

## RIESGOS AMBIENTALES DE LOS CULTIVOS TRANSGENICOS: UNA EVALUACION AGROECOLOGICA\*

### ENVIRONMENTAL RISKS OF TRANSGENIC CULTIVARS: AN AGROECOLOGICAL EVALUATION

Miguel A. Altieri<sup>1</sup>

#### RESUMEN

Agroecológicamente se evalúan los riesgos teóricos de la liberación de cultivos transgénicos que actualmente se han producido por parte de las corporaciones transnacionales, cuyo enfoque actual es el desarrollo de cultivos tolerantes a herbicidas, así como en cultivos resistentes a plagas y enfermedades. Según la industria los cultivos transgénicos insertados con genes de *Bacillus turingiensis* prometen reemplazar el uso de insecticidas sintéticos y el control de plagas de insectos. Así como los insertados en el gene que confiere resistencia a herbicidas permitirá el uso de un solo tipo de principio activo que controla maleza.

Sin embargo, basándose en experiencias con pesticidas se considera que el control de plagas por medio de cultivos transgénicos permitiría el desarrollo de resistencia múltiple o cruzada en insectos, así mismo se sabe de cultivos que se convierten en maleza cuando no se controlan. Para evitar desequilibrios agroecológicos del uso de plantas transgénicas, se analiza y recomienda la realización de estudios sobre los impactos en otros organismos, en los cultivos resistentes a enfermedades, así como del comportamiento de los cultivos transgénicos liberados.

Las recomendaciones sugeridas para la liberación de plantas transgénicas se refieren a la regulación de las mismas como si fueran pesticidas, el uso de etiquetado de productos alimenticios, aumentan el financiamiento para tecnologías alternativas, la Biotecnología debe proporcionar opciones a las necesidades de los pequeños agricultores y finalmente se recomienda incrementar las medidas en la agricultura que promuevan la sostenibilidad.

**Palabras clave:** Cultivos transgénicos, control de plagas, resistencia a herbicidas, agroecología.

---

\* Artículo enviado al Comité Editorial del INIFAP, Área Agrícola, el 20 de abril de 1998.

<sup>1</sup> Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley, <agroeco3@nature.berkeley.edu>

## SUMMARY

Agroecologically are evaluated theoretical risks in the release of transgenic crops nowadays produced by transnational corporations whom at the present time are focusing in the development of tolerant crops to herbicides, as well resistant crops to pests and diseases.

According to industry, transformed crops with genes derived from *Bacillus thuringiensis*, may be a promising tool to replace the use of synthetic insecticides and the control of insects. Nevertheless, according to experiences with pesticides it is considered that the control of pests through transgenic crops would permit the development of multiple or cross resistance to insects.

In order to avoid these agroecological lack of balance through use of transgenic crops, it has been analyzed and recommended to perform studies on the impact of these transgenic crops in other organism, on the diseased resistant crops, as well as, on the behaviour of the released transgenic crops. Suggestions for the released plants are on the regulation of them as if they were pesticides, the labeling of feeding products increases the financial support for other alternative technologies. Biotechnology should provide alternatives for the needs of "small scale" growers and finally it is recommended to increase measures in agriculture in order to promote sustainability.

**Key words:** Transgenic cultivars, insect, pests control, herbicide resistance, agroecology

## INTRODUCCION

La ingeniería genética es una aplicación de la biotecnología que involucra la manipulación de Acido Desoxirribonucleico (ADN) y el traslado de genes entre especies para incentivar la manifestación de rasgos genéticos deseados (OTA, 1992). Aunque existen diversas aplicaciones de la ingeniería genética en la agricultura, el enfoque actual de la biotecnología está en el desarrollo de cultivos tolerantes a herbicidas, así como en cultivos resistentes a plagas y enfermedades. Corporaciones Transnacionales (CTNs) como Monsanto, DuPont, Norvartis, etc., quienes son los principales proponentes de la biotecnología, ven los cultivos transgénicos como una manera de reducir la dependencia de insumos, tales como pesticidas y fertilizantes. Actualmente la agricultura basada en agroquímicos, promueve la

biorevolución al equipar a cada cultivo con nuevos "genes insecticidas," que prometen al mundo pesticidas más seguros, reduciendo la agricultura químicamente intensiva y a la vez haciéndola más sustentable.

