



Los Cultivos Bt Han Superado Su Fecha de Caducidad: ¿Una Tecnología Defectuosa en Busca de Nuevos Mercados?

por Dra. Eva Sirinathsinghji

Los Cultivos Bt Han Superado Su Fecha de Caducidad: ¿Una Tecnología Defectuosa en Busca de Nuevos Mercados?

Dra. Eva Sirinathsinghji

TWN
Third World Network
Penang, Malasia

**Los Cultivos Bt Han Superado Su Fecha de Caducidad:
¿Una Tecnología Defectuosa en Busca de Nuevos Mercados?**

Publicado en 2022 por
Third World Network Bhd (198701004592 (163262-P))
131 Jalan Macalister
10400 Penang
Malasia
www.twn.my

Publicación original en inglés en el 2022.

El contenido de esta publicación puede ser republicado o reutilizado gratuitamente para fines no comerciales, salvo que se indique lo contrario. Esta publicación se distribuye bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0.

Contenido

Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Cultivos Bt: Estado de la cuestión	5
Capítulo 3. Los problemas de eficacia están minando la durabilidad del Bt	10
Resistencia a las plagas	10
Realidad del (in)cumplimiento de los refugios por los agricultores	15
Aumento de las plagas secundarias	18
Otros retos	21
Capítulo 4. Cultivos Bt: ¿Un asalto a los sistemas agrícolas de los pequeños agricultores?	23
Capítulo 5. Observaciones finales	28
Referencias	30

Agradecimientos

Este artículo se publica en colaboración con GeneWatch UK (www.genewatch.org). Agradecemos los comentarios del Dr. Christoph Then, del Instituto para la Evaluación Independiente del Impacto de la Biotecnología (Testbiotech).

Capítulo 1

Introducción

LOS cultivos modificados genéticamente (MG) fueron anunciados inicialmente por sus defensores como la llegada de la segunda Revolución Verde, destinada a aumentar la “productividad” agrícola y, por lo tanto, a resolver los problemas del hambre y mejorar los ingresos de los agricultores. Sin embargo, la adopción de los cultivos modificados genéticamente se estancó hace más de una década, menos de 20 años después de la primera siembra comercial en 1996. Algunos cultivos, como la soja y el maíz, han alcanzado la saturación del mercado en un puñado de países con gran adopción de transgénicos, pero la adopción a nivel mundial ha sido más restringida. Dos características dominan el mercado de los cultivos transgénicos: la primera es la tolerancia a los herbicidas y la segunda, los cultivos insecticidas “Bt”. Ambos están diseñados en función de los sistemas agrícolas industrializados.

Los cultivos Bt están diseñados genéticamente para utilizar secuencias de genes de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis* (Bt) para emitir una o más proteínas cristalinas (conocidas como “toxinas Cry” o “toxinas Bt”) que son tóxicas para algunas plagas.

En los países con cultivos Bt, la tecnología se enfrenta a retos en cuanto a su durabilidad, con aumento de la resistencia de las plagas y otros problemas que ya tienen importantes repercusiones económicas para los agricultores. Por ejemplo, en la región india del Punjab, las infestaciones de plagas han dejado a los agricultores tambaleándose por las pérdidas de las cosechas de 2021 y las nuevas subidas del precio de las semillas de ~10% están

agravando el sufrimiento económico (Singh, 2022). En Estados Unidos, la Agencia de Protección del Medio Ambiente va a iniciar una “retirada progresiva” de las variedades Bt que ya no son eficaces debido a la resistencia de las plagas, centrándose en los cultivos de algodón y maíz de una sola toxina (United States Environmental Protection Agency, 2021). Aunque se han añadido numerosas toxinas Bt al mercado, lo que ha prolongado la eficacia en cierta medida, el número de toxinas disponibles en el mercado que siguen siendo eficaces está disminuyendo (véase la sección sobre “Resistencia a las plagas” en el capítulo 3).

Las toxinas Bt sólo pueden dirigirse a una estrecha gama de plagas, lo que limita aún más la adaptabilidad de la tecnología en el futuro. El desarrollo de nuevas toxinas Bt sigue siendo un campo activo, y empresas como Bayer y BASF han anunciado recientemente la identificación de nuevas versiones (Chen et al., 2021; Kahn et al., 2021). Sin embargo, las que se dirigen a plagas resistentes pueden volver a sufrir una resistencia cruzada con las toxinas existentes que puede socavar su eficacia.

Además, sigue siendo cuestionable que estos desarrollos estén realmente diseñados para rescatar una tecnología a largo plazo. De hecho, recientemente se ha descrito que la tecnología posee una “obsolescencia sociobiológica” incorporada que desposee a los agricultores y hogares marginados o con pocos recursos cuando las cosechas fracasan, reproduciendo estructuras hegemónicas que facilitan aún más la redistribución de la riqueza de la parte inferior a la superior del sector agrícola (Najork et al., 2022). En el futuro, los problemas de resistencia continuarán, ya que las plagas probablemente evolucionen para adaptarse a las últimas variedades en el mercado.

A los problemas de eficacia e idoneidad se suman los problemas de bioseguridad que se plantean desde hace tiempo y que suponen un reto adicional para cualquier nuevo despliegue de las tecnologías Bt. Este documento se centra en las consideraciones sobre la eficacia y la idoneidad de los cultivos Bt, pero no desconoce que se han publicado amplios estudios sobre los efectos en el medio ambiente

y en la salud. Éstos revelan impactos ambientales adversos como la propagación del algodón Bt en México (Vázquez-Barrios et al., 2021) y la contaminación generalizada del maíz tradicional en Brasil (Fernandes et al., 2022).

Además, se han planteado posibles riesgos para la salud humana (Latham et al., 2017; Then et al., 2020, 2022; Wilson, 2021) incluyendo la alergenicidad (Santos-Vigil et al., 2018). Estos riesgos han sido descartados durante mucho tiempo por los promotores de los cultivos Bt, a pesar de la falta de pruebas rutinarias empíricas en las evaluaciones de riesgo para disipar las preocupaciones. Persisten dudas sobre el modo de acción de las toxinas Bt, los efectos combinados de las diferentes toxinas, la persistencia en el intestino de las plagas, así como los impactos en las especies no objetivo, tales como sus niveles de susceptibilidad a la toxicidad Bt.

Ante esta disminución de los resultados en los mercados saturadas existentes, la industria de los transgénicos parece estar buscando nuevos canales de venta para sus cultivos Bt. Están en marcha proyectos de berenjena Bt para Bangladesh y Filipinas, financiados por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Bangladesh ya ha comenzado a plantar este cultivo. Otros países, como Nigeria y Burkina Faso, han aprobado recientemente el cultivo de caupí Bt (HOMEF & ACB, 2022) mientras que Ghana está investigando, pero aún no ha aprobado los ensayos de campo. El algodón Bt también se planta en Kenia desde 2020.

La Revolución Verde ha sido descrita como la conversión efectiva de la agricultura y la ganadería en sistemas industrializados con la adopción extensiva de semillas patentadas de “alto rendimiento”, fertilizantes, pesticidas y mecanización intensiva, entre otras prácticas (Maingi, 2020). Esto vino con importantes costes para los cultivos y la biodiversidad en general y para los conocimientos tradicionales de los agricultores, trajo cambios en los patrones de consumo dietético y un mayor daño medioambiental inducido por los productos químicos. La expansión de los cultivos Bt en nuevos países tiene consecuencias para la futura adopción de

la anunciada “segunda revolución verde”, y es cuestionable la idoneidad de los cultivos Bt fuera de los sistemas industrializados para los que fueron concebidos originalmente.

Este informe resume la situación de los cultivos Bt, su eficacia y durabilidad decrecientes, y las consideraciones relativas a la falta de idoneidad dentro y fuera de los monocultivos de las explotaciones industrializadas, especialmente en el contexto de los países en desarrollo, que parecen ser el objetivo renovado de los promotores de los cultivos Bt.

Capítulo 2

Cultivos Bt: Estado de la cuestión

LA adopción de cultivos transgénicos se ha estancado en los últimos años, lo que ha llevado a sus promotores a buscar nuevos mercados. Según el Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA), que promueve la biotecnología de los cultivos, entre 1996 y 2002, 16 países cultivaban productos transgénicos; esta cifra aumentó a 25 países en 2008, y a 29 en 2011. Sin embargo, las cifras parecen haber descendido a 26 países en 2021 (Turnbull et al., 2021). La superficie total dedicada a los cultivos transgénicos también se ha estancado y ha experimentado un ligero descenso en 2019, el último año en que se publicaron los informes del ISAAA, ya que países como Estados Unidos y Argentina han alcanzado la saturación del mercado de la soja, el algodón y el maíz.

La principal característica de estos cultivos hasta la fecha ha sido la tolerancia a los herbicidas y, en segundo lugar, el poder insecticida de los cultivos Bt. La gran mayoría de las tierras dedicadas a los cultivos transgénicos se concentra en solo cinco países -Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá e India- que, según se informa, en 2019 cultivaron el 91% de todos los cultivos transgénicos del mundo (ISAAA, 2019). Se estima que, en 2019, los cultivos Bt representaron el 12% de los cultivos transgénicos plantados en todo el mundo, y otro 45% combinaba otros rasgos, más comúnmente la tolerancia a los herbicidas, en un intento de maximizar los beneficios.

Además, muchos cultivos Bt son “piramidales”, portadores de múltiples toxinas Bt para retrasar lo más posible el desarrollo de plagas resistentes. Los cultivos Bt siguen concentrándose en gran medida en Estados Unidos, Canadá, Brasil y Argentina, mientras que en la India se cultiva algodón Bt, pero no se plantan alimentos Bt. India ha pasado de cultivar algodón Bt con una toxina que ya no es eficaz, a variedades con múltiples toxinas. Según los informes, China cultivó 100.000 hectáreas de algodón Bt en 2018, lo que representa el 2% del cultivo mundial de transgénicos (ISAAA, 2018). Se desarrollaron variedades de arroz y maíz Bt, pero nunca se comercializaron en China, en parte debido a la baja aceptación de los consumidores para estos productos alimenticios básicos (Liu et al., 2016; Wang, 2015).

En los Estados Unidos, ante la creciente resistencia, ha habido una tendencia constante contra el uso exclusivo de rasgos Bt. En 2018 las tasas de adopción del maíz Bt sin otros rasgos fueron del 2%, en contraste con el 87% de los rasgos Bt apilados con tolerancia a los herbicidas. Esto representa un ligero descenso con respecto a 2017. Del mismo modo, para el algodón Bt, entre 2017 y 2018 hubo una caída de 2 puntos porcentuales, del 5% al 3%, en los cultivos de solo Bt. En cambio, la tendencia ha sido aprobar cultivos Bt apilados con múltiples toxinas y/o otros rasgos.

Por ejemplo, en 2022 se lanzó Smartstax Pro de Bayer, que combina la tolerancia al glifosato y a la dicamba, múltiples toxinas Bt y una tecnología de interferencia de ARN más novedosa. También se ha recomendado a los agricultores el uso adicional de insecticidas de suelo para hacer frente a los problemas de resistencia (Pucci, 2021). En 2020, la Agencia de Protección Medioambiental lanzó una propuesta para eliminar progresivamente muchas variedades de maíz y algodón Bt en los próximos 3-5 años. (Progressive Farmer, 2020; United States Environmental Protection Agency, 2021). Entre ellas se encuentran todos los cultivos Bt que sólo llevan una toxina Bt, así como todos los productos piramidales que no llevan la toxina Vip, que es la única toxina a la que las plagas aún no han desarrollado resistencia.

