarrollo, donde estas corporaciones esperan un enorme rendimiento de su inversión en investigación. El sector privado a menudo ignora importantes cultivos tales como la yuca, que es un producto de primera importancia para 500 millones de personas en todo



los agricultores de menores recursos solían ganar muy poco.

La "Revolución del gen" terminará repitiendo las mismas equivocaciones que su predecesora. Las semillas genéticamente modificadas están controladas por las corporaciones y protegidas por patentes; en consecuencia, son sumamente caras. Dado que muchos países en desarrollo todavía carecen de una estructura institucional y de crédito blando necesario para proporcionar estas nuevas semillas a los agricultores

el mundo. Los pocos campesinos que tengan acceso a la biotecnología se volverán peligrosamente dependientes de la compra anual de semillas genéticamente modificadas. Estos agricultores tendrán que aceptar, por los onerosos acuerdos de propiedad intelectual, no plantar semillas producidas a partir de una cosecha de plantas biogenéticamente manipuladas. Estas estipulaciones son una afrenta a los agricultores tradicionales, quienes durante siglos han obtenido y distri-

buido semillas como parte de su legado cultural.

Algunos científicos y ciertas autoridades competentes sugieren que las grandes inversiones por medio de socios públicos y privados podrían ayudar a los países en desarrollo a adquirir la capacidad local científica e institucional para transformar la biotecnología, a fin de que llene las necesidades y las circunstancias de los pequeños agricultores. Pero una vez más, los derechos intelectuales de las corporaciones sobre los genes y la tecnología de su clonación pueden complicar más aún las cosas. Por ejemplo, en Brasil, el instituto nacional de investigación

ñas que ahora dirigen la biorrevolución. Los cultivos transgénicos desarrollados para controlar las plagas siguen muy de cerca el paradigma de usar un único mecanismo de control (un plaguicida), lo cual, como se ha demostrado, ha fallado una y otra vez con los insectos, los patógenos y las hierbas malas. El tan discutido planteamiento de “un gen-una plaga” también se verá fácilmente superado por plagas que continuamente se adaptan a las nuevas situaciones y hacen evolucionar los mecanismos de detoxificación.

Los sistemas agrícolas desarrollados con cultivos transgénicos favore-

deterioro genético se acelerará en el Tercer Mundo. La tendencia hacia la uniformidad no sólo destruirá la diversidad de los recursos genéticos, sino que también afectará la complejidad biológica que va implícita en la sustentabilidad de los sistemas agrícolas locales.

Existen muchas preguntas ecológicas sin respuesta respecto del impacto que produciría liberar en el medio plantas transgénicas y microorganismos, pero las pruebas disponibles sugieren que estos impactos pueden ser muy graves. Entre los riesgos más importantes asociados con las plantas genéticamente modificadas está la transferencia no controlada a especies emparentadas con las plantas de los “transgenes”, así como los efectos ecológicos impredecibles que esto traería consigo.

Resistencia a los herbicidas

Queda claro que al crear cultivos resistentes a los herbicidas, una compañía puede expandir mercados para sus productos químicos patentados (en 1997, 50 000 agricultores sembraron 3.6 millones de hectáreas de soya HT, lo que es equivalente a 13% de las casi 70 millones de hectáreas sembradas con soya en Estados Unidos). Los observadores calcularon un valor de 75 millones de dólares estadounidenses para cultivos HT en 1995, que fue el primer año que salieron al mercado, e indicaron que para el año 2000 el mercado será aproximadamente de 805 millones de dólares, lo cual representa 61% de aumento.

El continuo uso de herbicidas, tales como bromoxinilo y glifosato (también conocido como *Roundup*) que toleran los cultivos resistentes a los herbicidas, pueden desencadenar pro-



(EMBRAPA) debe negociar acuerdos de licitación con nueve diferentes compañías antes de que una papaya resistente a los virus, desarrollada por investigadores de la Universidad de Cornell, se pueda otorgar a los campesinos.

Biotecnología, agricultura y ambiente

La biotecnología intenta paliar los problemas (como resistencia a plaguicidas, contaminación, degradación de los suelos, etcétera) ocasionados por anteriores tecnologías agroquímicas promovidas por las mismas compa-

cerán los monocultivos caracterizados por presentar peligrosos niveles de homogeneidad genética, que llevan a una mayor vulnerabilidad de los sistemas agrícolas, a tensiones bióticas y abióticas. Promover monocultivos también deteriorará los métodos ecológicos en agricultura, tales como la rotación y los policultivos, lo cual agudizará los problemas de la agricultura convencional.