Siempre que los cultivos transgénicos sigan estrechamente el paradigma de los pesticidas, los productos biotecnológicos reforzarán el espiral de éstos en los agroecosistemas, para evitar los posibles riesgos medioambientales de organismos genéticamente modificados. De acuerdo con autores, como Rissler y Mellon (1996); Krimsky y Wrubel (1996) los riesgos ecológicos más serios que presenta el uso comercial de cultivos transgénicos son:

- La expansión de los cultivos transgénicos amenaza la diversidad genética por la simplificación de los

sistemas de cultivos y la promoción de la erosión genética;

- La transferencia potencial de genes de Cultivos Resistentes a Herbicidas (CRHs) a variedades silvestres o parientes semidomesticados puede crear supermaleza; CRHs voluntarios se transformarían subsecuentemente en maleza;
- Propicia el traslado horizontal vector-mediado de genes y la recombinación para crear nuevas razas patogénicas de bacteria;
- Recombinación de vectores que generan variedades del virus más nocivas, sobre todo en plantas transgénicas diseñadas para resistencia viral con base en genes virales;
- Las plagas de insectos desarrollarán rápidamente resistencia a los cultivos que contienen la toxina de Bt;
- El uso masivo de la toxina de Bt en cultivos puede desencadenar interacciones potencialmente negativas que afecten procesos ecológicos y a organismos benéficos.

Los impactos potenciales de la biotecnología agrícola se evalúan aquí dentro del contexto de metas agroecológicas que apuntan hacia una agricultura socialmente más justa, económicamente viable y ecológicamente apropiada (Altieri, 1996). Tal evaluación es oportuna en virtud que a nivel mundial se han dado más de 1,500 aprobaciones para pruebas de campo de cultivos transgénicos (el sector privado ha solicitado el 87% de éstas desde 1987), a pesar del hecho que en la mayoría de los países no existen regulaciones estrictas de bioseguridad para tratar los problemas medioambientales, que pueden desarrollarse cuando plantas diseñadas por ingeniería genética son liberadas en el ambiente (Hruska y Lara Pavón, 1997). La preocupación principal es que las presiones internacionales para ganar mercados y aumentar las ganancias están empujando a las compañías a que liberen cultivos transgénicos demasiado rápido, sin consideración apropiada de

los impactos a largo plazo en las personas o el ecosistema (Mander y Orfebre, 1996).

### **Actores y direcciones de la investigación**

La mayoría de las innovaciones en biotecnología agrícola están orientadas a la búsqueda de ganancias, en lugar de la búsqueda de una respuesta a las necesidades humanas, por consiguiente el énfasis de la industria de la ingeniería genética realmente no es resolver los problemas agrícolas, sino el incremento de la rentabilidad. Esta aseveración se apoya en el hecho que por lo menos 27 corporaciones han comenzado investigaciones sobre plantas tolerantes a los herbicidas, incluyendo a las ocho compañías de pesticidas más grandes del mundo: Bayer, Ciba-Geigy, ICI, Rhone-Poulenc, Dow/Elanco, Monsanto, Hoescht y DuPont, y virtualmente todas las empresas de semillas, la mayoría de las cuales han sido adquiridas por compañías químicas (Gresshoft, 1996).

En los países industrializados, de 1986-1992 el 57% de los ensayos de campo para probar cultivos transgénicos involucraron tolerancia a los herbicidas, y el 46 % de solicitantes al USDA para pruebas de campo fueron compañías químicas. Actualmente cultivos diseñados para la tolerancia genética a uno o más herbicidas incluyen: alfalfa, canola, algodón, maíz, avena, petunia, papa, arroz, sorgo, soya, remolacha, caña de azúcar, girasol, tabaco, tomate, trigo y otros. Una compañía puede extender los mercados de sus productos químicos patentados al crear cosechas resistentes a sus herbicidas. El mercado para CRHs se ha estimado en más de \$500 millones para el año 2000 (Gresshoft, 1996).

Aunque algunas pruebas las conducen universidades y organizaciones de investigación avanzadas, la agenda de investigación de tales instituciones es cada vez más influenciada por el sector privado. El 46% de empresas de biotecnología apoyan la investigación biotecnológica en las universidades. En 33 de los 50 estados en USA tienen centros universidad-industria para la transferencia de biotecnología.

El desafío para tales organizaciones públicas no sólo será asegurar que los aspectos ecológicamente apropiados de la biotecnología se investiguen (tales como fijación de N, tolerancia a la sequía, etc.), sino también supervisar y controlar cuidadosamente la provisión de conocimiento aplicado de libre propiedad al sector privado, para garantizar que dicho conocimiento continúe en el dominio público para el beneficio de la sociedad.