En Burkina Faso, el algodón Bt se adoptó ampliamente, constituyendo unas tres cuartas partes de todo el algodón cultivado en 2015. Sin embargo, el cultivo se eliminó gradualmente en 2016 después de que se descubriera que la calidad agronómica se había visto afectada de forma significativa debido a una disminución sustancial de la longitud de las fibras y de la proporción de desmotado. Estos cambios imprevistos limitaron la calidad y la cantidad de algodón que se podía obtener de la planta. La industria algodonera de Burkina Faso, famosa por su algodón de alta calidad, sufrió pérdidas en el mercado que llevaron a los agricultores a pedir una indemnización de 280 millones de dólares a Monsanto por las pérdidas sufridas desde 2010 (Dowd-Uribe & Schnurr, 2016). Tras su eliminación, el país experimentó un aumento del 20% en la producción de algodón al año siguiente (Gongo, 2017).

El algodón Bt también se introdujo en Sudáfrica, pero fue rechazado al cabo de unos años por la mayoría de los pequeños agricultores debido al mayor coste de las semillas, que agravaba los problemas de endeudamiento existentes. El maíz Bt, sin embargo, ha sido adoptado más ampliamente en Sudáfrica, el único país del mundo que cultiva un alimento básico transgénico para el consumo. (La gran mayoría de los cultivos transgénicos que se cultivan en América se dedican a ingredientes alimentarios procesados, piensos y biocombustibles.) Como en Estados Unidos, los agricultores sudafricanos se enfrentan a problemas de resistencia que también han provocado el paso a cultivos de doble toxina a partir de la temporada 2012/2013 (Tabashnik & Carrière, 2015).

Bangladesh es uno de los pocos países que han aprobado las toxinas Bt para un cultivo autóctono, en este caso la berenjena, o *begun* como se llama en bangla. La berenjena, un cultivo de gran importancia cultural, fue modificada genéticamente por Mahyco, una empresa india de semillas que tiene licencia para utilizar uno de los rasgos Bt de Bayer (antes Monsanto). La introducción de la berenjena Bt se ha visto favorecida por la financiación de USAID para el Proyecto de Mejora de la Berenjena de Asia Meridional

de Feed the Future, que se ha ampliado recientemente en 2022 (McCandless, 2016). Aunque el sitio web de la Cornell Alliance for Science informa de los éxitos en el país, las tasas de adopción parecen ser bajas, pasando del 1% en el año en que se plantó por primera vez, al 6% en 2018. Según el ISAAA, también hubo un descenso en la adopción de 2018 a 2019, con una caída en las hectáreas plantadas de 2.975 a 1.931 hectáreas (ISAAA, 2018). Una encuesta realizada en 2020 por organizaciones de la sociedad civil en los mercados de alimentos de Dhaka no pudo encontrar ninguna presencia de berenjenas Bt, a pesar de la abundancia de otras variedades cultivadas localmente (Akhter, 2020).

Nigeria, Ghana y Burkina Faso también han realizado ensayos de campo con la variedad autóctona de caupí, en un proyecto de la Fundación Africana de Tecnología Agrícola (AATF) (financiado en gran medida por la Fundación Bill y Melinda Gates), el Centro de Ciencias Vegetales Donald Danforth, con sede en Estados Unidos, el Instituto de Investigación Agrícola y la Organización de Investigación Científica e Industrial de la Commonwealth (CSIRO), una agencia gubernamental australiana. La AATF negoció una transferencia libre de derechos de un gen Bt (Cry1Ab) de Monsanto (ahora Bayer). Al parecer, Nigeria ha empezado a plantar caupí Bt, pero el cultivo no parece haber comenzado en los países vecinos.

Kenia, que instauró una prohibición a las importaciones de alimentos transgénicos en 2012, ha permitido la plantación de variedades de algodón Bt a partir de 2020. Sin embargo, la producción de semillas por parte de la empresa india Mahyco, contratada para suministrar el material vegetal, ha tenido problemas y la compañía ha detenido la distribución de semillas. Este hecho se ha calificado recientemente como un duro golpe para el cultivo, al tiempo que ha suscitado la preocupación por la falta de autosuficiencia en la producción de semillas de algodón (Andae, 2022). Kenia también ha estado probando el maíz Bt, y podría aprobar su cultivo de forma inminente.

Mientras tanto, Nigeria está evaluando el maíz transgénico TELA, una variedad de Bayer que se vende como medio para combatir la oruga militar tardía, así como para proporcionar supuestamente tolerancia a la sequía. Este rasgo de resistencia a la sequía ha sido cuestionado en Sudáfrica, donde una variedad apilada no se comportó mejor, y en algunos parámetros peor, que las variedades convencionales en los ensayos de campo (ACB, 2019).

Capítulo 3

Los problemas de eficacia están minando la durabilidad del Bt

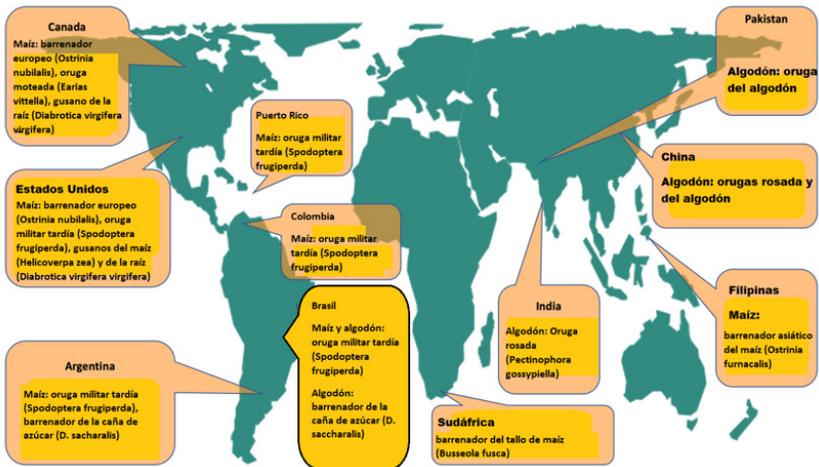
Resistencia a las plagas

UNA de las principales amenazas para la sostenibilidad a largo plazo de los cultivos Bt ha sido siempre la posibilidad de que las plagas objetivo se vuelvan resistentes a las toxinas insecticidas del cultivo. Se esperaba que las estrategias de gestión, como la plantación de “refugios” no modificados genéticamente, redujeran la presión para que las plagas desarrollaran resistencia, pero estas políticas no han sido suficientes o no se han aplicado en muchos casos (véase la sección “Realidad del (no) cumplimiento de los refugios por parte de los agricultores” más adelante).

Como se resume en la Figura 1, las principales plagas han desarrollado resistencia, como el coleóptero que ataca la raíz del maíz (*Diabrotica virgifera virgifera*) (Gassmann, 2021; Gassmann, 2016; Gassmann et al., 2011), el gusano de la fruta (*Helicoverpa armigera*) en Estados Unidos y Pakistán (Alvi et al., 2012; Gunning et al., 2005; Tabashnik, 2008), La oruga rosada (*Pectinophora gossypiella*) en India y China (Dhurua & Gujar, 2011; Wan et al., 2012; Wang et al., 2022), la oruga moteada o gusano peludo (*Earias vittella*) (Ahmad et al., 2021), el gusano barrenador europeo (*Ostrinia nubilalis*) en Canadá (Field Crop News, 2019), la oruga militar tardía (*Spodoptera frugiperda*) en Estados Unidos, Puerto Rico, Colombia y Brasil (Fatoretto et al., 2017; Gutierrez-Moreno et al., 2020; Zhu et al., 2015), el barrenador de la caña de azúcar (*Diatraea saccharalis*) en Argentina (Signorini et al., 2018), y el barrenador asiático del maíz (*Ostrinia furnacalis*) en Filipinas (Alviar et al.,

2021). El año pasado volvieron a producirse importantes ataques del gusano rosado en India, en varios estados productores de algodón, lo que supuso graves contratiempos para los pequeños agricultores. (Najork et al., 2021).

Figura 1. Resumen mundial de la resistencia documentada de las plagas a las toxinas Bt



Los primeros casos de resistencia se documentaron en 2002, y la resistencia se ha ido acelerando en las últimas dos décadas. En 2013, se había informado de la reducción de la eficacia de los cultivos Bt causada por la resistencia desarrollada en el campo en algunas poblaciones de cinco de las 13 principales especies de plagas examinadas (Jin et al., 2015; Tabashnik et al., 2013; Van den Berg et al., 2013). La resistencia asociada a los daños en los cultivos va en aumento: un estudio informó de tres casos en 2005, pero de 16 casos en 2016 (Tabashnik & Carrière, 2017).

Mientras que los casos iniciales tardaron una media de ocho años en desarrollarse, los casos posteriores solo tardaron cuatro años, lo que sugiere una aceleración del desarrollo de la resistencia con el tiempo. Los autores atribuyeron esta aceleración al desarrollo de resistencia cruzada a diferentes toxinas Bt, así como al aumento

de la plantación de cultivos Bt que reduce la tierra dedicada a cultivos no transgénicos, lo que puede actuar como un refugio que retrasa la resistencia. De hecho, se ha informado de la existencia de resistencia cruzada en muchas poblaciones estudiadas (Bernardi et al., 2015; A. Gassmann, 2021; Jakka et al., 2016; Ludwick et al., 2017; Machado et al., 2020; Zukoff et al., 2016).

En los Estados Unidos, con la pérdida de cosechas en muchos estados en los últimos años (Gassmann et al., 2011; Ludwick et al., 2017; Wangila et al., 2015), la cuestión se ha convertido en un problema tal que recientemente se propuso la eliminación de todos los productos con una sola toxina Bt y de todas las toxinas piramidales que no llevan la toxina Vip3Aa Bt (Progressive Farmer, 2020; United States Environmental Protection Agency, 2021). Por ejemplo, recientemente se ha detectado la resistencia del gusano del maíz americano (*Helicoverpa zea*, conocido como gusano elotero o isoca de la espiga), con un 80% de las poblaciones de campo entre 13 y 150 veces más resistentes a la toxina Bt Cry1Ab (Niu et al., 2021).

Los agricultores informan de un descenso significativo en el rendimiento de las variedades transgénicas, y ahora solo queda una toxina Bt, la Vip3Aa, para esta tecnología. Vip3Aa es la única toxina a la que las plagas no han desarrollado aun una resistencia generalizada. Cualquier resistencia generalizada a esta toxina supondría un golpe mortal a la supervivencia de la tecnología. De hecho, ya están apareciendo señales de que la Vip3Aa puede estar perdiendo su fuerza. Los primeros casos de resistencia en el campo se han documentado en los Estados Unidos (Yang et al., 2019, 2020, 2021) en el gusano de la mazorca, una importante plaga del maíz, con frecuencias de resistencia que aumentaron de 2016 a 2020 (Yang et al., 2019).

Los factores críticos para retrasar la resistencia incluyen: (1) una estrategia de refugio de alta dosis; que además depende de que (2) las mutaciones de resistencia sean recesivas; (3) una baja frecuencia inicial de mutaciones de resistencia en la población de la plaga; así como factores adicionales que incluyen (4) la resistencia

incompleta; y (5) los costes de aptitud de las plagas (Gould et al., 1997; Tabashnik et al., 2013). Está claro que estas estrategias no son infalibles. En primer lugar, una estrategia de refugio de alta dosis se basa en la esperanza de que cualquier mutación de resistencia será retrasada por dosis suficientemente altas de toxinas Bt para matar a las plagas en las que la mutación es recesiva. El objetivo es que las mutaciones no se propaguen rápidamente a las generaciones futuras mientras puedan reproducirse con las plagas susceptibles que, en teoría, deberían estar presentes en abundancia en las zonas de refugio. Se supone que las dosis altas de cultivos Bt son lo suficientemente letales como para matar a cualquier plaga que lleve una sola copia de una mutación resistente. Sin embargo, las bajas dosis de toxinas Bt en algunos de los primeros productos Bt se relacionaron con el desarrollo de la resistencia, comprometiendo la razón fundamental de la estrategia de refugio de alta dosis (Tabashnik & Carrière, 2015). Además, la expresión de los transgenes puede variar en función de las condiciones ambientales, las fases de crecimiento, el órgano de la planta y la variedad del cultivo, de modo que es difícil garantizar el control de estas variables para optimizar la eficacia. En los casos en que las variedades no aprobadas se cruzan con variedades no registradas, esto podría agravar la situación.