Dado que las nuevas semillas genéticamente modificadas reemplazan a las antiguas y tradicionales variedades y a sus parientes silvestres, el

blemas. Es bien sabido, y se tienen documentos de ello, que cuando un único herbicida se usa repetidamente en un cultivo, las probabilidades de que se desarrolle resistencia al herbicida en poblaciones de malezas aumenta mucho. Se han reportado alrededor de 216 casos de resistencia a plaguicidas en una o más familias de herbicidas químicos. Los herbicidas a base de triacina son los que causan más resistencia en cerca de sesenta especies de malezas.

El problema reside en que, dadas las presiones de la industria para aumentar las ventas de herbicidas, se incrementará el número de hectáreas tratadas con herbicidas de amplio espectro, profundizando así el problema de la resistencia. Por ejemplo, se planea que el número de hectáreas tratadas con glifosato aumente a casi 60 millones de hectáreas. Aun cuando se considera que el glifosato causa menos resistencia a los herbicidas en las malezas, con el tiempo el uso continuo del herbicida seguramente dará como resultado una mayor resistencia, aun cuando ésta sea más lenta, como ya se ha comprobado en las poblaciones australianas de ballico, grama y trébol, *Cirsium arvense* y *Eleusine indica*.

Los herbicidas no sólo matan malezas

Las compañías afirman que si el bromoxinil y el glifosato se aplican bien, se degradan rápidamente en el suelo, no se acumulan en las aguas del subsuelo, no tiene efectos sobre los organismos a los cuales no están dirigidos y no dejan residuos en los alimentos. Sin embargo, existen evidencias de que el bromoxinil causa malformaciones de nacimiento en los animales de laboratorio, es tóxico para los peces



y puede causar cáncer en los humanos. Dado que el bromoxinil causa malformaciones de nacimiento en los roedores y es absorbido a través de la piel, es probable que los agricultores y los trabajadores de granjas también corran riesgos. Asimismo, se ha reportado que el glifosato es tóxico para algunas especies a las cuales no está dirigido, que viven en el suelo; tanto para los predadores benéficos, como las arañas, los aradores, los coleópteros y los escarabajos coccinélidos, los detritívoros, como son las lombrices de tierra, y los organismos acuáticos, incluyendo los peces.

También surgen preguntas en cuanto a la salvaguarda de los alimentos, pues este herbicida sufre una pequeña degradación metabólica en las plantas y se sabe que se acumula en frutos y tubérculos, y que hoy día más de 17 millones de kilos de este herbicida se usan anualmente tan sólo en Estados Unidos. Además, las investigaciones documentan que el glifosato parece actuar del mismo modo que los antibióticos, alterando la biología del suelo de una manera que aún se desconoce y, por tanto, causando efectos tales

como la reducción de la facultad de fijar el nitrógeno de la soya y del trébol, hacer más vulnerables a las enfermedades a las plantas de frijol, y reducir el crecimiento de hongos micorrízicos benéficos que viven en la tierra, los cuales son la clave para ayudar a las plantas a extraer el fósforo del suelo.

La creación de supermalezas

Aun cuando existe alguna preocupación de que los cultivos transgénicos puedan convertirse en malezas, hay un riesgo ecológico mayor, y es que la liberación a gran escala de cultivos transgénicos puede propiciar una transferencia de transgenes de los cultivos hacia otras plantas que también podrían convertirse en malezas. Los transgenes que representan un adelanto biológico importante pueden transformar las plantas de hierbas silvestres en nuevas o peores malezas. El proceso biológico preocupante aquí es la introgresión, es decir, la hibridación entre diferentes especies de plantas. Los hechos nos indican que ya están ocurriendo estos intercambios genéticos

entre las plantas silvestres, las malezas y las cultivadas. La incidencia en la especie de sorgo *Sorghum bicolor*, un pariente silvestre del sorgo, y el flujo de genes entre el maíz y el teocintle, demuestran el potencial que existe de que las plantas emparentadas con ciertos cultivo los conviertan en malezas peligrosas.