### **Biología y agrobiodiversidad**

Aunque la biotecnología tiene la capacidad de crear una variedad mayor de plantas comerciales, la tendencia actual de las CTNs es abrir mercados internacionales amplios para un solo producto, creando así las condiciones para la uniformidad genética en el paisaje rural. Además, la protección de patentes y los derechos de propiedad intelectual apoyados por el GATT, inhiben a los agricultores a re-usar, compartir y almacenar sus semillas, aumentando así la posibilidad de que pocas variedades lleguen a dominar el mercado. Aunque un cierto grado de uniformidad de los cultivos presente algunas ventajas económicas, tiene dos inconvenientes ecológicos. Primero, la historia ha mostrado que una gran área cultivada con un solo cultivo es vulnerable a un nuevo patógeno o plaga. Y, segundo, el uso extendido de un solo cultivo lleva a la pérdida de la diversidad genética (Robinson, 1996).

Evidencias de la Revolución Verde no dejan duda que la difusión de variedades modernas ha sido una importante causa de la erosión genética, cuando las campañas gubernamentales masivas animaron a los agricultores a adoptar variedades modernas empujándoles a abandonar diversas variedades locales (Tripp, 1996). La uniformidad causada por el aumento del área de cultivo de un número más pequeño de variedades es una fuente de riesgo para los agricultores, cuando las variedades modernas son más vulnerables a enfermedades y al ataque de plagas y cuando éstas se desarrollan pobremente en ambientes marginales (Robinson, 1996).

Los efectos anteriores no son únicos a las variedades modernas y se espera que, dada su naturaleza monogénica y la rápida expansión del área bajo su explotación, los cultivos transgénicos sólo exacerbarán estos efectos.

### **Problemas ambientales de los cultivos resistentes a los herbicidas**

Según los defensores de CRHs, esta tecnología representa una innovación que permite a los agricultores simplificar sus requisitos de manejo de maleza, reduciendo el uso de herbicidas a situaciones de postemergencia usando un solo herbicida de amplio-espectro que se descomponga relativamente rápido en el suelo. Herbicidas candidatos con tales características incluyen Glifosato, Bromoxynil, Sulfonylurea, Imidazolinones, entre otros.

Sin embargo, en realidad el uso de cultivos resistentes a los herbicidas probablemente aumentará el uso de éstos, así como los costos de producción. También es posible que cause serios problemas medioambientales.

### **Resistencia a herbicidas**

Está comprobado que cuando un solo herbicida se usa repetidamente sobre un cultivo, incrementan las oportunidades de que se desarrolle resistencia a éste, la población de maleza (Holt *et al.* 1993). Las sulfonilureas y los imidazolinones son particularmente propensos a la evolución rápida de maleza resistente y se conocen hasta 14 especies de éstas que presentan resistencia a los herbicidas del sulfonilurea. *Cassia obtusifolia* una maleza agresiva en la soya y el maíz en el sureste de los EE.UU. ha exhibido resistencia a los herbicidas del imidazolinone (Goldburg, 1992).

El inconveniente es que dada la presión de la industria para aumentar las ventas de herbicidas, la superficie tratada con herbicidas de amplio espectro se extenderá, exacerbando el problema

de resistencia. Por ejemplo, se ha proyectado que la superficie tratada con Glifosato aumentará a cerca de 150 millones de acres. Aunque es considerado menos propenso para desarrollar resistencia, el aumento en su uso producirá resistencia en maleza, aunque más lentamente, como se ha documentado en poblaciones de *Lolium temulentum*, *Agropyron repens*, *Lotus corniculatus* y especies de *Cirsium* (Agalla, 1995).

### Impactos ecológicos de los herbicidas

Las compañías afirman que el Bromoxynil y el Glifosate, cuando se aplican apropiadamente se degradan rápido en el suelo, no se acumulan en las aguas subterráneas, no tienen efectos en organismos y no dejan residuos en los alimentos. Sin embargo, hay evidencia de que el Bromoxynil causa defectos de nacimiento en animales de laboratorio, es tóxico a los peces y puede ocasionar cáncer en humanos. Debido a que se absorbe por vía dermatológica, y porque provoca defectos de nacimiento en roedores, es probable que presente riesgos a los agricultores y obreros del campo. Similarmente se ha reportado que el Glifosate puede ser tóxico para algunas especies invertebradas que habitan en el suelo, incluyendo a predadores benéficos como arañas y carábidos y especies detritívoras como lombrices de tierra, así como para los organismos acuáticos, incluso los peces (Pimentel *et al.*, 1989). En la medida que estudios verifican la acumulación de residuos de este herbicida en las frutas y tubérculos, al sufrir mínima degradación metabólica en las plantas, emergen también preguntas sobre la seguridad de los alimentos con trazas de estos herbicidas.