En segundo lugar, la estrategia de refugio en dosis altas también se basa en que las mutaciones de resistencia sean recesivas. Es decir, para que la resistencia se transmita a la descendencia, se requiere una copia de una mutación de resistencia de ambos progenitores en lugar de una sola (una mutación dominante), con lo que la propagación en la población es más lenta. Sin embargo, se han documentado mutaciones dominantes en el campo (Campagne et al., 2013; Tabashnik et al., 2009).

En tercer lugar, se busca una baja frecuencia inicial de mutaciones resistentes en una población de plagas para retrasar su propagación. Sin embargo, esto no puede predecirse ni garantizarse antes de la aprobación de un cultivo Bt, ya que requiere pruebas moleculares detalladas en el campo, y no siempre se demuestra que la frecuencia sea baja (e.g., Gould et al., 1997).

En cuarto lugar, no está garantizada la resistencia incompleta, en la que los insectos aún pueden completar su desarrollo en un cultivo Bt pero sufren una desventaja que les impide sobrevivir. También se ha documentado la evolución de la resistencia completa en el campo (Gassmann et al., 2020).

En quinto lugar, también se ha documentado una falta de costes de aptitud en las plagas objetivo (Garlet et al., 2022; Kruger et al., 2014). Además, los costes de aptitud están mediados por una serie de factores que incluyen las especies de plantas hospedadoras, los aleloquímicos, los patógenos y los parámetros a nivel individual o poblacional. Esto añade complejidad e imprevisibilidad, de modo que no se puede confiar en los costes de aptitud como factor mediador para retrasar la resistencia. (Bird & Akhurst, 2007; Chen et al., 2019; Gassmann et al., 2006; Raymond et al., 2005; Wang et al., 2016). Estas complejidades ponen en tela de juicio la afirmación de que los agricultores disponen de un conjunto de herramientas eficaces para gestionar la resistencia en los cultivos Bt. Los factores externos están fuera del control de los agricultores.

La cuestión de la resistencia de la oruga militar tardía es especialmente pertinente, teniendo en cuenta el posible despliegue de los cultivos Bt para combatir las infestaciones en África y potencialmente en Asia, si la plaga se establece allí en el futuro. Se ha detectado resistencia a todas las toxinas Bt menos a una, con poblaciones resistentes que han surgido en Estados Unidos, Puerto Rico, Brasil y Argentina, incluyendo resistencia cruzada a múltiples toxinas (Bernardi et al., 2015). En 2014 se registraron niveles significativos de resistencia en los cultivos de Estados Unidos. con tasas de entre el 10 y el 29% en diferentes regiones (Huang et al., 2014; Vélez et al., 2013). La resistencia desarrollada en Brasil en los cultivos Bt Cry1F (Farias et al., 2014) y Cry1Ab (Omoto et al., 2016) dio lugar a altas tasas de supervivencia en plantas de maíz y algodón que producen proteínas Bt piramidales (Bernardi et al., 2015; Santos-Amaya et al., 2016).

Además, un nuevo estudio ha descubierto que la resistencia a dos cultivos Bt que portan múltiples toxinas Bt (Cry1F/Cry1A.105/

Cry2Ab2 y Cry1A.105/Cry2Ab2) resultó en una compleja gama de efectos sobre la aptitud, con beneficios de aptitud cuando se alimentan de maíz y algodón no Bt, y algunos costes de aptitud cuando se alimentan de algunos huéspedes Bt (Garlet et al., 2022). Los autores concluyeron que la resistencia en la oruga militar tardía no está vinculada a costes de aptitud sustanciales, por lo que dichas poblaciones pueden persistir una vez presentes en el campo.

Por lo tanto, la resistencia es una amenaza importante para la longevidad de las tecnologías Bt, y una limitación que socava la justificación de una mayor expansión en nuevas especies de cultivos o en nuevos países. Aunque existe un campo de investigación activo para entender los mecanismos de resistencia con el fin de diseñar estrategias para combatir el problema, la comprensión sobre cómo exactamente ejercen su toxicidad las toxinas Bt, y sobre cómo se desarrolla la resistencia, siguen siendo incompleta (Liu et al., 2021).

Además, la tendencia a centrarse únicamente en las mutaciones como mecanismo de desarrollo de la resistencia omite otras complejidades. Un nuevo estudio, por ejemplo, ha descubierto que la rápida propagación de un virus en el gusano rosado aumenta la supervivencia del gusano en el algodón Bt (que emite la toxina Cry1Ac). El virus, que puede propagarse verticalmente a la descendencia u horizontalmente a las plagas vecinas, reduce los costes de aptitud asociados a las mutaciones de resistencia (Xiao et al., 2021). La falta de conocimiento sobre los mecanismos de resistencia también puede tener consecuencias en la forma de detectar y controlar la resistencia, lo que puede llevar a una infradetección.

Realidad del (in)cumplimiento de los refugios por los agricultores

El uso de refugios ha sido un componente central en los cultivos Bt como práctica necesaria para retrasar el desarrollo de la resistencia. La zona de refugio se planta con cultivos no Bt para

que las plagas de la zona de refugio no desarrollen resistencia. El objetivo es que estas plagas susceptibles se apareen con las plagas resistentes en la zona plantada con Bt, frenando así el desarrollo de plagas resistentes a las toxinas Bt de las plantas transgénicas.

Sin embargo, las estrategias de refugio han sido criticadas por ser incapaces de ofrecer una solución única para todos. La modelización excesivamente entusiasta de la eficacia en condiciones ideales ha sido uno de los factores que ha promovido la reducción de los requisitos de los refugios en Estados Unidos, pero la supuesta eficacia no se ha reflejado en las condiciones del mundo real. No se han tenido en cuenta las complejidades. Por ejemplo, los refugios naturales, es decir, las zonas cercanas con hierbas silvestres, o los cultivos no modificados genéticamente que pueden servir como fuente de refugio para las plagas, han mostrado una capacidad de retrasar la resistencia menor de la esperada. Además, las reducciones en la durabilidad de los cultivos de doble toxina cuando las plagas ya son resistentes a una de las toxinas, han impedido que las elevadas pretensiones lleguen a la realidad en muchos casos (Tabashnik & Carrière, 2015).

Las superficies totales dedicadas a los refugios varían, ya que algunos países exigen o recomiendan esta práctica, y los requisitos difieren para determinados cultivos y plagas. Sudáfrica, por ejemplo, tiene unos requisitos mínimos de refugio del 5%, India tiene unos requisitos del 20%, mientras que las normas de Estados Unidos varían en función del cultivo y de si se trata de una variedad única o apilada. Las empresas de transgénicos y los científicos han discrepado a lo largo de los años sobre los requisitos de refugio, y en el pasado las empresas han solicitado la eliminación de los requisitos de refugio que socavan las ventas totales de semillas transgénicas, promoviendo en su lugar el uso de refugios naturales (Charles, 2020; Farm Progress, 2006).

Además, el cumplimiento de los refugios puede ser un reto por una serie de razones, especialmente en las pequeñas explotaciones con un espacio de cultivo limitado. La falta de cumplimiento ha sido un problema generalizado en todos los países, incluidos los

Estados Unidos, la India, Sudáfrica y Brasil, y esto está relacionado con el posterior desarrollo de plagas resistentes (Dhurua & Gujar, 2011; Mohan et al., 2016; Monnerat et al., 2015; Naik et al., 2018; Storer et al., 2010).

Los agricultores brasileños que solicitaron compensaciones en 2014 por el fracaso de la protección contra las plagas objetivo se quejaron de la falta de disponibilidad de semillas no transgénicas para la siembra de refugio (Stauffer, 2014). En Pakistán (Alvi et al., 2012) y la India (Kukanur et al., 2018) parece común que los pequeños agricultores no planten refugios. Cuando los precios de las semillas son altos, el algodón puede plantarse durante todo el año, lo que da a las poblaciones de plagas una mayor oportunidad de desarrollar resistencia y transmitirla a las generaciones futuras.

Como señala Van den Berg (2016), debido al incumplimiento en Sudáfrica: *“Para retrasar la evolución de la resistencia, se necesitan estrategias novedosas de MRI [gestión de la resistencia de los insectos] que sean apropiadas para su uso en la agricultura a pequeña escala”,* incluyendo estrategias que sean económicamente viables, socialmente aceptables y fáciles de aplicar (Van den Berg, 2016).

A medida que se desarrolla la resistencia, las recomendaciones o los requisitos han pasado a aumentar el tamaño de los refugios. Los científicos sudafricanos han recomendado recientemente la plantación de un 50% de refugios para el maíz transgénico como medio para retrasar la resistencia a la oruga militar tardía, recientemente invasivo, en el caso de los cultivos que emiten una sola toxina Bt, y un 20% en el caso de las variedades apiladas (Van den Berg et al., 2021). Los autores advierten que la estrategia de refugios del 5% propuesta en Kenia para los futuros cultivos de maíz será probablemente inadecuada. Además, las propuestas de utilizar plantas silvestres como refugio para el maíz Bt en África para combatir el barrenador del tallo africano han sido calificadas de inadecuadas y un estudio reciente señala que *“las estrategias actuales de MRI y la dependencia de plantas huéspedes silvestres como refugio en la mayor parte del mundo en desarrollo [no] son apropiadas para los sistemas agrícolas pequeños”* (Van den Berg, 2016).

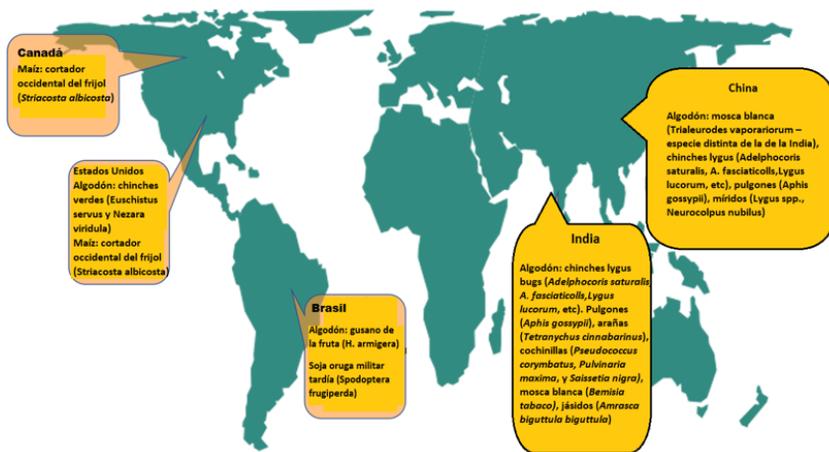
Aunque el uso robusto y a gran escala de refugios sin Bt puede proporcionar una solución teórica parcial para retrasar la resistencia, la experiencia hasta la fecha sugiere que, en realidad, tales estrategias son inapropiadas o a menudo están fuera del alcance de los agricultores sobre el terreno, en particular de los pequeños agricultores. Dado que los sistemas agrícolas de los pequeños agricultores suelen adoptar prácticas de autoorganización, como el ahorro de semillas, y prácticas como la ubicación de pequeñas parcelas en las proximidades de campos vecinos, la probabilidad de resistencia aumenta aún más como resultado del flujo de genes del maíz transgénico al no transgénico. Esto se ha documentado en explotaciones de maíz Bt en Zambia (Bøhn et al., 2016), diluyendo las toxinas Bt y, por tanto, agravando el desarrollo de la resistencia.