Esto es preocupante dado que en Estados Unidos un número de cultivos se siembra a una distancia muy corta de los parientes silvestres compatibles. Es preciso tener cuidados extremos en los sistemas de plantas que se prestan a una polinización cruzada fácil, tales como la avena, la cebada, el girasol y sus parientes silvestres, y en-

tre la semilla de colza y sus parientes crucíferos. En Europa existe una gran preocupación respecto de la posibilidad de transferencia de polen de genes HT de las semillas oleaginosas de *Brassica* a *Brassica nigra* y *Sinapsis arvensis*. También existen cultivos que se siembran cerca de plantas silvestres que no son parientes cercanos pero que pueden tener cierto grado de compatibilidad cruzada, tales como las cruces de *Raphanus raphanistrum* x *R. Sativus* (rábano) y la Grass x Johnson de sorgo maíz. Los efectos en cascada que producen estas transferencias pueden, en última instancia, significar cambios en la estructura de las comunidades de plantas. Los intercambios de genes causan gran temor en los centros de diversidad, donde se ha visto que en los sistemas de cultivo con biodiversidad es muy alta la probabilidad de que ciertos cultivos transgénicos sean sexualmente compatibles con parientes silvestres.

La transferencia de genes de cultivos transgénicos a cultivos orgánicos plantea un problema específico a los agricultores orgánicos, dado que la certificación de orgánico depende de que

los cultivadores puedan garantizar que sus cultivos no tienen genes insertados. Los cultivos capaces de multiplicarse, tales como el maíz o la semilla oleaginosa de nabo, se verán afectados en mayor medida, pero en realidad todos los agricultores orgánicos corren el riesgo de contaminación genética, puesto que no existen normas que obliguen a guardar un mínimo de distancia que aisle los campos transgénicos de los orgánicos.

En conclusión, el hecho de que la hibridación y la introgresión específicas sean comunes a especies tales como el girasol, el maíz, el sorgo o la semilla oleaginosa de nabo, el arroz, el trigo y las papas, sienta las bases para que ocurra el flujo esperado de genes entre los cultivos transgénicos y sus parientes silvestres y se creen nuevas malezas resistentes a los herbicidas. Los científicos están de acuerdo en que los cultivos transgénicos pueden, eventualmente, hacer silvestres los transgenes cuando se introducen en las poblaciones de los parientes silvestres que viven en libertad. Los desacuerdos radican en qué tan serios son los impactos de dicha transferencia.

Los cultivos resistentes a insectos

De acuerdo con la industria de la biotecnología, la promesa es que los cultivos transgénicos con genes Bt injertados reemplazarán a los insecticidas sintéticos utilizados actualmente para controlar las plagas de insectos. Pero esto no queda claro porque la mayoría de los cultivos padecen una diversidad de plagas por insectos y, por tanto, los insecticidas tendrán que seguir aplicándose para controlar las plagas de insectos no lepidópteros, los cuales no son susceptibles a la toxina Bt





específica del cultivo. De hecho, en un informe reciente se menciona un análisis del uso de plaguicidas en una estación de siembra de Estados Unidos practicado en 1997, con 12 combinaciones region/cultivo, el cual demuestra que en siete lugares no se observó una diferencia estadísticamente significativa en el uso de plaguicida en los cultivos Bt *versus* los cultivos no Bt. En el delta del Mississippi se usaron de manera importante más plaguicidas en los cultivos de algodón Bt que en los cultivos de algodón no Bt.

Por otra parte, se ha reportado que muchas especies de lepidópteros han desarrollado resistencia a la toxina Bt, tanto en el campo como en pruebas de laboratorio, lo que sugiere que los problemas más importantes en cuanto a resistencia se desarrollan probablemente en los cultivos Bt, debido a que la continua especificidad de la toxina crea una fuerte presión selectiva. Ningún entomólogo serio se cuestiona si la resistencia se desarrolla o no, el problema es qué tan rápido ocurre. De hecho, los científicos ya han detectado en algunos insectos un de-

sarrollo de “resistencia conductual”, ya que debido a la desigual distribución de la toxina en la hoja del cultivo, éstos atacan partes de los tejidos (o parches) con concentraciones bajas de toxina.

Con el fin de retrasar el inevitable desarrollo de insectos resistentes a los cultivos Bt, los ingenieros biogenéticos están creando una combinación de plantas de transgénicos y no transgénicos (llamados refugios) para retrasar la evolución de la resistencia entre los insectos. Aun cuando los refugios deben cubrir por lo menos 30% del área de cultivo, de acuerdo con los miembros de la Campaña para Salvar los Alimentos, el nuevo plan de Monsanto sólo contempla un 20%, incluso cuando se tenga que usar insecticidas. Es más, el plan no proporciona detalles para saber si los refugios se deben plantar a un lado del cultivo transgénico o a una distancia que los estudios sugieren podría ser menos efectivo. Además de los refugios que requieren una coordinación regional entre los agricultores —algo difícil de lograr—, la mayoría de los

agricultores pequeños o medianos tendrían que dedicar más de 30 o 40% de su área de cultivo a los refugios —lo cual no parece viable, especialmente si los cultivos en dichas áreas tienen que soportar grandes daños por plagas.