### Creación de "Super Maleza"

Aunque existe la preocupación que los cultivos transgénicos se convierten a su vez en maleza, el mayor riesgo ecológico es que liberaciones de ellos a gran escala, resulten en el flujo de transgenes de los cultivos a otras plantas silvestres que entonces se transformen en maleza (Darmency, 1994). El proceso biológico que preocupa aquí es la introgresión, es decir, la hibridación entre especies

de diferentes plantas. La evidencia indica que tales intercambios genéticos entre maleza silvestre y cultivos ocurren. La incidencia de *Sorghum bicolor*, maleza emparentada con el sorgo y el flujo genético entre el maíz y el teocintle, demuestra el potencial de los cultivos emparentados a volverse maleza. Esto es preocupante en virtud que varios cultivos en los Estados Unidos se establecen en proximidad con sus parientes sexualmente compatibles. Hay otros que crecen en las proximidades de maleza silvestre que no son parientes íntimos pero es posible que tengan algún grado de compatibilidad cruzada, tales como los cruces de *Raphanus raphanistrum* X *R. sativus* (rábano) y de *Sorghum halepense* X maíz sorgo (Radosevich *et al.*, 1996).

### Reducción de la complejidad del agroecosistema

La remoción total de maleza vía el uso de herbicidas de amplio-espectro es posible lleve a impactos ecológicos indeseables, dado que se ha documentado que un nivel aceptable de diversidad de maleza en los alrededores o dentro de los campos de cultivo puede jugar un papel ecológico importante, tal como la estimulación del control biológico de plagas, o la mejora de la cobertura protectora contra la erosión del suelo, etc. (Altieri, 1994).

Lo probable es que los CRHs refuercen el monocultivo al inhibir las rotaciones y los policultivos, ya que la diversificación es imposible si se usan cultivos susceptibles a los herbicidas combinados con los CRHs. Tales agroecosistemas empobrecidos en su diversidad vegetal proveen las condiciones óptimas para el crecimiento libre de maleza, insectos y enfermedades, pues varios nichos ecológicos no están ocupados por otros organismos. Los CRHs a través del incremento de la efectividad del herbicida, podrían reducir aún más la diversidad vegetal, favoreciendo cambios en la composición y abundancia de la comunidad de maleza, y la proliferación de especies competitivas que se adaptan a un amplio-espectro de tratamientos de postemergencia (Radosevich *et al.*, 1996).

## Riesgos ambientales de los cultivos resistentes a insectos

### Resistencia

Según la industria, los cultivos transgénicos insertados con genes de Bt prometen reemplazar el uso de insecticidas sintéticos en el control de plagas de insectos. Puesto que la mayoría de los cultivos tienen una diversidad de plagas de insectos, todavía tendrán que aplicarse insecticidas para controlar plagas diferentes a los Lepidoptera que son los susceptibles a la endotoxina expresada por el cultivo (Gould, 1994).

Por otro lado, se tiene conocimiento de que varias especies de Lepidoptera han desarrollado resistencia a la toxina de Bt en pruebas de campo y laboratorio, sugiriendo que los mayores problemas de resistencia se desarrollan en cultivos transgénicos donde la expresión continua de la toxina crea una fuerte presión de selección (Tabashnik, 1994). En virtud que se ha aislado una diversidad de genes de la toxina Bt, los biotecnólogos argumentan que si se desarrolla resistencia es posible usar formas alternativas de ésta (Kennedy y Whalon, 1995). Sin embargo, dado que es probable que los insectos desarrollen resistencia múltiple o cruzada, tal estrategia también está condenada al fracaso (Alstad y Andow, 1995).

Basándose en experiencias con pesticidas, otros han propuesto planes de manejo de la resistencia con cultivos transgénicos, tales como el uso de mezclas de semilla y refugios (Tabashnik, 1994). No obstante, estos últimos, además de requerir la difícil tarea de una coordinación regional entre agricultores, han presentado un éxito pobre con los pesticidas químicos, debido a que las poblaciones de insectos no están restringidas a un agroecosistema cerrado, y los insectos que entran están expuestos cada vez a dosis más bajas de la toxina, en la medida que el pesticida se degrada (Leibee y Capinera, 1995).