Estos determinantes clave de la eficacia del Bt no pueden ser simplemente ignorados, ni se puede esperar que se transfieran de los sistemas industrializados, como en los Estados Unidos, donde los agricultores también enfrentan desafíos a su eficacia y adherencia.

Aumento de las plagas secundarias

Además del aumento de la resistencia, hay otros problemas que afectan a la eficacia a largo plazo de las tecnologías de los cultivos Bt. Los ataques de plagas secundarias son ahora un problema bien reconocido, asociado a la adopción de cultivos Bt, que requiere el uso de plaguicidas sintéticos y, por tanto, aumenta los costes de los agricultores (véase la figura 2). Las infestaciones secundarias de plagas son el efecto indirecto de la eliminación de las plagas primarias de los cultivos, un problema previsible que ya se experimentó con plaguicidas sintéticos como el DDT hace décadas (Castle et al., 1996; Eveleens et al., 1973).

Figura 2. Resumen global de las infestaciones de plagas secundarias documentadas en los campos de cultivo Bt



Las toxinas Bt sólo se dirigen a un número limitado de plagas, lo que deja a los cultivos susceptibles a muchas otras especies de plagas potenciales. A pesar de la importancia de esta cuestión, que puede determinar el éxito o el fracaso de una cosecha, solo ha recibido una atención limitada. A lo largo de los años, los agricultores han informado de numerosos problemas. El aumento de las plagas secundarias se ha atribuido a una serie de problemas asociados a la tecnología, como la reducción inicial de los plaguicidas de amplio espectro, la reducción de las poblaciones de enemigos naturales y la disminución de la competencia interespecífica entre las plagas objetivo (Catarino et al., 2015).

En China y la India, donde el algodón es uno de los principales cultivos comerciales, se han documentado repetidamente infestaciones de plagas secundarias durante más de una década, con un aumento de plagas como las chinches (*Lygus* spp., *Neurocolpus nubilus*), los pulgones (e.g. *Aphis gossypii*), los trips (*Thrips tabaci*), las cochinillas (e.g. *Pseudococcus corymbatus*, *Pulvinaria maxima* y *Saissetia nigra*), los jásidos (*Amrasca biguttula biguttula*), chinches lygus (*Adelphocoris saturalis*, *A. fasciaticollis*, *Lygus lucorum*, etc) y las moscas blancas (por ejemplo *Trialeurodes vaporariorum*

Westwood y *Bemisia tabaci* Genn), incluidas especies nuevas que no se habían registrado anteriormente en la región, como las infestaciones de cochinilla blanca en la India (Hagenbucher et al., 2013; K. R. Kranthi, 2014; Lu et al., 2010; Nagrare et al., 2009; Nair & Bhardwaj, 2015; Wang et al., 2008; Yang et al., 2005).

Las infestaciones secundarias de plagas han echado por tierra las afirmaciones de que las tecnologías Bt dan lugar a una reducción de los insumos de plaguicidas y, por tanto, a una reducción de los costes de los agricultores, ya que estos informan de que no se ha reducido la aplicación de plaguicidas (Men et al., 2005). Una encuesta realizada en 2011 entre 1.000 agricultores chinos de cinco provincias descubrió un aumento de numerosas plagas secundarias, como pulgones (*Aphis gossypii*), arañas (*Tetranychus cinnabarinus*), y chinches (*Adelphocoris saturalis*, *A. fasciaticollis*, *Lygus lucorum*, etc.) (Zhao et al., 2011). Del mismo modo, en la India, las pruebas recogidas hace más de una década no mostraron ninguna reducción en el uso de plaguicidas, en consonancia con los agricultores que atribuyen los daños por plagas a los pulgones y otros insectos chupadores que no son objetivo de las toxinas Bt (Ramaswami et al., 2012). Las plagas secundarias y los problemas de resistencia relacionados con la falta de gestión de la resistencia, sobre todo en los sistemas de pequeños agricultores que carecen de espacio para la siembra de refugios y de una menor infraestructura de coordinación y regulación, han hecho que la disminución inicial del uso de insecticidas con los cultivos Bt no se mantenga. (PAN UK, 2017).

En los Estados Unidos, la adopción del algodón Bt ha provocado un aumento de las plagas dañinas de chinches verdes (por ejemplo, *Euschistus servus* y *Nezara viridula*), chicharrita del maíz (*Dalbulus maidi*) y chinches (*Lygus* spp., *Neurocolpus nubilus*) (Naranjo, 2011; Zeilinger et al., 2016). Tanto en Estados Unidos como en Canadá, el gusano cortador occidental del frijol (*Striacosta albicosta*) se ha convertido en una plaga cada vez más importante para el maíz Bt. (Catangui & Berg, 2006; Dorhout & Rice, 2010; Lindroth et al., 2012; Smith et al., 2018). Brasil ha sufrido infestaciones del gusano de la fruta (*Helicoverpa armigera*), una plaga que antes no se asociaba

a las Américas (Tay et al., 2013). El país también está viendo ahora un aumento de la oruga militar tardía en los cultivos de soja, una especie que no se consideraba una plaga de la soja hasta principios de la década de 2000. Esta situación probablemente se deba a los cambios en los sistemas de cultivo asociados a la disminución de las prácticas de control de plagas de insectos, junto con la adopción generalizada de cultivos transgénicos (Horikoshi et al., 2021).

Otros retos

La aparición de los cultivos Bt se vendió como una medida progresista desde el punto de vista medioambiental que reduciría el uso de plaguicidas. Sin embargo, este argumento falaz ignora el hecho fundamental de que, en lugar de reducir el uso de plaguicidas, los cultivos Bt alteran el modo de aplicación de plaguicidas, pasando de aplicaciones externas a la producción interna dentro del cultivo. De este modo, los cultivos emiten las toxinas Bt durante toda la temporada de crecimiento, independientemente de la presencia de plagas, lo que conduce a una exposición crónica de todos los organismos que se alimentan de estas plantas (Hilbeck et al., 2020). Incluso la afirmación de que se ha reducido el uso de plaguicidas externos no está respaldada por las últimas pruebas. La toxicidad general de los plaguicidas aplicados en los Estados Unidos ha aumentado, sin que se haya reducido el uso (masivo) de insecticidas aplicados al maíz Bt frente al maíz no Bt entre 2000 y 2016 (Schulz et al., 2021).

Los tratamientos de semillas también se están expandiendo a nivel mundial, pero no se incluyen en las encuestas sobre la aplicación de plaguicidas en Estados Unidos (Douglas & Tooker, 2015). Aproximadamente el 43% de la masa total de insecticidas aplicados al maíz fue en forma de aplicación de semillas de neonicotinoides. Como señalan Douglas y Tooker (2015): *“Varios análisis sobre la influencia de los cultivos Bt en los patrones de uso de plaguicidas no parecen haber considerado los tratamientos de semillas, por lo que pueden haber exagerado las reducciones en el uso de insecticidas (especialmente la ‘superficie tratada’) asociadas a esta tecnología.”*

Según Mullin et al. (2005), los tratamientos de semillas se centran cada vez más en las semillas modificadas genéticamente. Leslie et al. (2009) también señalan que: *“Todas las variedades de maíz de campo Bt disponibles comercialmente, dirigidas a la Diabrotica que ataca la raíz, contienen tratamientos de semillas con neonicotinoides”*, describiéndolo como una *“tecnología acoplada”*. Al igual que las toxinas Bt, que son emitidas por los cultivos Bt independientemente de la presión de la plaga, las semillas tratadas son también una medida profiláctica, corriendo el riesgo de desarrollar resistencia por la mayor presión de la exposición constante.

Los cultivos Bt también están asociados a otros insumos y prácticas *“acoplados”*, como el uso de fertilizantes y el riego. Para los agricultores con pocos recursos, estos insumos no suelen estar disponibles. Así, por ejemplo, la plantación de cultivos Bt en explotaciones sin riego ha provocado pérdidas de cosechas (Kranthi & Stone, 2020a). Los éxitos del algodón Bt se atribuyen más bien a las explotaciones que pueden financiar un mayor despliegue de mano de obra, riego e insumos químicos (Kranthi, 2016), más que al propio cultivo Bt.

Como explican Kranthi y Stone (2020a), el aumento del uso de fertilizantes en las regiones productoras de algodón de la India ha aumentado la presión financiera sobre los agricultores ya marginados y con pocos recursos. Estos agricultores, en lugar de convertirse en beneficiarios de las mejoras agronómicas, se están atrincherando aún más en un modelo agrícola intensivo que está empujando a muchos agricultores a más ciclos de deuda y angustia.

Capítulo 4

Cultivos Bt: ¿Un asalto a los sistemas agrícolas de los pequeños agricultores?

LAS limitaciones asociadas a las tecnologías de los cultivos Bt, desde el desarrollo de resistencias, la infestación secundaria de plagas y la falta de cumplimiento de los refugios hasta el consiguiente aumento de los costes de los insumos asociados a los cultivos Bt, han tenido efectos bien documentados en los pequeños agricultores de los países en desarrollo.

La transición de la India al algodón Bt se produjo después de la Revolución Verde, que ya había alterado drásticamente las prácticas agrícolas e introducido nuevas tecnologías e insumos, con unos costes soportados por los agricultores pequeños y marginales (Kannuri & Jadhav, 2021). El cultivo de Bt se ha convertido en un elemento tóxico adicional que contribuye al endeudamiento de los agricultores en medio de una crisis agraria más amplia en la India. Las malas cosechas siguen afectando a los productores de algodón (Kumar, 2008; Nair & Bhardwaj, 2015; Singh, 2021; Singh, 2022) y los rendimientos se han estancado tras 20 años de cultivo, acompañados de un mayor uso de pesticidas y fertilizantes, y de la angustia y el endeudamiento de los agricultores (Gutierrez et al., 2015, 2020; Kranthi & Stone, 2020a, 2020b; Najork et al., 2021).

Los suicidios de agricultores se han relacionado directamente con las pérdidas de cosechas en explotaciones de secano (Gutierrez et al., 2015)- La tecnología no es adecuada para las zonas de secano en comparación con las variedades autóctonas no Bt. Los informes de las familias de los que se han quitado la vida revelan la deuda financiera que sufren los agricultores que intentan recuperarse

de las infestaciones de plagas y de los fracasos de las cosechas (Kannuri & Jadhav, 2021). Esto supone un mayor riesgo para los agricultores, que no tienen más remedio que comprar el algodón híbrido Bt, porque ha copado completamente el mercado (Siddiqi, 2020).

La economía política del algodón Bt en la India ha sido descrita recientemente por Najork et al. (2021) como una forma de “obsolescencia sociobiológica” que desposee sistemáticamente a los agricultores y concentra la riqueza en un nivel superior del sector agrícola. Las limitaciones inherentes a los problemas de resistencia impiden que la tecnología sea una opción sostenible para los agricultores. No obstante, los productos se presentan a los pequeños agricultores como un medio para aumentar los beneficios.