Los agricultores que enfrentan el mayor riesgo por el desarrollo de la resistencia de los insectos al Bt se están acercando a los agricultores orgánicos que cultivan maíz y soya sin productos agroquímicos. Una vez que aparezca la resistencia en las poblaciones de insectos, los agricultores orgánicos ya no podrán usar Bt como insecticida microbiano para controlar las plagas de lepidópteros que se desplazan desde los campos transgénicos que los rodean. Además, la contaminación genética de los cultivos orgánicos que ocurre por el flujo de genes, por polen, de los campos transgénicos puede poner en peligro la certificación de los cultivos orgánicos, y por tanto los agricultores pueden perder mercados importantes. ¿Quién va a compensar a los agricultores orgánicos por estas pérdidas?

La historia de la agricultura nos dice que las enfermedades de las plantas, las plagas de insectos y las malezas se hacen más severas con el desarrollo de monocultivos, y que los cultivos manejados y manipulados genéticamente pronto pierden su diversidad genética. Sin embargo, no hay razón para creer que la resistencia a los cultivos transgénicos no va a evolucionar en los insectos, las malezas y los patógenos, tal como ya sucedió con los plaguicidas. Cualesquiera que sean las estrategias que se empleen para manejar la resistencia, las plagas se van a adaptar y a sobreponer a los apremios agrícolas. Los estudios realizados acerca de la resistencia a los plaguicidas demuestran que puede ocurrir una se-

lección inesperada que dé como resultado problemas de plagas mayores a los que existían antes del desarrollo de nuevos insecticidas. Las enfermedades y las plagas siempre han crecido por cambios dirigidos hacia una agricultura genéticamente homogénea, precisamente el tipo de agricultura que promueve la biotecnología.

Las especies no controladas

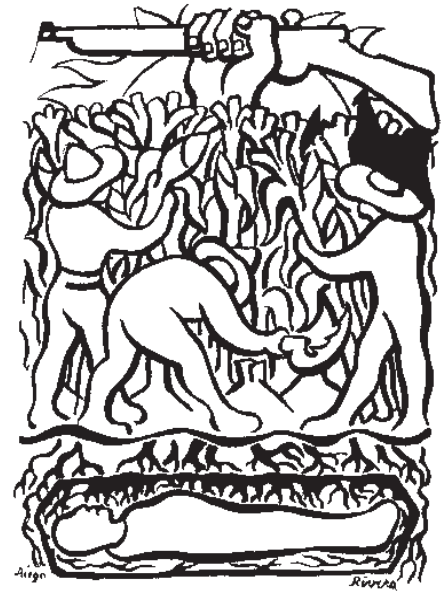
Los cultivos Bt pueden acabar con los enemigos naturales de las poblaciones que constituyen plagas, como predadores y avispas parásitas que se alimentan de ellas, disminuyendo su efecto sobre éstas. Entre los enemigos naturales que viven exclusivamente de insectos que los cultivos transgénicos matan por estar así diseñados, como los lepidópteros, los más afectados serán los huevos y las larvas parasitoides porque son totalmente dependientes de huéspedes vivos para su desarrollo y supervivencia, mientras que algunos predadores podrían teóricamente medrar sobre la muerte o la presa moribunda.

Algunos de ellos también podrían verse afectados directamente a causa de los efectos producidos por los niveles intertróficos de la toxina. Dado que el potencial de las toxinas Bt pasan por las cadenas alimentarias de los artrópodos, las implicaciones para el biocontrol natural en los campos de cultivo son serias. Una evidencia reciente nos muestra que la toxina Bt puede afectar insectos benéficos, predadores que se alimentan de otros insectos que son plaga. Algunos estudios realizados en Suiza muestran que la mortalidad total promedio de las larvas predadoras de crisopa (*Chrysopidae*), que crecieron a base de presas alimentadas con Bt, es de 62% en comparación

con 37% cuando se alimentan de presas que no tienen Bt, además de que presentan también un prolongado tiempo de desarrollo durante su estado juvenil.