### Impacto sobre otros organismos

Conservando la población de plagas a niveles sumamente bajos, los cultivos de Bt pueden hambrear a los enemigos naturales en la medida que estos insectos benéficos necesitan una cantidad pequeña de presa para sobrevivir en el agroecosistema. Los insectos parásitos serían los mayormente afectados porque son más dependientes de hospederos vivos para su desarrollo y supervivencia, mientras que algunos predadores teóricamente se alimentarían de presas muertas o agonizantes.

Los enemigos naturales también se afectarían directamente a través de las interacciones a niveles intertróficos. Evidencias en estudios realizados en Escocia sugieren que los áfidos son capaces de secuestrar la toxina del cultivo Bt y transferirla a sus predadores (coccinélidos), a su vez afectando la reproducción y longevidad de los coccinélidos benéficos (Birch *et al.*, 1997). El secuestro de sustancias químicas secundarias de las plantas por herbívoros, los cuales luego afectan el comportamiento de parásitos no es rara (Campbell y Duffey, 1979). La posibilidad de que las toxinas de Bt se muevan a través de las cadenas alimenticias presenta serias implicaciones para el control biológico natural en agroecosistemas.

Las toxinas de Bt se incorporan al suelo a través del material vegetal que se descompone, pudiendo persistir durante 2-3 meses, resistiéndose a la degradación ligándose a las partículas de arcilla mientras mantienen la actividad de la toxina (Palm *et al.*, 1996). Tales toxinas de Bt que terminan en el suelo y el agua proveniente de los desechos de cultivos transgénicos es posible que tengan impactos negativos en los organismos del suelo y en los invertebrados acuáticos, así como en el proceso de reciclaje de nutrientes (James, 1997).

## Efectos río abajo

Un efecto medioambiental mayor, como resultado del uso masivo de la toxina de Bt en algodón u otro cultivo ocupando una superficie inmensa del paisaje agrícola, es que agricultores vecinos con cultivos diferentes al algodón, pero que comparten complejos similares de plagas, terminen con poblaciones de insectos resistentes colonizando sus campos. Es posible que plagas de Lepidoptera que desarrollan resistencia al Bt en algodón, se muevan a los campos adyacentes donde los agricultores usan Bt como insecticida microbiano, dejando así a los agricultores indefensos contra tales plagas, en la medida que ellos pierden su herramienta de control biológico (Gould, 1994).

## Impacto de los cultivos resistentes a enfermedades

Algunos científicos han intentado diseñar plantas resistentes a infecciones patógenas incorporando genes para productos virales dentro del genoma de las plantas. Aunque el uso de genes para la resistencia a virus en cultivos tiene beneficios potenciales, existen riesgos. La recombinación entre el ARN del virus y un ARN viral dentro del cultivo transgénico podría producir un nuevo patógeno que lleve a problemas de enfermedad más severos. Investigadores han mostrado que en plantas transgénicas ocurren recombinaciones y que bajo ciertas condiciones es posible producir una nueva raza viral con un rango alterado de huéspedes (Steinbrecher, 1996).

La probabilidad que las plantas transgénicas resistentes a virus amplíen el rango de hospederos de algunos virus o permitan la producción de nuevas razas de virus a través de la recombinación y/o la transcapsidación exigen una investigación experimental cuidadosa (Paoletti y Pimentel, 1996).

## El comportamiento de los cultivos transgénicos liberados

Hasta principios de 1997, trece cultivos modificados genéticamente habían sido desregulados por el USDA, apareciendo por

primera vez en el mercado o en los campos. En 1996 más del 20 % de la superficie cultivada con soya en los Estados Unidos se sembró material tolerante al Glifosato y cerca de 400,000 acres con maíz de Bt maximizado. Esta superficie se extendió considerablemente en 1997 (algodón transgénico, 3.5 millones; maíz transgénico, 8.1 millones y soya, 9.3 millones de acres) debido a acuerdos de mercadeo y distribución entre corporaciones y mercaderes (como Ciba Seeds con Growmark y Mycogen Plant Sciences con Cargill).

Según evidencia presentada por la Union of Concerned Scientists (1996), existen signos de que el uso a escala comercial de algunos cultivos transgénicos presenta riesgos ecológicos serios y no responde a las promesas de la industria (Cuadro 1).

El aparente comportamiento resistente del bellotero en el algodón, que se manifiesta en la capacidad del herbívoro de encontrar áreas del tejido de la planta con bajas concentraciones de Bt, lleva a la pregunta ¿hasta qué punto las estrategias de manejo de resistencia que se han adoptado son las adecuadas?, pero también cuestiona la manera en que los biotecnólogos subestiman la capacidad de los insectos para sobreponerse en formas inesperadas a la resistencia genética.