La introducción del algodón Bt también se promocionó como la panacea para los problemas a los que se enfrentaban los pequeños agricultores de Sudáfrica, proporcionando “munición crucial” para promover los cultivos transgénicos en el continente africano (Schnurr, 2012). El proyecto respaldado por USAID, que prometía sacar a los agricultores de la pobreza, resultó ser efímero, ya que la mayoría de los pequeños agricultores interrumpieron la adopción del cultivo debido a la imposibilidad de pagar las deudas. Un estudio de cinco años realizado por la sociedad civil sudafricana informó de las pérdidas de ingresos de los agricultores (GRAIN, 2005). Con los precios de las semillas que duplican los de las variedades convencionales, agravados por las sequías y los bajos precios del algodón, los cultivos Bt agravaron, en lugar de revertir, los problemas de endeudamiento de los agricultores de la región de Makhathini Flats.

Burkina Faso es otro país que ha experimentado consecuencias agronómicas y económicas adversas por cultivar algodón Bt. En este primer punto de entrada de los cultivos transgénicos en África Occidental, los promotores anunciaron la autorización con una narrativa de éxito. Sin embargo, los conflictos de intereses, los problemas de integridad de los datos y los problemas

metodológicos condujeron a informes sobre rendimientos inflados y a una gran variabilidad en los rendimientos que no se comunicó adecuadamente. Los problemas de rendimiento se agravaron en el caso de los agricultores más pobres, que no podían comprar fertilizantes; también tenían el problema adicional de tener que recomprar las semillas cuando no germinaban. Estas dinámicas locales no se tuvieron en cuenta en las evaluaciones de los promotores de los supuestos éxitos. Como describen Luna y Dowd-Uribe (2020), las dinámicas de poder hicieron que los promotores transnacionales del algodón Bt en Burkina Faso dieran forma a las primeras narrativas, que en última instancia sirvieron a sus ganancias, y cuyas elevadas proyecciones apoyaron los altos precios de las semillas Bt.

En realidad, la tecnología redujo la calidad agronómica de la cosecha, que sufrió una grave disminución de la longitud de las fibras y de la proporción de desmotado. La industria algodonera de Burkina Faso, conocida por su algodón de alta calidad, sufrió graves consecuencias económicas por las pérdidas del mercado. A pesar de los fracasos que se produjeron en el proceso de desarrollo de la tecnología, la carga de los costes económicos recayó en los pequeños agricultores en lugar de en los desarrolladores (Luna & Dowd-Uribe, 2020).

El último desarrollo del cultivo de caupí Bt suscita una preocupación adicional con respecto a la ingeniería de plantas de cultivo autóctonas, especialmente en un centro de diversidad. La posible aprobación del caupí Bt está siendo impugnada en un caso legal en Ghana por organizaciones de la sociedad civil (Food Sovereignty Ghana, 2022) por considerar que estas autorizaciones suponen una amenaza para los sistemas de cultivo autóctonos (ACB, 2015; HOMEF & ACB, 2022). El caupí es un cultivo cuya importancia económica y cultural se extiende a las comunidades diaspóricas de América/Caribe y Europa.

Las posibles aprobaciones también han suscitado preocupaciones de bioseguridad en torno a la falta de datos de seguridad, así como los hallazgos publicados por los desarrolladores que revelan una

serie de problemas de bioseguridad. Entre ellos se encuentran los efectos no deseados a nivel molecular (por ejemplo, la inestabilidad de los transgenes), que pueden repercutir en los organismos no objetivo, la reducción de la fertilidad del suelo, los posibles efectos sobre la salud, incluido el aumento de las respuestas inmunitarias, así como la contaminación de las variedades autóctonas y silvestres no modificadas genéticamente a través del flujo de genes. (Then et al., 2022).

La introducción de los cultivos Bt (y de los cultivos transgénicos en general) plantea importantes implicaciones para los sistemas de los pequeños agricultores. Como ponen de manifiesto los ejemplos de resistencia a las plagas y los fracasos de los cultivos mencionados anteriormente, las afirmaciones occidentales sobre los éxitos no son en absoluto un reflejo exacto de las experiencias vividas. Sigue habiendo serias dudas sobre la idoneidad para los pequeños agricultores de una tecnología diseñada para los sistemas occidentales (Schnurr & Dowd-Urbe, 2021).

Además de los problemas de eficacia asociados a la tecnología, también se cuestiona su idoneidad, ya que la tecnología se ha diseñado sin un conocimiento suficiente de los sistemas agrícolas a los que está destinada. Por ejemplo, como señalan Schnurr y Dowd-Urbe (2021), el caupí Bt está diseñado para evitar el barrenador de la vaina de la legumbre, pero esta plaga es más frecuente en una región de Burkina Faso en la que no se cultiva mucho el caupí, lo que pone en duda el beneficio y, por tanto, la rentabilidad de la adopción del cultivo. Además, otras plagas no atacadas por las toxinas Bt se consideran una amenaza más generalizada para el caupí en todo el país. No obstante, se presentan proyecciones poco realistas de ganancias de rendimiento (Schnurr & Dowd-Urbe, 2021).

Los cultivos transgénicos más comunes, incluidas las variedades Bt, siguen siendo cultivos básicos diseñados para sistemas industrializados. Aunque los nuevos cultivos Bt incluyen algunas variedades de cultivos autóctonos, preocupa que estos proyectos, aunque se promuevan para atender las necesidades

de los pequeños agricultores, sean en cambio un mecanismo para conseguir una mayor aceptación de los cultivos básicos y una mayor industrialización de la agricultura.

Las experiencias realizadas hasta la fecha con los cultivos Bt plantean serias dudas sobre la durabilidad de la tecnología, sobre todo en los contextos de los países en desarrollo, donde los insumos agrícolas adicionales, los requisitos de refugio y otras prácticas intensivas como el riego no siempre han sido realistas o viables. La compatibilidad de los cultivos Bt con las realidades de la agricultura en los países en desarrollo, donde puede haber dificultades para cumplir con las obligaciones de refugio debido al tamaño de las pequeñas explotaciones, está en duda.

Además, los sistemas de semillas campesinas se caracterizan por la capacidad de los agricultores de guardar, intercambiar y vender libremente las semillas guardadas en la granja, prácticas que suministran la mayoría de las semillas en los países en desarrollo. La criminalización de la conservación de semillas acompaña al impulso de los cultivos transgénicos, amenazando estas prácticas necesarias para la autodeterminación en el ámbito agrícola. La entrada de los cultivos Bt requiere la reducción de estas prácticas para evitar el desarrollo de resistencias. No reconocer la realidad de la conservación de semillas también puede socavar la eficacia de los rasgos Bt, que pueden ser alterados al ser cultivados.

Capítulo 5

Observaciones finales

LOS sistemas de cultivo Bt se diseñaron para sistemas agrícolas industriales en los que, en parte, han proporcionado cierto éxito a corto plazo en determinados entornos. Sin embargo, incluso dentro de los sistemas industrializados, la tecnología está sucumbiendo a graves problemas de eficacia que amenazan su supervivencia. Esto ha llevado a los expertos agrícolas a buscar soluciones para los países que ahora están saturados de variedades de cultivos Bt, lo que ha creado una dependencia insana de este tipo de solución tecnológica a corto plazo para los eternos problemas de gestión de plagas.

Ante la escasez de cultivos que la industria puede presentar a los pequeños agricultores, parece que los cultivos Bt se presentan ahora como una solución rentable. Esto es así a pesar de que las experiencias en los países en vías de desarrollo muestran hasta ahora un éxito notablemente menor y, en repetidos casos, graves fracasos que han tenido consecuencias económicas para los agricultores, en particular para los pequeños agricultores que no disponen de los insumos adicionales necesarios para apoyar el cultivo de Bt.

Aunque esta última oferta a nuevos mercados en todo el mundo puede presentar nuevas oportunidades para la industria de los transgénicos, los pequeños agricultores corren el riesgo de tener que asumir de nuevo la responsabilidad de cualquier fracaso futuro si los cultivos Bt se adoptan más ampliamente (Glover et al., 2020). Las experiencias hasta la fecha son una clara advertencia

de cómo los cultivos Bt, y los cultivos transgénicos en general, han servido mejor a las corporaciones transnacionales, que sólo pueden continuar con el “dumping” de las viejas tecnologías en cualquier lugar donde la oportunidad lo permita.

Referencias

- ACB. (2015). GM and seed industry eye Africa's lucrative cowpea seed markets: The political economy of cowpea in Nigeria, Burkina Faso, Ghana and Malawi. African Centre for Biodiversity. <https://www.acbio.org.za/gm-and-seed-industry-eye-africas-lucrative-cowpea-seed-markets-political-economy-cowpea-nigeria>
- ACB. (2019, October 4). Resounding no to Monsanto's "bogus" GM drought tolerant maize. <https://www.acbio.org.za/resounding-no-monsantos-bogus-gm-drought-tolerant-maize>
- Ahmad, S. F., Gulzar, A., Tariq, M., & Asad, M. J. (2021). Field Evolved Resistance in *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) From Punjab, Pakistan Against Commercial Formulations of *Bacillus thuringiensis kurstaki*. *Journal of Economic Entomology*, 114(5), 2204-2213. <https://doi.org/10.1093/jee/toab137>
- Akhter, F. (2020). Bt brinjal: Alliance for Crooked Science & Corporate Lies. UBINIG (Policy Research for Development Alternative). <https://ubinig.org/index.php/home/showArticle/234/english/Farida-Akhter/Bt-brinjal:-Alliance-for-Crooked-Science-&-Corporate-Lies>
- Alvi, A. H. K., Sayyed, A. H., Naeem, M., & Ali, M. (2012). Field Evolved Resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to *Bacillus thuringiensis* Toxin Cry1Ac in Pakistan. *PLOS ONE*, 7(10), e47309. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047309>
- Alviar, K. B., Duza, G. M., Mainem, C. A. T., & Alcalde, G. T. (2021). Resistance Mechanism Exhibited by Selected Maize Varieties to Asian Corn Borer *Ostrinia furnacalis* Guenee (Lepidoptera: Crambidae), Philippines. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 43(2). <https://doi.org/10.17503/agrivita.v43i2.2917>
- Andae, G. (2022, May 23). Cotton production hit as supplier of GM seeds pulls out. Business Daily Africa. <https://www.businessdailyafrica.com/bd/markets/commodities/cotton-production-hit-as-supplier-of-gm-seeds-pulls-out-3823786>
- Bernardi, D., Salmeron, E., Horikoshi, R. J., Bernardi, O., Dourado, P. M., Carvalho, R. A., Martinelli, S., Head, G. P., & Omoto, C. (2015). Cross-Resistance between Cry1 Proteins in Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) May Affect the Durability of Current Pyramided Bt Maize Hybrids in Brazil. *PLOS ONE*, 10(10), e0140130. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140130>
- Bird, L. J., & Akhurst, R. J. (2007). Effects of host plant species on fitness costs of Bt resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biological Control*, 40(2), 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.11.004>
- Böhn, T., Aheto, D. W., Mwangala, F. S., Fischer, K., Bones, I. L., Simoloka, C., Mbeule, I., Schmidt, G., & Breckling, B. (2016). Pollen-mediated gene flow and seed exchange in small-scale Zambian maize farming, implications for biosafety assessment. *Scientific Reports*, 6(1), 34483. <https://doi.org/10.1038/srep34483>