Estos descubrimientos preocupan a los pequeños agricultores, quienes para controlar las plagas confían en el rico complejo de predadores y parásitos asociados a sus sistemas de cultivo mixtos. Los efectos de los niveles intertróficos de la toxina Bt son fuente de grandes preocupaciones a causa de la posible alteración del control natural de plagas. Los polívoros predadores, que se mueven en y entre los cultivos asociados, encontrarán presas no controladas con contenido de Bt durante toda la temporada de siembra. La alteración de los mecanismos de biocontrol puede dar como resultado un aumento en las pérdidas producidas por las plagas y por el mayor uso de plaguicidas, con los consiguientes riesgos para la salud y el ambiente.

También se sabe que el polen transportado por el aire procedente de los cultivos Bt hacia la vegetación natural circundante a los campos transgénicos puede matar a los insectos no controlados. Un estudio de la Universidad de Cornell demostró que el polen del maíz con toxina Bt puede ser arrastrado varios metros por un viento propicio y depositarse en el follaje del algodóncillo, con efectos potenciales de destrucción de las poblaciones de mariposas monarca. Estos descubrimientos han abierto una nueva dimensión a los impactos inesperados que pueden tener los cultivos transgénicos en los organismos no contemplados que desempeñan funciones clave en el ecosistema, muchas veces desconocidas. Pero los efectos ambientales no se limitan a la interacción de cultivos con insectos. Las toxinas Bt



pueden ser incorporadas al suelo por medio del follaje cuando los agricultores abandonan los residuos de cultivos transgénicos después de la cosecha. Las toxinas pueden perdurar durante dos o tres meses, resistiendo la degradación al unirse a las partículas de arcilla y de suelos húmicos ácidos que mantienen su actividad tóxica. Estas toxinas activas Bt que se acumulan en el suelo y el agua a partir de la capa de residuos transgénicos pueden producir efectos negativos en el suelo y en los invertebrados acuáticos, así como en los procesos cíclicos de los nutrientes.

El hecho de que estas toxinas conserven sus propiedades insecticidas y estén protegidas contra la degradación microbiana al unirse a las partículas del suelo, permaneciendo en diversos tipos de éste durante por lo menos 234 días, es una seria preocupación para los campesinos que no pueden afrontar los gastos que representa la compra de fertilizantes. Estos agricultores pobres confían, en cambio, en los residuos locales, en la materia orgánica y en los microorganismos del suelo

para la fertilidad de sus tierras (en ciertos invertebrados, hongos o especies bacterianas) los cuales pueden ser afectados negativamente por la presencia de la toxina en el suelo.

Alternativas sustentables

Los que proponen una segunda Revolución verde argumentan que los países en desarrollo deben optar por un modelo agroindustrial que se base en tecnologías estandarizadas y en el uso



creciente de fertilizantes y de plaguicidas para proporcionar suministros adicionales de alimento como consecuencia del aumento en la población y las economías. Por lo contrario, un número creciente de agricultores, las ONG y los que abogan por la agricultura sustentable proponen que, en lugar de este enfoque basado en el capital e insumos intensivos, los países en desarrollo deberían favorecer un modelo agroecológico que pusiera el énfasis en la biodiversidad, el reciclaje de los nutrimentos y la sinergia entre culti-

vos, animales, suelos y otros componentes biológicos, así como en la regeneración y la conservación de los recursos.

Cualquier estrategia tendiente a aumentar el desarrollo agrícola sustentable deberá basarse en principios agroecológicos y en un acercamiento más participativo en el desarrollo de tecnologías y en su difusión. La agroecología es la ciencia que proporciona los principios ecológicos para proyectar y gestionar sistemas agrícolas sustentables y la conservación de los recursos, ofreciendo diversas ventajas para el desarrollo de tecnologías no agresivas para los agricultores; se basa en el conocimiento local de la agricultura y en la selección de tecnologías modernas de bajo insumo con miras a diversificar la producción. Esta propuesta incorpora los principios biológicos y los recursos locales en la gestión de los sistemas agrícolas con el fin de lograr un ambiente saludable y una manera que permita a los pequeños propietarios intensificar la producción en zonas marginales.

Se calcula que entre 1 900 y 2 200 millones de personas todavía carecen directa o indirectamente de acceso a la tecnología agrícola moderna. Se proyectaba que en América Latina la población rural permanecerá estable en 125 millones hasta el año 2000, pero más de 61% de esta población es pobre y se espera que crezca. La prospectiva para África es todavía más dramática; la mayoría de la población rural pobre (alrededor de 370 millones entre los más pobres) vive en zonas de escasos recursos, que son muy heterogéneas y de alto riesgo. Sus sistemas agrícolas son de pequeña escala, complejos y diversos. La peor pobreza a menudo está localizada en zonas áridas o semiáridas, y en montañas y cerros ecológi-

camente vulnerables. Estos campos y sus complejos sistemas de cultivo son, pues, un reto para los investigadores.