Del mismo modo, rendimientos pobres en las cosechas de algodón resistente al herbicida a causa del efecto fitotóxico del Glifosato en cuatro a cinco mil acres en el Delta del Mississippi (New York Times, 1997), apunta a la actuación errática de los CRHs cuando están sujetos a condiciones agroclimáticas variantes. Monsanto argumenta que esto es un caso pequeño y localizado que ambientalistas usan para oscurecer los beneficios que la tecnología llevó a un área total de 800,000 acres.

Sin embargo, desde un punto de vista agroecológico este incidente es bastante significativo y merece una extensa evaluación. Es incorrecto asumir que una tecnología homogeneizante tendrá buen comportamiento en un rango de condiciones heterogéneas.

**Cuadro 1. Comportamiento en el campo de algunos cultivos transgénicos liberados recientemente.**

Cultivo transgénico liberado	Comportamiento	Referencia
Algodón Bt transgénico	Aspersiones adicionales de insecticidas	The gene Exchange, 199; Kaiser, 1996
Algodón insertado con el gene <i>Round</i> resistente al Glifosato	Bellotas deformadas	Lappey Bailey, 1997; Miyerson, 1997
Maíz Bt	Reducción en el rendimiento y bajos niveles de Cu foliar	Hornick, 1997
Colza resistente a herbicidas	Polen que fertiliza botánicamente plantas relativas	Scottish Crop Research Institute, 1996
Calabaza resistente a virus	Resistencia vertical a dos virus	Rissler, J. (comunicación personal)
Variedades de tomate FLAVR-SAVR	Bajo rendimiento y comportamiento no aceptable en la resistencia a enfermedades	Biotech Reporter, 1996
Canola resistente Glifosato	Contaminación con gene no aprobado por los organismos reguladores.	Rancee, 1997
Papas Bt	Afidos secuestran la toxina de Bt afectando en forma negativa coccinelidos predadores.	Birch <i>et al.</i> , 1997
Varios cultivos tolerantes a herbicidas	Desarrollo de resistencia del ryegrass anual a Glifosato.	Gill, 1995

## CONCLUSIONES

La historia de la agricultura indica que las enfermedades de las plantas, las plagas de insectos y la maleza se volvieron más severas con el desarrollo del monocultivo, y que los cultivos manejados de manera intensiva y manipulados genéticamente pronto pierden su diversidad genética (Altieri, 1994; Robinson, 1996). Dado estos hechos, no hay razón para creer que la resistencia a los cultivos transgénicos no evolucionará entre los insectos, maleza y patógenos como ha sucedido con los pesticidas. No importa qué estrategias de manejo de resistencia se usen, las plagas se adaptarán y superarán las barreras agronómicas (Green *et al.*, 1990). Las enfermedades y plagas siempre han sido amplificadas por los cambios hacia la agricultura homogénea.

El hecho que la hibridación interespecífica y la introgresión son comunes a especies tales como: girasol, maíz, sorgo, colza, arroz, trigo y papa proveen la base para esperar un flujo de genes entre el cultivo transgénico y sus familiares silvestres, creando así nueva maleza resistente a los herbicidas. A pesar de que algunos científicos argumentan que la ingeniería genética no es diferente al

mejoramiento convencional, los críticos de la biotecnología reclaman que la tecnología del DNA permite la expresión de nuevos genes exóticos en las plantas transgénicas. Estas transferencias de genes están mediadas por vectores que se derivan de virus y plásmidos causantes de enfermedades, que atraviesan las barreras de las especies de tal forma que transfieren genes entre una gran variedad de especies, afectando así a otros organismos en el ecosistema.

Los efectos ecológicos no están limitados a la resistencia de las plagas y creación de nueva maleza o tipos de virus. Como se argumenta aquí, los cultivos transgénicos producen toxinas medioambientales que se mueven a través de la cadena alimenticia y que también terminan en el suelo y el agua afectando a invertebrados, y probablemente impactando procesos ecológicos tales como el ciclo de nutrientes.

Se ha argumentado la creación de una regulación apropiada para mediar la evaluación y liberación de cultivos transgénicos para contrarrestar riesgos medioambientales, y se ha demandado mayor evaluación y entendimiento de los temas ecológicos asociados con la ingeniería genética. Esto es crucial en la medida que los resultados que emergen acerca

del comportamiento medioambiental de los cultivos transgénicos liberados sugieren que en el desarrollo de los "cultivos resistentes", no sólo deben evaluarse los efectos directos en el insecto o la maleza, sino también los indirectos en la planta (ej. crecimiento, contenido de nutrientes, cambios metabólicos), suelo y en otros organismos presentes en el ecosistema.