- Campagne, P., Kruger, M., Pasquet, R., Le Ru, B., & Van den Berg, J. (2013). Dominant inheritance of field-evolved resistance to Bt corn in *Busseola fusca*. *PLOS ONE*, 8(7), e69675. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069675>
- Castle, S. J., Henneberry, T. J., & Toscano, N. C. (1996). Suppression of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) infestations in cantaloupe and cotton with sprinkler irrigation. *Crop Protection*, 15(7), 657-663. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(96\)00037-3](https://doi.org/10.1016/0261-2194(96)00037-3)
- Catangui, M. A., & Berg, R. K. (2006). Western Bean Cutworm, *Striacosta albicosta* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), as a Potential Pest of Transgenic Cry1Ab *Bacillus thuringiensis* Corn Hybrids in South Dakota. *Environmental Entomology*, 35(5), 1439-1452. <https://doi.org/10.1093/ee/35.5.1439>
- Catarino, R., Ceddia, G., Areal, F. J., & Park, J. (2015). The impact of secondary pests on *Bacillus thuringiensis* (Bt) crops. *Plant Biotechnology Journal*, 13(5), 601-612. <https://doi.org/10.1111/pbi.12363>
- Charles, D. (2020, October 29). As Biotech Crops Lose Their Power, Scientists Push For New Restrictions. NPR. <https://www.npr.org/2020/10/29/927111009/as-biotech-crops-lose-their-power-scientists-push-for-new-restrictions?t=1603985075480&t=1604310408788&t=1645704521851&t=1650385971915>
- Chen, D., Moar, W. J., Jerga, A., Gowda, A., Milligan, J. S., Bretsnyder, E. C., Rydel, T. J., Baum, J. A., Semeao, A., Fu, X., Guzov, V., Gabbert, K., Head, G. P., & Haas, J. A. (2021). *Bacillus thuringiensis* chimeric proteins Cry1A.2 and Cry1B.2 to control soybean lepidopteran pests: New domain combinations enhance insecticidal spectrum of activity and novel receptor contributions. *PLOS ONE*, 16(6), e0249150. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249150>
- Chen, X., Head, G. P., Price, P., Kerns, D. L., Rice, M. E., Huang, F., Gilreath, R. T., & Yang, F. (2019). Fitness costs of Vip3A resistance in *Spodoptera frugiperda* on different hosts. *Pest Management Science*, 75(4), 1074-1080. <https://doi.org/10.1002/ps.5218>
- Dhurua, S., & Gujar, G. T. (2011). Field-evolved resistance to Bt toxin Cry1Ac in the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae), from India. *Pest Management Science*, 67(8), 898-903. <https://doi.org/10.1002/ps.2127>
- G. P., Venugopal, P. D., & Finkenbinder, C. (2016). Field-Evolved Resistance in Corn Earworm to Cry Proteins Expressed by Transgenic Sweet Corn. *PLOS ONE*, 11(12), e0169115. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169115>
- Dorhout, D. L., & Rice, M. E. (2010). Intraguild competition and enhanced survival of western bean cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic Cry1Ab (MON810) *Bacillus thuringiensis* corn. *Journal of Economic Entomology*, 103(1), 54-62. <https://doi.org/10.1603/ec09247>
- Douglas, M. R., & Tooker, J. F. (2015). Large-Scale Deployment of Seed Treatments Has Driven Rapid Increase in Use of Neonicotinoid Insecticides and Preemptive Pest Management in U.S. Field Crops. *Environmental Science & Technology*, 49(8), 5088-5097. <https://doi.org/10.1021/es506141g>
- Dowd-Uribe, B., & Schnurr, M. A. (2016). Briefing: Burkina Faso's reversal on genetically modified cotton and the implications for Africa. *African Affairs*, 115(458), 161-172. <https://doi.org/10.1093/afraf/adv063>

- Eveleens, K. G., Van Den Bosch, R., & Ehler, L. E. (1973). Secondary Outbreak Induction of Beet Armyworm by Experimental Insecticide Applications in Cotton in California. *Environmental Entomology*, 2(4), 497-504. <https://doi.org/10.1093/ee/2.4.497>
- Farias, J. R., Andow, D. A., Horikoshi, R. J., Sorgatto, R. J., Fresia, P., dos Santos, A. C., & Omoto, C. (2014). Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection*, 64, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.019>
- Farm Progress. (2006, February 6). Monsanto proposes natural refuge for Bollgard II cotton. <https://www.farmprogress.com/management/monsanto-proposes-natural-refuge-bollgard-ii-cotton>
- Fatoretto, J. C., Michel, A. P., Silva Filho, M. C., & Silva, N. (2017). Adaptive Potential of Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Limits Bt Trait Durability in Brazil. *Journal of Integrated Pest Management*, 8(1). <https://doi.org/10.1093/jipm/pmx011>
- Fernandes, G. B., Silva, A. C. de L., Maronhas, M. E. S., Santos, A. da S. dos, & Lima, P. H. C. (2022). Transgene Flow: Challenges to the On-Farm Conservation of Maize Landraces in the Brazilian Semi-Arid Region. *Plants*, 11(5), 603. <https://doi.org/10.3390/plants11050603>
- Field Crop News. (2019). European Corn Borer Resistance to Bt Corn Found in Canada. <https://fieldcropnews.com/2019/05/european-corn-borer-resistance-to-bt-corn-found-in-canada/>
- Food Sovereignty Ghana. (2022). Human Rights Court Hears Ghana's First GMO Case. <http://foodsovereigntyghana.org/human-rights-court-hears-ghanas-first-gmo-case/>
- Garlet, C. G., Muraro, D. S., Godoy, D. N., Cossa, G. E., Hanich, M. R., Stacker, R. F., & Bernardi, O. (2022). Assessing fitness costs of the resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyramided Cry1 and Cry2 insecticidal proteins on different host plants. *Bulletin of Entomological Research*, 1-9. <https://doi.org/10.1017/S0007485321001152>
- Gassmann, A. (2021). Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm: Effects of Pest Biology, the Pest-Crop Interaction and the Agricultural Landscape on Resistance. *Insects*, 12(2), 136. <https://doi.org/10.3390/insects12020136>
- Gassmann, A. J. (2016). Resistance to Bt maize by western corn rootworm: Insights from the laboratory and the field. *Current Opinion in Insect Science*, 15, 111-115. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.001>
- Gassmann, A. J., Petzold-Maxwell, J. L., Keweshan, R. S., & Dunbar, M. W. (2011). Field-Evolved Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm. *PLOS ONE*, 6(7), e22629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022629>
- Gassmann, A. J., Shrestha, R. B., Kropf, A. L., St Clair, C. R., & Brenizer, B. D. (2020). Field-evolved resistance by western corn rootworm to Cry34/35Ab1 and other *Bacillus thuringiensis* traits in transgenic maize. *Pest Management Science*, 76(1), 268-276. <https://doi.org/10.1002/ps.5510>

- Gassmann, A. J., Stock, S. P., Carrière, Y., & Tabashnik, B. E. (2006). Effect of entomopathogenic nematodes on the fitness cost of resistance to Bt toxin cryIac in pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(3), 920-926. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-99.3.920>
- Glover, D., Kim, S. K., & Stone, G. D. (2020). Golden Rice and technology adoption theory: A study of seed choice dynamics among rice growers in the Philippines. *Technology in Society*, 60, 101227. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101227>
- Gongo, S. (2017). Burkina Faso Sees Cotton Output Rising 20% in 2017-18 Season. *Naija247news*. <https://naija247news.com/2017/04/22/burkina-faso-sees-cotton-output-rising-20-in-2017-18-season/>
- Gould, F., Anderson, A., Jones, A., Sumerford, D., Heckel, D. G., Lopez, J., Micinski, S., Leonard, R., & Laster, M. (1997). Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(8), 3519-3523. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.8.3519>
- GRAIN. (2005, April). Bt cotton in South Africa: The case of the Makhathini farmers. <https://grain.org/article/entries/492-bt-cotton-in-south-africa-the-case-of-the-makhathini-farmers>
- Gunning, R. V., Dang, H. T., Kemp, F. C., Nicholson, I. C., & Moores, G. D. (2005). New Resistance Mechanism in *Helicoverpa armigera* Threatens Transgenic Crops Expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac Toxin. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(5), 2558-2563. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.5.2558-2563.2005>
- Gutierrez, A. P., Ponti, L., Herren, H. R., Baumgärtner, J., & Kenmore, P. E. (2015). Deconstructing Indian cotton: Weather, yields, and suicides. *Environmental Sciences Europe*, 27(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0043-8>
- Gutierrez, A. P., Ponti, L., Kranthi, K. R., Baumgärtner, J., Kenmore, P. E., Gilioli, G., Boggia, A., Cure, J. R., & Rodríguez, D. (2020). Bio-economics of Indian hybrid Bt cotton and farmer suicides. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 139. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00406-6>
- Gutierrez-Moreno, R., Mota-Sanchez, D., Blanco, C. A., Chandrasena, D., Difonzo, C., Conner, J., Head, G., Berman, K., & Wise, J. (2020). Susceptibility of Fall Armyworms (*Spodoptera frugiperda* J.E.) from Mexico and Puerto Rico to Bt Proteins. *Insects*, 11(12), E831. <https://doi.org/10.3390/insects11120831>
- Hagenbucher, S., Wäckers, F. L., Wettstein, F. E., Olson, D. M., Ruberson, J. R., & Romeis, J. (2013). Pest trade-offs in technology: Reduced damage by caterpillars in Bt cotton benefits aphids. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1758), 20130042. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0042>
- Hilbeck, A., Defarge, N., Lebrecht, T., & Böhn, T. (2020). Insecticidal Bt Crops – EFSA’s Risk Assessment Approach for GM Bt Plants Fails by Design. <https://www.testbiotech.org/en/content/rages-subreport-insecticidal-bt-crops> (accessed on 17 December 2021).

- HOMEF, & ACB. (2022). Coalition demands a ban of Bt cowpea in Nigeria and neighbouring West African countries. <https://www.acbio.org.za/coalition-demands-ban-bt-cowpea-nigeria-and-neighbouring-west-african-countries>
- Horikoshi, R. J., Dourado, P. M., Berger, G. U., de S. Fernandes, D., Omoto, C., Willse, A., Martinelli, S., Head, G. P., & Corrêa, A. S. (2021). Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. *Scientific Reports*, 11(1), 15956. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95483-9>
- Huang, F., Qureshi, J. A., Meagher, R. L., Reising, D. D., Head, G. P., Andow, D. A., Ni, X., Kerns, D., Buntin, G. D., Niu, Y., Yang, F., & Dangal, V. (2014). Cry1F Resistance in Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*: Single Gene versus Pyramided Bt Maize. *PLOS ONE*, 9(11), e112958. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112958>
- ISAAA. (2018). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2018: Biotech Crops Continue to Help Meet the Challenges of Increased Population and Climate Change. ISAAA. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/download/isaaa-brief-54-2018.pdf>
- ISAAA. (2019). ISAAA Brief 55-2019: Executive Summary – Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>
- Jakka, S. R. K., Shrestha, R. B., & Gassmann, A. J. (2016). Broad-spectrum resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins by western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*). *Scientific Reports*, 6, 27860. <https://doi.org/10.1038/srep27860>
- Jin, L., Zhang, H., Lu, Y., Yang, Y., Wu, K., Tabashnik, B. E., & Wu, Y. (2015). Large-scale test of the natural refuge strategy for delaying insect resistance to transgenic Bt crops. *Nature Biotechnology*, 33(2), 169-174. <https://doi.org/10.1038/nbt.3100>
- Kahn, T. W., Duck, N. B., McCarville, M. T., Schouten, L. C., Schweri, K., Zaitseva, J., & Daum, J. (2021). A *Bacillus thuringiensis* Cry protein controls soybean cyst nematode in transgenic soybean plants. *Nature Communications*, 12(1), 3380. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23743-3>
- Kannuri, N. K., & Jadhav, S. (2021). Cultivating distress: Cotton, caste and farmer suicides in India. *Anthropology & Medicine*, 28(4), 558-575. <https://doi.org/10.1080/13648470.2021.1993630>
- Kranthi, K. (2016). Fertilizers Gave High Yields, Bt Only Provided Cover. http://www.cicr.org.in/pdf/Kranthi_art/Fertilizers_and_Bt.pdf
- Kranthi, K. R. (2014). Cotton production systems – Need for a change in India. *Cotton Statistics*, 38, 4-7.
- Kranthi, K. R., & Stone, G. D. (2020a). Long-term impacts of Bt cotton in India. *Nature Plants*, 6(3), 188-196. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0615-5>
- Kranthi, K. R., & Stone, G. D. (2020b). Kranthi and Stone reply. *Nature Plants*, 6(11), 1321-1322. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00790-0>