Para que sean benéficos a los campesinos pobres, el desarrollo y la investigación agrícolas deben operar con base en un planteamiento que parta de lo mínimo, o usando los recursos ya disponibles, esto es, la gente del lugar, su conocimiento y sus recursos naturales autóctonos. Se debe tomar seriamente en consideración, mediante acercamientos participativos, las necesidades, aspiraciones y circunstancias de los pequeños propietarios. Esto significa que, desde la perspectiva de los campesinos, dichas innovaciones deben ser el ahorro de insumos y la reducción de costos y riesgos; la expansión hacia tierras marginales infértiles; la congruencia con los sistemas agrícolas de los campesinos; la nutrición, salud y mejoramiento del entorno.

Es precisamente por lo que acabamos de mencionar que la agroecología ofrece varias ventajas sobre la Revolución Verde y los planteamientos biotecnológicos, pues sus tecnologías tienden a basarse en el conocimiento local y en su razón de ser, son económicamente viables, accesibles y están basadas en los recursos locales; son ambiental, social y culturalmente sensibles, evitan los riesgos de acuerdo con las circunstancias de los campesinos, y propician una total estabilidad y productividad agrícolas.

Mientras se logran tales criterios, existen miles de ejemplos de productores rurales que, en asociación con las ONG y otras instituciones, promueven la conservación de los recursos aun cuando los sistemas agrícolas sean altamente productivos. Los incrementos en la producción de 50 a 100% son bastante comunes y tienen más mé-

todos alternativos de producción. En algunos de estos sistemas, el rendimiento de las cosechas en que el campesino pobre confía más —arroz, frijol, maíz, yuca, papas y cebada— se ha multiplicado cuando se ha confiado más en el conocimiento local que en la compra de insumos muy caros, y al aprovechar los procesos de intensificación y sinergia. Hay algo más importante que la mera productividad, es la posibilidad de lograr una producción total principalmente mediante la di-

Honduras, 45 000 campesinos incorporaron una capa de la leguminosa *Mucuna* como sistema para la conservación del suelo y triplicaron el rendimiento de maíz en las laderas; en México, 100 000 pequeños productores de café orgánico incrementaron la producción en 50%; en el sureste de Asia, 100 000 pequeños productores de arroz, en colaboración con las escuelas IPM, aumentaron en forma considerable la producción eliminando los plaguicidas; en Kenia, 200 000 campe-

mentaria y que pueden pasar al suelo y las aguas, afectando a invertebrados y probablemente procesos ecológicos como el reciclado de los nutrientes. Es más, la homogeneización del paisaje en gran escala debido a los cultivos transgénicos agudizará la vulnerabilidad ecológica que hoy se asocia con la agricultura de monocultivo. La expansión indiscriminada de esta tecnología en los países en desarrollo no es deseable. Existe una fuerza en la diversidad agrícola de muchos de esos países que no debe reducirse ni inhibirse mediante el monocultivo extensivo, especialmente cuando las consecuencias de hacer esto son problemas sociales y ambientales muy serios.

A pesar de estas consideraciones, los cultivos transgénicos se han introducido en los mercados internacionales y han deteriorado los paisajes agrícolas de Estados Unidos, Canadá, Argentina, China y otros países. En el contexto de las negociaciones en torno a la Convención sobre Diversidad Biológica, 130 países firmaron un tratado global que regirá el mercado de los organismos genéticamente modificados, y tuvieron el buen juicio de adoptar el “principio precautorio”, el cual dice que cuando se sospecha que una nueva tecnología puede causar un posible daño, la incertidumbre científica sobre el alcance y la severidad del daño no debe obstaculizar una acción precautoria.

En lugar de lanzar críticas a sus detractores por probar que su tecnología pueda implicar un daño, los productores de biotecnología tienen la responsabilidad de presentar pruebas de que ésta es segura. Hoy día existe una evidente necesidad de realizar y controlar muestreos independientes para asegurarse de que los datos autogenerados presentados a las instituciones



versificación de los sistemas agrícolas, usando al máximo los recursos disponibles.