También se demanda apoyo continuo para investigaciones agrícolas basadas en la ecología, en la medida en que los problemas biológicos a los que apunta la biotecnología, pueden resolverse usando aproximaciones agroecológicas. Los efectos dramáticos de las rotaciones y los policultivos en la salud de los cultivos y su productividad, así como en el uso de los agentes del control biológico en la regulación de plagas han sido confirmados repetidamente por la investigación científica (Altieri, 1994; NRC, 1996). El problema es que la investigación en los organismos públicos refleja cada vez más los intereses de los donantes privados a expensas de la investigación en beneficio público tal como el control biológico, sistemas de producción orgánica y técnicas agroecológicas en general (Busch *et al.*, 1990). La sociedad civil debe exigir una respuesta de a quién debe servir la universidad y otras instituciones públicas y demandar mayor investigación como alternativa a la biotecnología. Hay también una necesidad urgente de desafiar el sistema de patentes y de derecho de propiedad intelectual intrínseco en el GATT, el cual no solamente proporciona a las CTNs el derecho de apropiarse y patentar los recursos genéticos, sino también acelerará el ritmo al que las fuerzas del mercado promueven las prácticas del monocultivo con variedades transgénicas genéticamente uniformes.

Entre las varias recomendaciones para la acción que las ONGs, organizaciones campesinas y grupos de ciudadanos deben adelantar en los foros a nivel local, nacional e internacional se incluyen:

- Terminar el financiamiento público a la investigación en cultivos transgénicos que promuevan el uso de agroquímicos y que presenten

riesgos medioambientales; Los CRHs y otros cultivos transgénicos deben regularse como pesticidas;

- Los cultivos alimenticios transgénicos deben etiquetarse como tal;

- Aumentar el financiamiento para tecnologías agrícolas alternativas;

- Atender mediante la biotecnología y con mayor rigor la sostenibilidad ecológica, tecnologías alternativas de bajos insumos, las necesidades de los pequeños agricultores y la salud y nutrición humana.

- Equilibrar a través de políticas públicas y opciones hacia los consumidores en apoyo de la sostenibilidad, las tendencias desatadas por la biotecnología

- Promover medidas que apoyen la sostenibilidad y el uso múltiple de la biodiversidad a nivel de la comunidad, con énfasis en tecnologías que permitan la autosuficiencia y el control local de los recursos económicos como medios para fomentar distribución más justa de los beneficios.

## LITERATURA CITADA

- Alstad, D. N. y D. A. Andow 1995. Managing the Evolution of Insect Resistance to Transgenic Plants. *Science* 268: 1894-1896.
- Altieri, M. A. 1994. Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. Haworth Press, New York.
- Altieri, M. A. 1996. Agroecology: the science of sustainable agriculture. Westview Press, Boulder. *Biotech Reporter* 1996, (Financial Section, page 14, March 1996).
- Birch, A. N. E. *et al.*, 1997. Interaction Between Plant Resistance Genes, Pest Aphid Populations and Beneficial Aphid Predators. Scottish Crops Research Institute (SCRI) Annual Report 1996-1997, pp. 70-72.
- Busch, L., W. B. Lacey, J. Burkhardt y L. Lacey 1990. *Plants, Power and Profit*. Basil Blackwell, Oxford.
- Campbell, B. C. y S. C. Duffy 1979. Tomatine and Parasitic Wasps: potential incompatibility of plant antibiosis with biological control. *Science* 205: 700-702.

