




AGRICULTURA

Malas hierbas resistentes

Varias especies de malezas eluden las técnicas avanzadas que intentan impedir su proliferación en los cultivos de todo el mundo

Jerry Adler

A photograph of a man in a red t-shirt using a wooden-handled hoe in a field. The scene is backlit by a bright sun, creating a silhouette effect on the man and the plants. The field is filled with various types of vegetation, including tall stalks and broad-leafed plants.

Regreso al pasado: Una cuadrilla de jornaleros en una granja de Arkansas debe recurrir a la antigua práctica de arrancar con la azada las malas hierbas que se han vuelto resistentes al glifosato, el principio activo del herbicida Roundup.

EN SÍNTESIS

Los herbicidas químicos mantienen a raya la naturaleza solo algún tiempo, ya que en última instancia las malas hierbas terminan por desarrollar resistencia a esos productos.

Las malezas han empezado a presentar resistencia al glifosato, el ingrediente principal del herbicida Roundup. Los cultivos de mayor importancia económica han sido modificados genéticamente para resistir la acción de este producto.

Los agrónomos deben buscar ahora nuevas estrategias para proteger las plantaciones. Mientras, algunos críticos sostienen que debe reexaminarse el empleo de la ingeniería genética.

Jerry Adler fue editor de la revista *Newsweek* desde 1979 hasta 2008. Ha escrito sobre diversos temas relacionados con la ciencia, entre ellos, los perfiles de Stephen Hawking y Sally K. Ride.



L

A SEGUNDA SEMANA DE NOVIEMBRE, EL CENTRO DE INDIANA SE CONVIERTE en un mosaico de colores tostados y negros: aquí un campo cubierto de rastrojo de maíz y plantas de soja; un poco más allá, la tierra desnuda, donde el agricultor ha enterrado los residuos de la cosecha del verano anterior. El suelo se halla preparado para el cultivo, y aun así, si nos acercamos podemos distinguir algunos brotes de malas hierbas crecidas en otoño: pamplinas, hierba cana y ortigas de color púrpura. En un invernadero del campus de la Universidad de Purdue (Indiana), Chad Brabham, estudiante de postgrado especializado en malherbología, selecciona dos tiestos, cada uno con una planta de medio metro de altura, con hojas trilobuladas serradas que emergen de un tallo grueso. Se trata de una especie que crece con frecuencia en los terre-

nos baldíos o junto a las carreteras de Norteamérica. *Ambrosia trifida*, la ambrosía gigante, es una mala hierba de aspecto desagradable, igual que su prima *A. artemisiifolia*, la ambrosía común, una planta que succiona gran cantidad de agua y produce polen alergénico.

Durante unos cincuenta años, esas plantas se han mantenido a raya gracias sobre todo al empleo de herbicidas químicos. Uno de los más utilizados ha sido el glifosato, el principio activo de algunos productos para erradicar malezas, como el Roundup de Monsanto. Brabham coloca las dos macetas en una cámara de pulverización y llena un pequeño depósito con una solución de la sal potásica de glifosato. Un cabezal aspersor deslizante atraviesa la cámara de extremo a extremo y empapa las hojas de color gris verdoso con una dosis que debería ser letal. Brabham retira las macetas y las devuelve a la mesa de cultivo. Lo que les suceda a estas malas hierbas en las próximas 24 horas reflejará, en un microcosmos, aquello a lo que los agricultores del medio oeste de EE.UU. se enfrentan esta temporada.

Por los problemas secundarios que lleva asociados, el glifosato despierta una enorme inquietud. «Yo no usaría la palabra 'catástrofe', pero hay quien afirma que podría ser lo peor para los cultivadores de algodón desde la plaga del picudo del algodón.» Así se manifiesta Doug Gurian-Sherman, fitopatólogo y científico senior de la Unión de Científicos Preocupados, cuando habla sobre la propagación de malas hierbas resistentes al glifosato, también conocidas como «malas hierbas superresistentes» o «supermalezas». En el último decenio, su área de distribución en EE.UU. ha aumentado desde la presencia ocasional hasta ocupar unos cuatro millones de hectáreas. Esa extensión todavía representa una pequeña parte de los casi 162 millones de hectáreas de la superficie agrícola del país, pero se ha quintuplicado desde 2007.

«Es un salto enorme en la dispersión de esas plantas, y no creo que nadie lo esperase», comenta David Mortensen, especialista en malherbología de la Universidad estatal de Pennsylvania. El pasado verano se celebró una audiencia del Congreso convocada por el miembro de la Cámara de representantes Dennis J. Kucinich, de Ohio, para que el Departamento de Agricultura de EE.UU. investigase la regulación de las semillas transgénicas. Kucinich afirmó que había razones para creer que la tendencia continuaría. Si las plantas resistentes se propagan sin

control, nos hallaremos ante una catástrofe que ya se había previsto y que, por tanto, podría haberse evitado.

Como las bacterias resistentes a los antibióticos, que hacen temer lo peor a los especialistas en enfermedades infecciosas, se trata de un problema creado por nosotros mismos, un recordatorio

de la futilidad del intento de escapar de la evolución. Y un aumento de las malas hierbas resulta indeseable en un mundo que puede toparse con límites técnicos en la producción de alimentos.