Conocemos muchos ejemplos de aplicación de la agroecología en el mundo en desarrollo. Se calcula que alrededor de 1.45 millones de propietarios rurales pobres, que abarcan 3.25 millones de hectáreas, han adoptado las tecnologías de conservación de los recursos. Por ejemplo, en Brasil, 200 000 agricultores cubren con abono verde los cultivos, duplicando el rendimiento de maíz y trigo; en Guatemala y

sinos duplicaron la producción de maíz mediante el uso de la agrosilvicultura basada en leguminosas e insumos orgánicos.

Conclusiones

Los efectos ecológicos de los cultivos modificados genéticamente no se limitan a ser resistentes a las plagas y a la creación de nuevas malezas o de cepas de virus. Los cultivos transgénicos producen también toxinas ambientales que se mueven en la cadena ali-



gubernamentales regulatorias no están desviados o distorsionados para acomodar los intereses de la industria. Es más, debería fortalecerse una moratoria mundial hasta que las cuestiones planteadas, tanto por los científicos dignos de credibilidad —que están investigando seriamente los impactos ecológicos de los cultivos transgénicos y en la salud—, como el público en general, puedan esclarecerse mediante cuerpos independientes de científicos.

Muchos grupos ambientalistas y consumidores abogan por una agricultura más sustentable y demandan continuamente asistencia para la investigación agrícola basada en la ecología, así como para todos los problemas biológicos que la tecnología pretende que se pueden resolver usando enfoques agroquímicos. El problema es que la investigación en las instituciones públicas refleja cada vez más los intereses de los inversionistas privados en detrimento de una buena investigación pública, tal como el control biológico, los sistemas de producción or-

gánica o las técnicas agroecológicas generales. La sociedad civil debe exigir más investigación acerca de las opciones que tiene la biotecnología, tanto a las universidades como a otras instituciones públicas. Existe también la imperiosa necesidad de enfrentarse al sistema de patentes y derechos de propiedad intelectual inherente a la Organización Mundial de Comercio (OMC), el cual no sólo beneficia a las corporaciones multinacionales con el derecho de incautarse los recursos genéticos y patentarlos, sino que también acentúa la tasa a la cual las fuerzas del mercado están fomentando los monocultivos con variedades transgénicas genéticamente uniformes.

No cabe duda de que los pequeños agricultores situados en ambientes marginales en el mundo en desarrollo pueden producir mucho más alimento del necesario. La evidencia es concluyente: nuevos planteamientos y tecnologías encabezados por agricultores, gobiernos locales y ONG, en todo el mundo, están aportando una gran

contribución a la seguridad alimentaria a niveles doméstico, nacional y regional. En muchos países existe una variedad de planteamientos agroecológicos y participativos que muestran logros positivos, incluso en condiciones adversas. Estos potenciales incluyen el aumento en la producción de cereal de 50 a 200%, y la estabilidad de la producción mediante la diversificación y la gestión del suelo y el agua, el mejoramiento de las dietas y el ingreso, con la ayuda y difusión apropiadas de estos planteamientos, y son una contribución a la seguridad nacional alimentaria y las exportaciones.

Que el potencial y la difusión de las miles de innovaciones agroecológicas locales se realice depende de las inversiones, las políticas que se lleven a cabo y la actitud ante los cambios por parte de los investigadores y las autoridades responsables. Los cambios verdaderamente importantes deben ocurrir en las políticas, las instituciones y la investigación y el desarrollo para asegurar que se adopten alternativas agroecológicas equitativas y am-



pliamente accesibles a que se multipliquen para que su pleno beneficio para una seguridad alimentaria sustentable pueda llegar a ser una realidad. Los subsidios existentes y la política de incentivos a las soluciones químicas deben desaparecer. El control de las corporaciones sobre el sistema alimentario debe también ser cuestionado; es urgente que los gobiernos y los organismos públicos internacionales fomenten, presten asistencia y fortalezcan a los campesinos para lograr

seguridad en su alimentación, la generación de ingresos y la conservación de los recursos naturales.

Es preciso que se desarrollen también oportunidades equitativas de mercado, poniendo en relieve un mercado justo y otros mecanismos que



vinculan al agricultor con los consumidores en forma más directa. El reto final es aumentar la inversión y la investigación en agroecología y realizar proyectos que ya han sido probados con éxito. Esto generará un importante impacto en el ingreso, la seguridad alimentaria y el bienestar ambiental de la población mundial, en especial la de millones de campesinos pobres a quienes todavía no llega la tecnología de la agricultura moderna. ☞

Miguel A. Altieri
Universidad de California, Berkeley.

TRADUCCIÓN
Elena Álvarez - Buylla Rocas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altieri, M. A. 2000. "The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health", en *Ecosystem Health*, núm. 6, pp. 13-23.

