

La biotecnología de los cultivos y el futuro de los alimentos: una contribución científica

Bruce M. Chassy
Departamento de Ciencias de la
Alimentación y Nutrición Humana
Universidad de Illinois, Urbana

Wayne A. Parrott
Departamento de Ciencias
de Cultivos y Suelos
Universidad de Georgia

Richard Roush
Departamento de Entomología
Universidad de California, Davis

Revisores:

Susan Harlander
BIOrational Consultants
New Brighton, Minnesota

Alan McHughen
Especialista en biotecnología
Universidad de California,
Riverside

Jeffrey Wolt
Instituto de bioseguridad para productos
agrícolas modificados genéticamente
Universidad del Estado de Iowa, Ames

Introducción

La introducción de la agricultura marcó el principio de la civilización moderna. En los diez mil años siguientes, los agricultores mejoraron la producción agrícola para soportar una población en crecimiento. A menudo, el aumento de producción provino de la reproducción, o sea la modificación genética, de los cultivos vegetales. La Revolución Verde intensificó la producción agrícola, evitó la inanición masiva, y que millones de acres silvestres sucumbieran bajo el arado (Evans 1998; Trewavas 2001) pero, al mismo tiempo, permitió prácticas agrícolas que degradaron la calidad de algunas tierras de cultivo. En años recientes, los cultivos transgénicos, es decir las plantas modificadas genéticamente a través de la biotecnología moderna (ver **Glosario**), hicieron posible continuar los beneficios de la Revolución Verde, en tanto se disminuía el impacto ambiental nocivo de la agricultura.

La introducción de cultivos transgénicos no se ha realizado sin controversias. Películas tales como “El futuro del alimento” y libros/videos como “Semillas de decepción” o “Peligros escondidos en las comidas de los niños” son representantes de una ideología que rechaza lo que se ve como la industrialización de la agricultura y la utilización de la modificación genética. A pesar de haber una predominante evidencia científica de lo contrario, esas y otras críticas activistas sostienen que comer esos cultivos transgénicos no es seguro, que no se comportan bien, que las resistencias naturales pronto se levantarán haciendo inútiles las plantas sometidas a ingeniería y que esos genes escapan y por lo tanto “contaminarán” otros cultivos o producirán “super malezas.”

Aún así, en la última década, ocho millones y medio de granjeros han cultivado variedades transgénicas en más de mil millones de acres agrícolas en diecisiete países (<http://www.isaaa.org>). Más de siete millones de estos granjeros son pequeños propietarios de naciones en vías de desarrollo. Estos cultivos han sido consumidos por seres humanos y animales en muchos países. Por lo tanto, hay una prodigiosa cantidad de datos y observaciones disponibles con la cual juzgar la seguridad y la utilidad de los cultivos transgénicos. Este comentario evalúa los peligros hipotéticos voceados por críticos activistas contra la evidencia y la experiencia disponible con los cultivos transgénicos.

¿Cuál es la definición del alimento producido con biotecnología? Tradicionalmente, biotecnología significa utilizar organismos vivientes para beneficiar a la humanidad. Históricamente, los productos como el vino, el queso, el yogurt, las enzimas y los antibióticos, se han considerado como productos de la biotecnología porque requieren el uso de levaduras y otros micro organismos para su producción.

En un sentido más corriente, la biotecnología se emplea para referirse a los cultivos genéticamente modificados (GM) y, no sólo a cualquier tipo de cultivos modificados genéticamente, sino específicamente cultivos transgénicos, o sea aquellos modificados por la ingeniería genética. La modificación por ingeniería genética difiere de la modificación genética más tradicional y se hace con genes previamente aislados y analizados en un laboratorio y luego insertados en un cultivo vegetal.