- Darmency, H. 1994. The Impact of Hybrids Between Genetically Modified Crop Plants and their Related Species: introgression and weediness. *Molecular Ecology* 3: 37-40.
- Gill, D. S. 1995. Development of Herbicide Resistance in Annual Ryegrass Populations in the Cropping Belt of Western Australia. *Australian Journal of Exp. Agriculture* 3: 67-72.
- Goldburg, R.J. 1992. Environmental Concerns with the Development of Herbicide-Tolerant Plants. *Weed Technology* 6: 647-652.
- Gould, F. 1994. Potential and Problems with High-Dose Strategies for Pesticidal Engineered Crops. *Biocontrol Science and Technology* 4: 451-461.
- Green, M. B.; A. M. LeBaron and W. K. Moberg (eds). 1990. *Managing Resistance to Agrochemicals*. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Gresshoff, P.M. 1996. *Technology Transfer of Plant Biotechnology*. CRC Press, Boca Raton.
- Holt, J.S., S. B. Powles y J. A. M. Holtum. 1993. Mechanisms and Agronomic Aspects of Herbicide Resistance. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology* 44: 203-229.
- Hornick, S. B. 1997. Effects of a Genetically-Engineered Endophyte on the Yield and Nutrient Content of Corn (Interpretive summary available through Geocities Homepage: [www.geocities.com](http://www.geocities.com)).
- Hruska, A. J. y M. Lara Pavón. 1997. *Transgenic Plants in Mesoamerican Agriculture*. Zamorano Academic Press, Honduras.
- James, R. R. 1997. Utilizing a Social Ethic Toward the Environment in Assessing Genetically Engineered Insect-Resistance in Trees. *Agriculture and Human Values* 14: 237-249.
- Kaiser, J. 1996. Pests Overwhelm Bt Cotton Crop. *Science* 273: 423.
- Kennedy, G. G. y M. E. Whalon. 1995. Managing Pest Resistance to *Bacillus thuringiensis* Endotoxins: constraints and incentives to implementation. *Journal of Economic Entomology* 88: 454-460.
- Krimsky, S. y R. P. Wrubel. 1996. *Agricultural Biotechnology and the Environment: science, policy and social issues*. University of Illinois Press, Urbana.
- Lappe, M. y B. Bailey. 1997. Genetic Engineered Cotton in Jeopardy. [www2.cetos.org/1/toxalts/bioflo.html](http://www2.cetos.org/1/toxalts/bioflo.html)
- Leibee, G. L. y J. L. Capinera. 1995. Pesticide Resistance in Florida Insects Limits Management Options. *Florida Entomologist* 78: 386-399.
- Mander, J. y E. Goldsmith. 1996. *The Case Against the Global Economy*. Sierra Club Books, San Francisco.
- Mikkelsen, T. R., B. Andersen y R. B. Jorgensen. 1996. The Risk of Crop Transgenic Spread. *Nature* 380: 31-32.
- Myerson, A. R. 1997. Breeding Seeds of Discontent: growers say strain cuts yields. *New York Times* (11/19/97 Business Section).
- National Research Council. 1996. *Ecologically Based Pest Management*. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Office of Technology Assessment. 1992. *A new Technological Era for American Agriculture*. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Palm, C. J., D. L. Schaller, K. K. Donegan y R. J. Seidler. 1996. Persistence in Soil of Transgenic Plant Produced *Bacillus thuringiensis* var. Kustakid-endotoxin. *Canadian Journal of Microbiology* (in press).
- Paoletti, M.G. y D. Pimentel 1996. Genetic Engineering in Agriculture and the Environment: assessing risks and benefits. *BioScience* 46: 665-671.
- Pimentel, D. *et al* 1992. Environmental and Economic Costs of Pesticide Use. *BioScience* 42: 750-760.
- Pimentel, D., M. S. Hunter, J. A. LaGro, R. A. Efrogmson, J. C. Landers, F. T. Mervis, C. A. McCarthy y A.E. Boyd. 1989. Benefits and Risks of genetic Engineering in Agriculture. *BioScience* 39: 606-614.
- Radosevich, S. R.; J. S. Holt y C. M. Ghersa. 1996. *Weed Ecology: implications for weed management* (2nd edition). John Wiley and Sons. New York.
- Rissler, J. and M. Mellon. 1996. *The Ecological Risks of Engineered Crops*. MIT Press, Cambridge.
- Robinson, R. A. 1996. Return to Resistance: breeding crops to reduce pesticide resistance. *AgAccess*, Davis.
- Scottish Crop Research Institute. 1996. *Research Notes, Genetic Crops Community Institute*.
- Steinbrecher, R. A. 1996. From Green to Gene Revolution: the environmental risks of genetically engineered crops. *The Ecologist* 26: 273-282.
- Tabashnik, B. E. 1994. Delaying Insect Adaptation to Transgenic Plants: seed mixtures and refugia reconsidered. *Proc. R. Soc. London B* 255: 7-12.
- Tabashnik, B. E. 1994. Genetics of Resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 39: 47-79.
- Tripp, R. 1996. Biodiversity and Modern Crop Varieties: sharpening the debate. *Agriculture and Human Values* 13: 48-62.
- Union of Concerned Scientists. 1996. *Bt Cotton Fails to Control Bollworm*. *The Gene Exchange* 7: 1-8.