———, "Developing sustainable agricultural systems for small farmers", en *Latin America. Natural Resources Forum*, núm. 24, pp. 97-105.

Boucher, D. H. (ed.). 1999. *The Paradox of Plenty: Hunger in a Bountiful World*. Food First Books, Oakland.

Burks, A. W. y R. L. Fuchs. 1995. "Assessment of the endogenous allergens in glyphosate-tolerant and commercial soybean varieties", en *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, núm. 96, pp. 6-13.

Carpenter, J. E. y L. P. Gianessi. 1999. "Herbicide tolerant soybeans: why growers are adopting roundup ready varieties", en *Agbioforum*, núm. 2, pp. 2-9.

Conway, G. R. 1997. *The Double Green Revolution: Food for All in the 21st Century*. Penguin Books, Londres.

Darmency, H. 1994. "The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: introgression and weediness", en *Molecular Ecology*, núm. 3, pp. 37-40.

Donnegan, K. K. y R. Seidler. 1999. "Effects of transgenic plants on soil and plant microorganisms", en *Recent Research Developments in Microbiology*, núm. 3, pp. 415-424.

Losey, J. J. E., L. S. Rayor y M. E. Carter. 1999. "Transgenic pollen harms monarch larvae", en *Nature*, núm. 399, p. 214.

Lutman, P. J. W. (ed.). 1999. "Gene flow and agriculture: relevance for transgenic crops. British Crop Protection Council Symposium Proceedings", en *British Crop Protection Council*. Staffordshire, England. núm. 72, pp. 43-64.

Mallet, J. y P. Porter. 1992. "Preventing insect adaptations to insect resistant crops: are seed mixtures or refuge the best strategy?", en *Proceeding of the Royal Society of London Series B Biology Science*, núm. 250, pp. 165-169.

Palm, C. J., D. L. Schaller, K. K. Donegan y R. J. Seidler. 1996. "Persistence in soil of transgenic plant pro-

duced *Bacillus thuringiensis* var. *Kustaki* endotoxin", en *Canadian Journal of Microbiology*, núm. 42, pp. 1258-1262.

Saxena, D., S. Flores y G. Stotzky. 1999. "Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn.", en *Nature*, núm. 40, pp. 480.

Tabashnik, B. E. 1994. "Genetics of resistance to *Bacillus thuringiensis*", en *Annual Review of Entomology*, núm. 39, pp. 47-49.

Tabashnik, B. E. 1994. "Delaying insect adaptation to transgenic plants: seed mixtures and refugia reconsidered" en *Proceedings of the Royal Society*, Londres, núm. 255, pp. 7-12.

IMÁGENES

P. 100: Leopoldo Méndez, *Compro tu maíz*, 1948. P. 102: Diego Rivera, 1926-1928. P. 103: Leopoldo Méndez, *El dueño de todo*, 1948. P. 104: Arturo García Bustos, *El campesino y la riqueza del país*, 1952. Pp. 105-106: Diego Rivera, 1927-1930. Pp. 107-108: Francisco Moreno Capdevila, *La Hacienda*, 1955; *El coyote*, 1951. Pp. 109-110: Diego Rivera, 1927-1930. P. 111: Leopoldo Méndez, *La siembra*, 1948. P. 112: Arturo García Bustos, *Campesinos*, 1947; Diego Rivera, 1931-1937. P. 113: Florencio Galván, 1949.

Palabras clave: agroecología, biotecnología cultivos transgénicos.

Key words: Agroecology, biotechnology, transgenic crops.

Resumen: Comparando mito y realidad, el objetivo de este artículo es cuestionar las falsas promesas hechas por la industria de la ingeniería genética. Aquí se muestra que la ingeniería genética hace a los agricultores más dependientes de un sector de agronegocios que concentra cada vez más su poder sobre el sistema alimentario.

Abstract: Comparing myth and reality, the purpose of this article is to question the false promises made by the genetic engineering industry. We discuss how genetic engineering makes farmers increasingly dependent on an agrobusiness sector that is gradually concentrating its power over food producing systems.

Miguel Altieri es doctor, ingeniero agrónomo y es profesor de agroecología en la Universidad de California, Berkeley desde 1981. Preside la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) y ha creado proyectos de enseñanza e investigación en agroecología en América latina, California, España e Italia. Es autor de más de 10 libros y 250 publicaciones científicas.

Recibido el 13 de junio de 2008, aceptado el 4 de septiembre de 2008.