¿ Comer cultivos transgénicos presenta riesgos? La ciencia no tiene una postura específica diciendo que los cultivos GM son seguros o inseguros; cada cultivo GM presenta riesgos y beneficios potenciales que deben ser evaluados en base a cada caso. Cuando hace diez mil años los primeros agricultores empezaron a cambiar la apariencia de los cultivos por medio de la reproducción convencional, también dirigieron los cambios en el ADN del cultivo (revisado por Bradford et al. 2005). (*Foto de la izquierda: teosinte, un antepasado del maíz*). En algunos casos, los cambios han sido tan grandes que solo un botánico bien entrenado puede identificar el

ancestro silvestre de un cultivo. A medida que pudimos secuenciar el código genético de plantas domesticadas y sus parientes salvajes, la naturaleza de estos cambios se ha vuelto más clara. Sabemos que prácticamente todas las plantas que comemos son genéticamente modificadas en forma extensiva, comparadas con sus antepasados silvestres. A menudo esas modificaciones se han llevado a cabo por medio de la selección de los hombres de características introducidas por hibridación interespecífica, o creadas por una mutación al azar, empleando radiación o químicos mutágenos. Muchos cultivos tienen el ADN que proviene claramente de otras especies. Esos cultivos no son “naturales” por definición, y se han apartado de la selección “natural” para satisfacer las necesidades humanas.

Los peligros potenciales asociados con la tecnología del cultivo transgénico han sido estudiados por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS). Reiteradamente, la NAS ha llegado a la conclusión de que no es probable que la biotecnología produzca más efectos involuntarios que la tecnología convencional; en efecto, la mayor precisión y la naturaleza más definida de los cambios introducidos pueden, en realidad, ser más seguros (NAS 2004). Los científicos de la Unión Europea trataron este mismo tema, llegando a la conclusión de que la reproducción vegetal convencional produce más cambios involuntarios que los introducidos con la construcción de un vegetal transgénico (Cellini et al. 2004). Esos estudios encontraron que no hay riesgos nuevos asociados con la transferencia de genes a través de las barreras de las especies, y que comer los cultivos transgénicos del mercado actual es tan seguro como comer sus contrapartes convencionales, y probablemente más, debido al mayor escrutinio regulatorio al que están expuestos (<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/index.html>). Luego de diez años de uso inocuo es justo concluir que la seguridad inherente a la tecnología y la evaluación en cuanto a seguridad de cada caso antes de llegar al mercado, llevada a cabo por las agencias regulatorias alrededor del mundo, permiten asegurar que comer alimentos provenientes de cultivos transgénicos es tan seguro como comer cualquier otro alimento.

¿Los cultivos transgénicos producen beneficios? Como se notó previamente, la superficie de tierras agrícolas plantadas con cultivos transgénicos ha aumentado sostenidamente desde su introducción hace diez años (<http://www.isaaa.org/>). Los granjeros pagan más por las semillas transgénicas que por las convencionales; así y todo, cada año compran más semillas producidas con la biotecnología moderna, que semillas de variedades no modificadas genéticamente, más económicas y también disponibles. La mayoría de los agricultores que han plantado cultivos transgénicos deben por lo tanto creer que esas semillas de mayor precio ofrecen beneficios.

Dado que es imposible rever todos los beneficios de plantar cultivos transgénicos en un trabajo de extensión breve, se han seleccionado unos pocos casos representativos como ejemplos de beneficios factibles. Con una estimación de cinco mil millones de dólares por año, China es el país del mundo que utiliza más pesticidas químicos. El algodón es el principal cultivo vegetal con mayor intensidad de pesticidas. El algodón transgénico fue plantado inicialmente en China en 1998 y ahora representa el 50% de la superficie aldonera. Los rendimientos han mejorado en un 10 a 30%, el empleo de pesticidas ha disminuido en un 50 a 80% y la ganancia de los pequeños productores ha mejorado notablemente; de hecho, aquellos granjeros que plantaron variedades transgénicas de algodón en el 2001 y 2002 tuvieron mayor probabilidad de ganancias, mientras que en aquellos que no lo hicieron, la probabilidad de pérdidas

económicas fue mayor. Igualmente importante es que el envenenamiento debido a pesticidas por el uso de insecticidas en el algodón disminuyó en aproximadamente un 75% entre los agricultores que usaron algodón transgénico (Pray et al. 2002). Se estima que antes de 1996, en las regiones aldoneras de China ocurrían anualmente unos diez mil envenenamientos por insecticidas, y aproximadamente unas cuatrocientas muertes (de fuentes de Huang et al. 2003).