- Kruger, M., Van Rensburg, J. B. J., & Van den Berg, J. (2014). No fitness costs associated with resistance of *Busseola fusca* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically modified Bt maize. *Crop Protection*, 55, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.09.004>
- Kukanur, V. S., Singh, T. V. K., Kranthi, K. R., & Andow, D. A. (2018). Cry1Ac resistance allele frequency in field populations of *Helicoverpa armigera* (Hübner) collected in Telangana and Andhra Pradesh, India. *Crop Protection*, 107, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.01.008>
- Kumar, S. (2008, April 8). Agrarian crisis takes centrestage in Maharashtra's suicide belt. *Tribune India*. <https://www.tribuneindia.com/news/archive/nation/agrarian-crisis-takes-centrestage-in-maharashtra-s-suicide-belt-754839>
- Latham, J. R., Love, M., & Hilbeck, A. (2017). The distinct properties of natural and GM cry insecticidal proteins. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 33(1), 62-96. <https://doi.org/10.1080/02648725.2017.1357295>
- Leslie, T. W., Biddinger, D. J., Mullin, C. A., & Fleischer, S. J. (2009). Carabidae population dynamics and temporal partitioning: Response to coupled neonicotinoid-transgenic technologies in maize. *Environmental Entomology*, 38(3), 935-943. <https://doi.org/10.1603/022.038.0348>
- Lindroth, E., Hunt, T. E., Skoda, S. R., Culy, M. D., Lee, D., & Foster, J. E. (2012). Population Genetics of the Western Bean Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) Across the United States. *Annals of the Entomological Society of America*, 105(5), 685-692. <https://doi.org/10.1603/AN11084>
- Liu, L., Li, Z., Luo, X., Zhang, X., Chou, S.-H., Wang, J., & He, J. (2021). Which Is Stronger? A Continuing Battle Between Cry Toxins and Insects. *Frontiers in Microbiology*, 12, 665101. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.665101>
- Liu, Q., Hallerman, E., Peng, Y., & Li, Y. (2016). Development of Bt Rice and Bt Maize in China and Their Efficacy in Target Pest Control. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10), 1561. <https://doi.org/10.3390/ijms17101561>
- Lu, Y., Wu, K., Jiang, Y., Xia, B., Li, P., Feng, H., Wyckhuys, K. A. G., & Guo, Y. (2010). Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, 328(5982), 1151-1154. <https://doi.org/10.1126/science.1187881>
- Ludwick, D. C., Meihls, L. N., Ostlie, K. R., Potter, B. D., French, L., & Hibbard, B. E. (2017). Minnesota field population of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) shows incomplete resistance to Cry34Ab1/Cry35Ab1 and Cry3Bb1. *Journal of Applied Entomology*, 141(1-2), 28-40. <https://doi.org/10.1111/jen.12377>
- Luna, J. K., & Dowd-Uribe, B. (2020). Knowledge politics and the Bt cotton success narrative in Burkina Faso. *World Development*, 136, 105127. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105127>

- Machado, E. P., dos S. Rodrigues Junior, G. L., Führ, F. M., Zago, S. L., Marques, L. H., Santos, A. C., Nowatzki, T., Dahmer, M. L., Omoto, C., & Bernardi, O. (2020). Cross-crop resistance of *Spodoptera frugiperda* selected on Bt maize to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins in Brazil. *Scientific Reports*, 10(1), 10080. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67339-1>
- Maingi, D. (2020, May 7). How Biotechnologies are Shaping Kenya's Food Ecosystem. The Elephant. <https://www.theelephant.info/features/2021/05/07/how-biotechnologies-are-shaping-kenyas-food-ecosystem/>
- McCandless, L. (2016, March 29). \$4.8 million USAID grant to improve food security. Cornell Chronicle. <https://news.cornell.edu/stories/2016/03/48-million-usaid-grant-improve-food-security>
- Men, X., Ge, F., Edwards, C. A., & Yardim, E. N. (2005). The influence of pesticide applications on *Helicoverpa armigera* Hübner and sucking pests in transgenic Bt cotton and non-transgenic cotton in China. *Crop Protection*, 24(4), 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.cpro.2004.08.006>
- Mohan, K. S., Ravi, K. C., Suresh, P. J., Sumerford, D., & Head, G. P. (2016). Field resistance to the *Bacillus thuringiensis* protein Cry1Ac expressed in Bollgard® hybrid cotton in pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders), populations in India. *Pest Management Science*, 72(4), 738–746. <https://doi.org/10.1002/ps.4047>
- Monnerat, R., Martins, E., Macedo, C., Queiroz, P., Praça, L., Soares, C. M., Moreira, H., Grisi, I., Silva, J., Soberon, M., & Bravo, A. (2015). Evidence of field-evolved resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt corn expressing Cry1F in Brazil that is still sensitive to modified Bt toxins. *PLOS ONE*, 10(4), e0119544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119544>
- Mullin, C. A., Saunders, M. C., Leslie, T. W., Biddinger, D. J., & Fleischer, S. J. (2005). Toxic and Behavioral Effects to Carabidae of Seed Treatments Used on Cry3Bb1- and Cry1Ab/c-Protected Corn. *Environmental Entomology*, 34(6), 1626–1636. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.6.1626>
- Nagrare, V. S., Kranthi, S., Biradar, V. K., Zade, N. N., Sangode, V., Kakde, G., Shukla, R. M., Shivare, D., Khadi, B. M., & Kranthi, K. R. (2009). Widespread infestation of the exotic mealybug species, *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hemiptera: Pseudococcidae), on cotton in India. *Bulletin of Entomological Research*, 99(5), 537–541. <https://doi.org/10.1017/S0007485308006573>
- Naik, V. C., Kumbhare, S., Kranthi, S., Satija, U., & Kranthi, K. R. (2018). Field-evolved resistance of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae), to transgenic *Bacillus thuringiensis* (Bt) cotton expressing crystal 1Ac (Cry1Ac) and Cry2Ab in India. *Pest Management Science*, 74(11), 2544–2554. <https://doi.org/10.1002/ps.5038>
- Nair, R. J., & Bhardwaj, M. (2015, November 6). After pest attack, some Indian farmers shun GM cotton. Reuters. <https://www.reuters.com/article/india-cotton-gm-cotton-punjab-idINKCN0SV15T20151106>

- Najork, K., Friedrich, J., & Keck, M. (2022). Bt cotton, pink bollworm, and the political economy of sociobiological obsolescence: Insights from Telangana, India. *Agriculture and Human Values*. <https://doi.org/10.1007/s10460-022-10301-w>
- Najork, K., Gadela, S., Nadiminti, P., Gosikonda, S., Reddy, R., Haribabu, E., & Keck, M. (2021). The Return of Pink Bollworm in India's Bt Cotton Fields: Livelihood Vulnerabilities of Farming Households in Karimnagar District. *Progress in Development Studies*, 21(1), 68-85. <https://doi.org/10.1177/14649934211003457>
- Naranjo, S. E. (2011). Impacts of Bt Transgenic Cotton on Integrated Pest Management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(11), 5842-5851. <https://doi.org/10.1021/jf102939c>
- Niu, Y., Oyediran, I., Yu, W., Lin, S., Dimase, M., Brown, S., Reay-Jones, F. P. F., Cook, D., Reisig, D., Thrash, B., Ni, X., Paula-Moraes, S. V., Zhang, Y., Chen, J. S., Wen, Z., & Huang, F. (2021). Populations of *Helicoverpa zea* (Boddie) in the Southeastern United States are Commonly Resistant to Cry1Ab, but Still Susceptible to Vip3Aa20 Expressed in MIR 162 Corn. *Toxins*, 13(1), 63. <https://doi.org/10.3390/toxins13010063>
- Omoto, C., Bernardi, O., Salmeron, E., Sorgatto, R. J., Dourado, P. M., Crivellari, A., Carvalho, R. A., Willse, A., Martinelli, S., & Head, G. P. (2016). Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science*, 72(9), 1727-1736. <https://doi.org/10.1002/ps.4201>
- PAN UK. (2017). Is cotton conquering its chemical addiction? <https://www.pan-uk.org/site/wp-content/uploads/Cottons-chemical-addiction-FINAL-LOW-RES-2017.pdf>
- Progressive Farmer. (2020, September 9). Bt on the Chopping Block. <https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/crops/article/2020/09/29/epa-proposes-phasing-dozens-bt-corn>
- Pucci, J. (2021, April 14). Predictions, Advice for 2021 on Corn Rootworm, Bt Resistance. <https://www.croplife.com/crop-inputs/insecticides/predictions-advice-for-2021-on-corn-rootworm-bt-resistance/>
- Ramaswami, B., Pray, C. E., & Lalitha, N. (2012). The Spread of Illegal Transgenic Cotton Varieties in India: Biosafety Regulation, Monopoly, and Enforcement. *World Development*, 40(1), 177-188. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.04.007>
- Raymond, B., Sayyed, A. H., & Wright, D. J. (2005). Genes and environment interact to determine the fitness costs of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1571), 1519-1524. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3103>
- Santos-Amaya, O. F., Rodrigues, J. V. C., Souza, T. C., Tavares, C. S., Campos, S. O., Guedes, R. N. C., & Pereira, E. J. G. (2016). Resistance to dual-gene Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Selection, inheritance and cross-resistance to other transgenic events. *Scientific Reports*, 5(1), 18243. <https://doi.org/10.1038/srep18243>