Los cultivos transgénicos pueden incluso brindar beneficios a la salud humana independientes de las reducciones en el empleo de pesticidas. Existe una fuerte evidencia de que la gran incidencia del cáncer de garganta, problemas de hígado y defectos del tubo neural en fetos humanos en el sur de África y América Latina se debe a la ingestión de toxinas de hongos (fumonisinas) producidas en el maíz dañado por insectos. Esas fumonisinas también pueden ser fatales para los caballos y cerdos (Wu, Miller y Cassman 2004). El maíz resistente a los insectos (Bt) tiene cantidades de fumonisinas mucho menores que los maíces convencionales, debido a que hay menos daño de insectos en los granos de maíz en los que pueden crecer los hongos (Shelton, Zhao y Roush 2002). Por lo tanto, un cambio hacia las variedades de maíz Bt disminuiría la exposición a la fumonisina y la incidencia de esos defectos de nacimiento (Wu, Miller y Cassman 2004). *(Foto de la izquierda: Maíz moderno).*

El empleo de herbicidas es un problema inquietante porque hay pocas alternativas para el control de malezas en la agricultura a gran escala que no tengan serios problemas ambientales. Aunque en los Estados Unidos ha habido algún aumento relativamente pequeño en el peso total de herbicidas aplicados a las sojas tolerantes a herbicidas (en donde el glifosato a menudo reemplaza a otros herbicidas que son más persistentes en el ambiente, [www.ers.usda.gov/publications/aer810/]), los estudios en el uso de herbicidas en Estados Unidos a través de todos los cultivos transgénicos muestran que ha habido una disminución total (<http://www.ncfap.org>); internacionalmente, la disminución es de alrededor del 4% (Brookes y Barfoot 2005). Incluso con las sojas, los índices de mayor uso, cuando ocurre, están más que compensados al permitir la labranza cero que resulta en un menor impacto ambiental total.

¿Los cultivos transgénicos son benéficos o dañinos para el medio ambiente? Después de años de investigación y evaluación de los daños potenciales, las investigaciones científicas publicadas demuestran que el daño ambiental que los cultivos transgénicos presentan no es exclusivo de ellos (<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/index.html>). La evolución de la resistencia de insectos y malezas es un problema cuando se utilizan estos cultivos, pero no es mayor que el de los sistemas de cultivos convencionales. Sin embargo, hay regulaciones para asegurar que los cultivos transgénicos recibirán una mejor administración que la que se les ha dado a los convencionales. Antes de poner en el mercado cualquier cultivo transgénico, las agencias regulatorias deben aprobar que ellos no empeoren los problemas agrícolas existentes o creen unos nuevos. Por ejemplo, debe diseñarse un plan para minimizar los problemas de resistencia de insectos a los cultivos transgénicos Bt, antes de la aprobación regulatoria. Otros puntos significativos incluyen:

- Los impactos potenciales en las especies benéficas son evaluados antes de la introducción de una variedad transgénica. Estudios extensivos después de un lanzamiento comercial han revelado que los cultivos transgénicos tienen efectos positivos en especies benéficas comparados con la agricultura convencional, como resultado de una menor necesidad de insecticidas de amplio espectro (Naranjo, Head y Dively 2005; Shelton, Zhao y Roush 2002).
- La mutación de las malezas y la evolución de malezas resistentes a los herbicidas han sido un problema durante más de treinta años. Tales temas no difieren para los cultivos transgénicos; en realidad, la resistencia ha sido más lenta para el herbicida clave glifosato que para muchos otros (www.weedscience.org). El uso de cultivos transgénicos no substituye las prácticas de

administración de una buena tierra. Los agricultores que usan cultivos GM saben bien que esas prácticas incluyen rotaciones y evitar la excesiva confianza en unos pocos químicos.

- Las estrategias para demorar la evolución de la resistencia en insectos hacia los cultivos resistentes a los insectos ha sido investigada e implementada más extensamente en los cultivos transgénicos que para cualquier clase de insecticidas desarrollados alguna vez, siendo un ejemplo el uso de refugios. Una evaluación del éxito de este esfuerzo se ve en que después de ocho años de uso intenso no se ha detectado resistencia en cultivos BT (Tabashnik et al. 2003), lo que excede a la duración efectiva del promedio histórico para insecticidas químicos en el algodón. Puesto en la mira en forma intensiva, el gusano rosado del algodón no es sólo una peste que no muestra resistencia, sino que en realidad su intensidad está declinando en Arizona, como consecuencia del empleo del algodón Bt (Carrière et al. 2003).
- La llegada de los cultivos modificados por ingeniería genética ha causado en la agricultura, una reducción dramática del uso de insecticidas (www.ers.usda.gov/publications/aer810/). En 2003, el último año con datos disponibles, el uso del algodón y maíz transgénicos disminuyeron el uso de insecticidas en tres millones doscientas treinta y ocho mil libras y tres millones ochocientos sesenta y cuatro mil libras respectivamente, (<http://www.ncfap.org/whatwedo/biotech-us.php>) (ver también Heimlich et al. 2002).
- En 2003, los cultivos transgénicos aumentaron los rendimientos agrícolas en cinco mil millones de libras. Después de deducir el mayor costo de las semillas, el valor neto de los granjeros fue de un mil novecientos millones de dólares (<http://www.ncfap.org>). Gran parte de la mayor ganancia podría atribuirse a la disminución de los gastos en agroquímicos.

También hay otros beneficios. Tradicionalmente no hubo herramientas de manejo efectivas y ambientalmente sustentables para muchas plagas y enfermedades claves. Por ejemplo, sin herbicidas, el manejo de las malezas dependería de tácticas tales como quemado, arado y laboreo manual, que no son sustentables en el medio ambiente, económica o socialmente. El incendio es una causa de contaminación del aire de creciente gravedad. La labranza genera tanto erosión como contaminación de polvo, disminuye la materia orgánica del suelo y aumenta la pérdida de carbono del suelo hacia el aire como dióxido de carbono, contribuyendo por lo tanto al efecto invernadero. Además, el suelo se compacta y la labranza requiere combustibles fósiles para impulsar los tractores que tiran los arados. Entonces, junto con la adopción de los cultivos transgénicos, se produce ahorro de combustible, disminuye la erosión y se mejora el hábitat para la vida silvestre; por ejemplo en el 2001, Estados Unidos pudo ahorrar setenta millones de galones de combustible en la soja cultivada con labranza cero (Fawcett y Towery 2002).

Un trabajo reciente de Brookes y Barfoot (2005), resumió el impacto global total de la tecnología transgénica. El análisis muestra que hubo beneficios netos económicos a nivel de granjas de una cantidad acumulativa total de veintisiete mil millones de dólares. La tecnología disminuyó el pesticida en rocío en trescientos setenta y ocho millones de libras y la “huella” ambiental asociada al uso de pesticidas en un 14%. La tecnología también redujo significativamente la liberación del gas de invernadero emitido por la agricultura, lo que equivale a remover de los caminos cerca de cinco millones de autos.

¿Pueden los cultivos transgénicos contribuir a aumentar la estabilidad y seguridad de los alimentos?

La realidad del crecimiento poblacional en los próximos cincuenta años implica que el abastecimiento global de alimentos se duplique (FAO, 2000). Este crecimiento es un asombroso desafío para la agricultura debido a que la mayor parte de la tierra agrícola del mundo ya está en producción. En 1991, se disponía de 0,81 acres de tierras agrícolas para alimentar a cada persona. Para el 2050, sólo serán 0,37 acres. Esto significa que la productividad de cada unidad de tierra debe aumentarse. Al fracasar en esto, el Informe Milenio de las

Naciones Unidas (UN) aclara que “el mundo enfrenta una real amenaza a la seguridad alimenticia global del futuro” (*Informe Milenium 2000*).