- Santos-Vigil, K. I., Ilhuicatzí-Alvarado, D., García-Hernández, A. L., Herrera-García, J. S., & Moreno-Fierros, L. (2018). Study of the allergenic potential of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin following intra-gastric administration in a murine model of food-allergy. *International Immunopharmacology*, 61, 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2018.05.029>
- Schnurr, M. A. (2012). Inventing Makhathini: Creating a prototype for the dissemination of genetically modified crops into Africa. *Geoforum*, 43(4), 784-792. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2012.01.005>
- Schnurr, M. A., & Dowd-Urbe, B. (2021). Anticipating farmer outcomes of three genetically modified staple crops in sub-Saharan Africa: Insights from farming systems research. *Journal of Rural Studies*, 88, 377-387. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.08.001>
- Schulz, R., Bub, S., Petschick, L. L., Stehle, S., & Wolfram, J. (2021). Applied pesticide toxicity shifts toward plants and invertebrates, even in GM crops. *Science*, 372(6537), 81-84. <https://doi.org/10.1126/science.abe1148>
- Siddiqi, I. (2020, January 23). The flawed spin to India's cotton story. *The Hindu*. <https://www.thehindu.com/opinion/lead/the-flawed-spin-to-indias-cotton-story/article30627778.ece>
- Signorini, A. M., Abratti, G., Grimi, D., Machado, M., Bunge, F. F., Parody, B., Ramos, L., Cortese, P., Vesprini, F., Whelan, A., Araujo, M. P., Podworny, M., Cadile, A., & Malacarne, M. F. (2018). Management of Field-Evolved Resistance to Bt Maize in Argentina: A Multi-Institutional Approach. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6, 67. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00067>
- Singh, P. (2021, November 1). In Punjab and Haryana, Acres of Infestation Leave Cotton Farmers Devastated. *The Wire*. <https://thewire.in/agriculture/in-punjab-and-haryana-acres-of-infestation-leave-cotton-farmers-devastated>
- Singh, S. (2022, April 10). BT cotton seed price hiked, Punjab farmers miffed. *The Tribune*. <https://www.tribuneindia.com/news/punjab/bt-cotton-seed-price-hiked-farmers-miffed-384990>
- Smith, J. L., Baute, T. S., Sebright, M. M., Schaafsma, A. W., & DiFonzo, C. D. (2018). Establishment of *Striacosta albicosta* (Lepidoptera: Noctuidae) as a Primary Pest of Corn in the Great Lakes Region. *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1732-1744. <https://doi.org/10.1093/jee/toy138>
- Stauffer, C. (2014, July 28). Brazil farmers say GMO corn no longer resistant to pests. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-brazil-corn-pests-idUSKBN0FX1YG20140728>
- Storer, N. P., Babcock, J. M., Schlenz, M., Meade, T., Thompson, G. D., Bing, J. W., & Huckaba, R. M. (2010). Discovery and Characterization of Field Resistance to Bt Maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology*, 103(4), 1031-1038. <https://doi.org/10.1603/EC10040>
- Tabashnik, B. E. (2008). Delaying insect resistance to transgenic crops. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(49), 19029-19030. <https://doi.org/10.1073/pnas.0810763106>

- Tabashnik, B. E., Brévault, T., & Carrière, Y. (2013). Insect resistance to Bt crops: Lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology*, 31(6), 510-521. <https://doi.org/10.1038/nbt.2597>
- Tabashnik, B. E., & Carrière, Y. (2015). Successes and failures of transgenic Bt crops: Global patterns of field-evolved resistance. In M. Soberón, A. Gao, & A. Bravo (Eds.), *Bt resistance: Characterization and strategies for GM crops producing *Bacillus thuringiensis* toxins* (pp. 1-14). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780644370.0001>
- Tabashnik, B. E., & Carrière, Y. (2017). Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability. *Nature Biotechnology*, 35(10), 926-935. <https://doi.org/10.1038/nbt.3974>
- Tabashnik, B. E., Van Rensburg, J. B. J., & Carrière, Y. (2009). Field-evolved insect resistance to Bt crops: Definition, theory, and data. *Journal of Economic Entomology*, 102(6), 2011-2025. <https://doi.org/10.1603/029.102.0601>
- Tay, W. T., Soria, M. F., Walsh, T., Thomazoni, D., Silvie, P., Behere, G. T., Anderson, C., & Downes, S. (2013). A brave new world for an old world pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *PLOS ONE*, 8(11), e80134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080134>
- Then, C., Bauer-Panskus, A., Miyasaki, J., Cotter, J., Lebrecht, T., & Bøhn, T. (2020). Assessment of health risks associated with the consumption of products derived from genetically engineered plants with a combination of traits. https://www.testbiotech.org/sites/default/files/RAGES_report-%20combinatorial%20effects.pdf
- Then, C., Miyazaki, J., & Bauer-Panskus, A. (2022). Deficiencies in the Risk Assessment of Genetically Engineered Bt Cowpea Approved for Cultivation in Nigeria: A Critical Review. *Plants*, 11(3), 380. <https://doi.org/10.3390/plants11030380>
- Turnbull, C., Lillemo, M., & Hvoslef-Eide, T. A. K. (2021). Global Regulation of Genetically Modified Crops Amid the Gene Edited Crop Boom – A Review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 630396. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.630396>
- United States Environmental Protection Agency. (2021). EPA's Response to Comments Received on the September 9, 2020 Draft Proposal to Address Resistance Risks to Lepidopteran Pests of Corn and Cotton Containing the *Bacillus thuringiensis* (Bt) Plant-Incorporated Protectant (PIP) and Revised Framework for Industry Negotiations. <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPP-2019-0682-0052>
- Van den Berg, J. (2016). Insect Resistance Management in Bt Maize: Wild Host Plants of Stem Borers Do Not Serve as Refuges in Africa. *Journal of Economic Entomology*, tow276. <https://doi.org/10.1093/jee/tow276>
- Van den Berg, J., Hilbeck, A., & Bøhn, T. (2013). Pest resistance to Cry1Ab Bt maize: Field resistance, contributing factors and lessons from South Africa. *Crop Protection*, 54, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.010>
- Van den Berg, J., Prasanna, B. M., Midega, C. A. O., Ronald, P. C., Carrière, Y., & Tabashnik, B. E. (2021). Managing Fall Armyworm in Africa: Can Bt Maize Sustainably Improve Control? *Journal of Economic Entomology*, 114(5), 1934-1949. <https://doi.org/10.1093/jee/toab161>

- Vázquez-Barrios, V., Boege, K., Sosa-Fuentes, T. G., Rojas, P., & Wegier, A. (2021). Ongoing ecological and evolutionary consequences by the presence of transgenes in a wild cotton population. *Scientific Reports*, 11(1), 1959. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81567-z>
- Vélez, A. M., Spencer, T. A., Alves, A. P., Moellenbeck, D., Meagher, R. L., Chirakkal, H., & Siegfried, B. D. (2013). Inheritance of Cry1F resistance, cross-resistance and frequency of resistant alleles in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bulletin of Entomological Research*, 103(6), 700-713. <https://doi.org/10.1017/S0007485313000448>
- Wan, P., Huang, Y., Wu, H., Huang, M., Cong, S., Tabashnik, B. E., & Wu, K. (2012). Increased Frequency of Pink Bollworm Resistance to Bt Toxin Cry1Ac in China. *PLOS ONE*, 7(1), e29975. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029975>
- Wang, L., Xu, D., Huang, Y., Zhou, H., Liu, W., Cong, S., Wang, J., Li, W., & Wan, P. (2022). Mutation in the Cadherin Gene Is a Key Factor for Pink Bollworm Resistance to Bt Cotton in China. *Toxins*, 14(1), 23. <https://doi.org/10.3390/toxins14010023>
- Wang, Q. (2015). China's scientists must engage the public on GM. *Nature*, 519(7541), 7. <https://doi.org/10.1038/519007a>
- Wang, R., Tetreau, G., & Wang, P. (2016). Effect of crop plants on fitness costs associated with resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins Cry1Ac and Cry2Ab in cabbage loopers. *Scientific Reports*, 6, 20959. <https://doi.org/10.1038/srep20959>
- Wang, S., Just, D. R., & Andersen, P. P. (2008). Bt-cotton and secondary pests. *International Journal of Biotechnology*, 10(2/3), 113. <https://doi.org/10.1504/IJBT.2008.018348>
- Wangila, D. S., Gassmann, A. J., Petzold-Maxwell, J. L., French, B. W., & Meinke, L. J. (2015). Susceptibility of Nebraska Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) Populations to Bt Corn Events. *Journal of Economic Entomology*, 108(2), 742-751. <https://doi.org/10.1093/jee/tou063>
- Wilson, A. K. (2021). Will gene-edited and other GM crops fail sustainable food systems? In *Rethinking Food and Agriculture* (pp. 247-284). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816410-5.00013-X>
- Xiao, Y., Li, W., Yang, X., Xu, P., Jin, M., Yuan, H., Zheng, W., Soberón, M., Bravo, A., Wilson, K., & Wu, K. (2021). Rapid spread of a densovirus in a major crop pest following wide-scale adoption of Bt-cotton in China. *ELife*, 10, e66913. <https://doi.org/10.7554/eLife.66913>
- Yang, F., González, J. C. S., Little, N., Reising, D., Payne, G., Dos Santos, R. F., Jurat-Fuentes, J. L., Kurtz, R., & Kerns, D. L. (2020). First documentation of major Vip3Aa resistance alleles in field populations of *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) in Texas, USA. *Scientific Reports*, 10(1), 5867. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62748-8>

- Yang, F., González, J. C. S., Williams, J., Cook, D. C., Gilreath, R. T., & Kerns, D. L. (2019). Occurrence and Ear Damage of *Helicoverpa zea* on Transgenic *Bacillus thuringiensis* Maize in the Field in Texas, U.S. and Its Susceptibility to Vip3A Protein. *Toxins*, 11(2), 102. <https://doi.org/10.3390/toxins11020102>
- Yang, F., Kerns, D. L., Little, N. S., Santiago González, J. C., & Tabashnik, B. E. (2021). Early Warning of Resistance to Bt Toxin Vip3Aa in *Helicoverpa zea*. *Toxins*, 13(9), 618. <https://doi.org/10.3390/toxins13090618>
- Yang, P., Iles, M., Yan, S., & Jolliffe, F. (2005). Farmers' knowledge, perceptions and practices in transgenic Bt cotton in small producer systems in Northern China. *Crop Protection*, 24(3), 229-239. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.07.012>
- Zeilinger, A. R., Olson, D. M., & Andow, D. A. (2016). Competitive release and outbreaks of non-target pests associated with transgenic Bt cotton. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 26(4), 1047-1054. <https://doi.org/10.1890/15-1314>
- Zhao, J. H., Ho, P., & Azadi, H. (2011). Benefits of Bt cotton counterbalanced by secondary pests? Perceptions of ecological change in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1-4), 985-994. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1439-y>
- Zhu, Y. C., Blanco, C. A., Portilla, M., Adamczyk, J., Luttrell, R., & Huang, F. (2015). Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 122, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.007>
- Zukoff, S. N., Ostlie, K. R., Potter, B., Meihls, L. N., Zukoff, A. L., French, L., Eilersieck, M. R., Wade French, B., & Hibbard, B. E. (2016). Multiple Assays Indicate Varying Levels of Cross Resistance in Cry3Bb1-Selected Field Populations of the Western Corn Rootworm to mCry3A, eCry3.1Ab, and Cry34/35Ab1. *Journal of Economic Entomology*, 109(3), 1387-1398. <https://doi.org/10.1093/jee/tow073>

LOS cultivos modificados genéticamente para que contengan toxinas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* han sido promocionados por su capacidad para ahuyentar las plagas. Estos cultivos, llamados Bt, se promueven cada vez más en los países en desarrollo, a pesar de las crecientes dudas sobre su eficacia e idoneidad.

Según se informa, se está acelerando el desarrollo de resistencia entre las plagas objetivo a las toxinas Bt, mientras que las plantas también están siendo atacadas por plagas secundarias no objetivo. Además, el cultivo de Bt suele requerir insumos y prácticas agrícolas adicionales, lo que pone en duda su viabilidad para los agricultores con pocos recursos del Sur Global.

Este documento señala las dificultades asociadas a la presión de los partidarios del cultivo Bt para introducir en el mercado de los países en desarrollo una tecnología de eficacia y durabilidad cuestionables.

La Dra. Eva Sirinathsinghji es doctora en neurogenética e investigadora de bioseguridad con formación en ciencias biomédicas. Trabaja con sociedad civil sobre los riesgos de las tecnologías de ingeniería genética, incluidas las nuevas tecnologías de ingeniería genética. Ha sido miembro del Grupo Especial de Expertos Técnicos en Evaluación y Gestión de Riesgos establecido en el marco del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología.

LA SERIE BIOTECNOLOGÍA Y BIOSEGURIDAD

es una compilación de artículos publicados por Third World Network (Red del Tercer Mundo). Tiene como objetivo profundizar el entendimiento público de los aspectos ecológicos y de seguridad de las nuevas tecnologías, en particular de la ingeniería genética.