El proyecto Milenium de las Naciones Unidas (www.unmillenniumproject.org/) estima que ochocientos cincuenta millones de personas están subalimentadas y que muchas más sufren de deficiencia de micronutrientes, una cantidad que ahora puede haber aumentado a mil millones (<http://www.ers.usda.gov/Publications/GFA16/>). Algunas personas argumentan que no hay escasez de alimentos y que el hambre es un problema de distribución y no de producción de alimentos. Pero de acuerdo al Proyecto Milenium de las Naciones Unidas, el cincuenta por ciento de la población mundial consiste en pequeños productores que generan los alimentos que su familia consume (ver en Sánchez y Swaminathan, 2005 un resumen y un análisis). Esas personas con cantidad de tierra necesaria como para producir su propio alimento a menudo fracasan, no por su culpa, sino debido a plagas o condiciones meteorológicas desfavorables. Por lo tanto, cualquier estrategia o tecnología que permita a estos pequeños granjeros producir mayor cantidad de alimentos en forma más consistente y de una manera más sustentable ayudará a disminuir el hambre, promover el desarrollo económico rural y la auto estima, disminuir la dependencia de los sistemas de distribución y la necesidad de ayuda alimenticia. Los cultivos transgénicos por sí solos no resolverán el problema del hambre, pero pueden ayudar.

Por lo menos con la misma importancia, el uso de los cultivos transgénicos puede disminuir la cantidad de tierra necesaria para la agricultura, permitiendo una mejor conservación del suelo y de la biodiversidad (Trewavas 2001) y un control más confiable de la gente del lugar sobre el abastecimiento de los alimentos con un menor uso de pesticidas. Tradicionalmente no hubo herramientas de manejo efectivas y ambientalmente sustentables para muchas plagas y enfermedades claves. En África, por ejemplo, las plagas de insectos y las enfermedades virales disminuyen sustancialmente los rendimientos de los cultivos básicos claves como bananos, maíz, batata y yuca (mandioca) (<http://apsnet.org/Education/feature/FoodSecurity/>) y (<http://www.ers.usda.gov/Publications/GFA16/>). Para cultivar confiablemente suficiente comida, los granjeros deben cultivar más tierras para compensar esas pérdidas, o bien tratar con pesticidas riesgosos para evitarlas. Es en la prevención de las pérdidas en donde la biotecnología puede ayudar.

¿Los cultivos transgénicos fomentarán la industrialización posterior de la agricultura a expensas de la biodiversidad? Algunos de los ejemplos históricos más significativos del manejo de la tierra y la degradación agrícola preceden a la llamada agricultura industrial; considerar, por ejemplo, la deforestación de la Isla de Pascua, la extinción de ciertos animales debido a la caza y al desmonte y las tormentas de tierra de la época de la Depresión. La agricultura moderna tomó ventaja de los químicos y la mecanización desde el final de la segunda guerra mundial. Los cultivos transgénicos no aumentan el empleo de pesticidas, fertilizantes y otros químicos comparando con la agricultura convencional, pero responden a las demandas del consumidor de mayor calidad y bajos precios, con una eficiencia que disminuye la necesidad de desmontar. En cambio ahora, por primera vez desde la segunda guerra mundial, los cultivos transgénicos hacen posible disminuir la confianza en la agricultura química.

Al final, no todos los aumentos en la productividad agrícola son el resultado de aumentar la utilización de químicos. La otra mitad proviene de semilla mejorada, obtenida como resultado de la modificación genética. Desde que los híbridos estuvieron disponibles en las décadas de 1920 y 1930, los agricultores de maíz dependen de tener que comprar su semilla cada año. La semilla era más cara, pero los mayores rendimientos valieron la pena. Con los cultivos transgénicos, los agricultores dependen de la industria privada para obtener la semilla, pero al mismo tiempo su dependencia de la industria de agroquímicos es crecientemente menor. Además, gran parte de la investigación mundial sobre cultivos transgénicos no la realiza la industria privada sino los ministerios de agricultura, institutos de investigación y laboratorios de universidades (Cohen 2005), ayudando así a asegurar que esta tecnología beneficie a granjeros y cultivos alrededor del mundo, incluso en ausencia de la industria privada.



El rápido despliegue y adopción de los cultivos transgénicos no ha terminado en la pérdida de la biodiversidad genética (Sneller 2003), en primer lugar debido a que los criadores han producido variedades adaptadas a cualquier parte del país, una tarea que sería imposible si se eliminara la biodiversidad (*foto de la izquierda: diversidad genética en maíz*). Además, la vida silvestre ha aumentado en y alrededor de los campos que una vez fueron fumigados con pesticidas (Naranjo et al. 2005; Pimentel y Raven 2000), y estudios de campo tras estudios de campo muestran que las especies benéficas y no modificadas no se han reducido.

Mientras que películas como “El futuro del alimento” distorsionan la historia y los hechos de la agricultura, y algunas personas añoran una visión de un pasado que nunca existió, lo que el mundo necesita de la agricultura moderna es tanto un aumento de la productividad como una disminución de los daños en el medio ambiente. Los cultivos transgénicos ya han llevado a cabo esas necesidades y continuarán ofreciendo mucho más, en tanto la humanidad esté dispuesta a aplicar la tecnología para satisfacer las necesidades sociales.

Glosario

Biología. El uso de organismos vivos con propósitos útiles. La producción industrial de antibióticos, fármacos, enzimas y químicos, la producción de quesos, bebidas fermentadas y panes con levadura, las técnicas de cultivo de tejido y micropropagación, y la transferencia de genes *in vitro* entre organismos, son formas diferentes de biología.

Biología moderna. El análisis de ADN, ARN, y proteínas, la genómica y la bioinformática aplicadas a la modificación *in vitro* de organismos vivos, como por ejemplo, el desarrollo de cultivos vegetales transgénicos.

Ingeniería genética. El proceso de aislar ADN en un laboratorio, analizarlo e insertarlo en otro organismo.

Modificación genética. Alterar la composición genética de plantas, animales y microbios, por medio de la selección de tipos con características deseadas.

OMG. Aunque OMG significa un organismo modificado genéticamente, se ha tomado la definición más restringida de ser un organismo modificado por ingeniería transgénica o genética.

Planta transgénica. Es un vegetal que ha sido alterado genéticamente por medio de la ingeniería genética para contener ADN de otras fuentes.

LITERATURA CITADA

- Bradford, K. J., A. Van Deynze, N. Gutterson, W. Parrott, and S. H. Strauss. 2005. Regulating transgenic crops sensibly: Lessons from plant breeding, biotechnology and genomics. *Nature Biotechnol* 23:439–444.
- Brookes, G. and P. Barfoot. 2005. GM crops: The global economic and environmental impact—The first nine years 1996 – 2004, *AgBioForum* 8:187–196.
- CarriPre, Y., C. Ellers-Kirk, M. Sisterson, L. Antilla, M. Whitlow, T. J. Dennehy, and B. E. Tabashnik. 2003. Long-term regional suppression of pink bollworm by *Bacillus thuringiensis* cotton. *Proc Natl Acad Sci (USA)* 100:1519–1523.
- Cellini, F. A., A. Cheson, I. Colquhoun, A. Constable, H. V. Davies, K. H. Engel, A. M. R. Gatehouse, S. Kärenlampi, E. J. Kok, J. J. Leguay, S. Lehesranta, H. P. J. M. Noteborn, J. Pedersen, and M. Smith. 2004. Unintended effects and their detection in genetically modified crops. *Food Chem Toxicol* 42:1089–1125.

- Cohen, J. I. 2005. Poorer nations turn to publicly developed GM crops. *Nature Biotechnol* 23:27–33, <http://www.ifpri.org/pubs/articles/2005/naturebiotech.pdf>
- Evans, L. T. 1998. *Feeding the Ten Billion: Plants and Population Growth*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fawcett, R. and D. Towery . 2002. *Conservation Tillage and Plant Biotechnology: How New Technologies Can Improve the Environment by Reducing the Need to Plow*. Conservation Technology Information Center, Purdue University, <http://www.ctic.purdue.edu/CTIC/Biotech.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2000. *World Agriculture Towards 2015/2030, Summary Report*, http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP
- Heimlich, R. E., J. Fernandez-Cornejo, W. McBride, C. Klotz-Ingram, S. Jans, and N. Brooks. *Genetically Engineered Crops: Has Adoption Reduced Pesticide Use?* Agricultural Outlook. USDA–ERS. August 2000.
- Huang, J., R. Hu, C. Pray, F. Qiao, and S. Rozelle. 2003. Biotechnology as an alternative to chemical pesticides: A case study of Bt cotton in China. *Ag Econ* 29:55–67.
- Millennium Report of the Secretary-General of the United Nations*. 2000. <http://www.un.org/millennium/sg/report/index.html>
- Nair, R. S., R. L. Fuchs , and S. A. Schuette. 2002. Current methods for assessing safety of genetically modified crops as exemplified by data on Roundup Ready soybeans. *Toxicol Pathol* 30:117–125.
- Naranjo, S. E., G. Head, and G. P. Dively. 2005. Field studies assessing arthropod non-target effects in Bt transgenic crops. *Environ Entomol* 34:1178–1376.
- National Academy of Sciences (NAS). 2004. *Safety of Genetically Engineered Foods: Approaches to Assessing Unintended Health Effects*. National Academy of Sciences, Washington, D.C., http://books.nap.edu/catalog/10977.html?onpi_newsdoc07272004
- Pimentel, D. and P. H. Raven. 2000. Bt corn pollen impacts on nontarget Lepidoptera: Assessment of effects in nature. *Proc Natl Acad Sci (USA)* 97:8198–8199.
- Pray, C. E., J. K. Huang, R F. Hu, and S. Rozelle. 2002. Five years of Bt cotton in China—The benefits continue. *Plant J* 31:423–430.
- Sanchez, P. A. and M. S. Swaminathan. 2005. Cutting world hunger in half. *Science* 307:357–359.
- Shelton, A., J. Zhao, and R. Roush. 2002. Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. *Ann Rev Entomol* 47:845–881.
- Sneller, C. H. 2003. Impact of transgenic genotypes and subdivision on diversity within elite North American soybean germplasm. *Crop Sci* 43:409–414.
- Tabashnik, B. E., Y. CarriPre, T. J. Dennehy, S. Morin, M. S. Sisterson, R. T. Roush, A. M. Shelton, and J. Z. Zhao. 2003. Insect resistance to transgenic Bt crops: Lessons from the laboratory and field. *J Econ Entomol* 96:1031–1038.
- Trewavas, A. J. 2001. The population/biodiversity paradox. Agricultural efficiency to save wilderness. *Plant Physiol* 125:174–179.
- Wu, F. A., J. D. Miller, and E. A. Cassman. 2004. The economic impact of Bt corn resulting from mycotoxin reduction. *J Toxicol, Toxin Rev* 23: 397–424.

El Consejo para las Ciencias Agrícolas y la Tecnología (CAST) reúne, interpreta y comunica información confiable de base científica a nivel regional, nacional e internacional para legisladores, reguladores, formuladores de políticas, los medios, el sector privado y el público. Para mayor información, llamar al 515-292-2125 o enviar un e-mail a cast@cast-science.org.

The Council for Agricultural Science and Technology (CAST) assembles, interprets, and communicates credible science-based information regionally, nationally, and internationally to legislators, regulators, policymakers, the media, the private sector, and the public. For more information, call 515 -292-2125 or email cast@cast-science.org.



The Science Source for Food,
Agricultural, and Environmental Issues