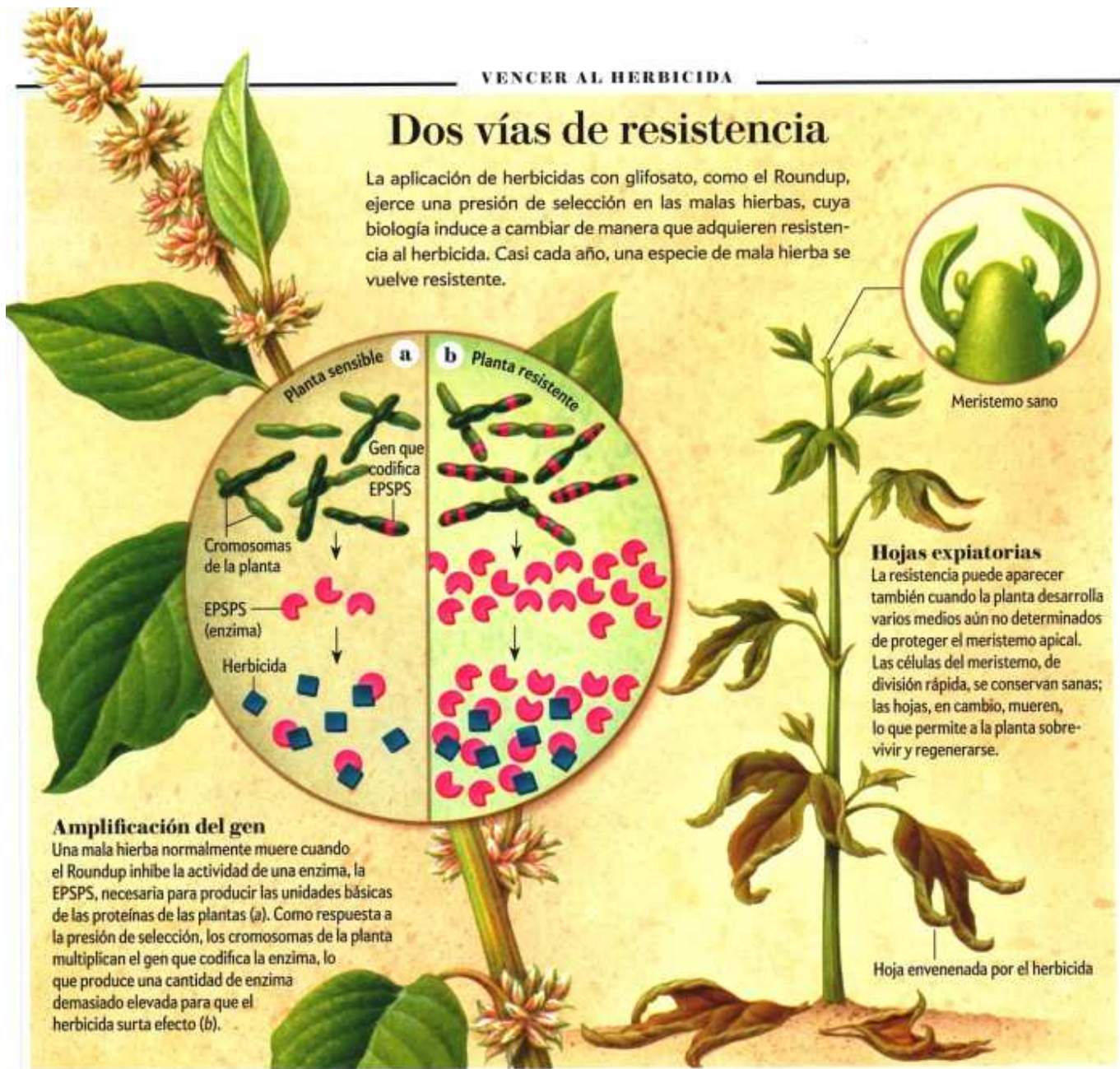
LA ACCIÓN DESTRUCTORA DEL HERBICIDA

Quienes observan los campos de maíz desde un avión tal vez no aprecien el esfuerzo que supone impedir el desarrollo de malas hierbas en los cultivos. De hecho, la palabra cultivar no solo significa «hacer crecer algo», sino también «arar o labrar la tierra». Esa práctica representaba el método original de eliminar las malezas, al arrancar de raíz las plantas no deseadas y enterrar sus semillas. Las malas hierbas carecen del sigilo y la agresividad mortífera de los insectos y los microbios, que pueden afectar a la cosecha tras aparecer como de la nada y acabar con ella en cuestión de días. Las malas hierbas crecen de manera visible y atacan las plantas vecinas de forma indirecta, robándoles nutrientes, agua y, sobre todo, la luz del sol. Pero los insectos y las enfermedades de las plantas suelen ser esporádicos, acontecimientos que pueden tener éxito o fracasar, mientras que las malas hierbas medran por doquier. Una sola planta de ambrosía gigante puede reducir hasta la mitad el rendimiento de una superficie donde crecen 30 plantas de soja.

De ahí que los agrónomos se mantengan vigilantes ante ciertas especies de malas hierbas —diez en el último recuento en EE.UU. y un número aproximadamente igual en el resto del mundo—, algunas de cuyas poblaciones han desarrollado la capacidad de soportar una dosis normalmente letal de glifosato. Aun así, los portavoces de Monsanto se apresuran a señalar que más de 300 especies siguen mostrando sensibilidad al Roundup. Pero esas diez representan unas de las plagas más prolíficas e intratables que infestan el algodón, el maíz y los campos de soja: la ambrosía común y la gigante, diferentes especies de *Conyza*, el sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) y varias especies de *Amaranthus*. *Amaranthus palmeri*, considerada el «monstruo» de las malas hierbas, desarrolla tallos tan gruesos como un bate de béisbol y tan duros como para estropear una cosechadora que tenga la desgracia de dar con ella. En su forma resistente a los herbicidas, resulta casi incontrolable, comenta Thomas T. Bauman, científico especializado en malas hierbas en Purdue. «A su lado, la ambrosía gigante (que puede superar

Dos vías de resistencia

La aplicación de herbicidas con glifosato, como el Roundup, ejerce una presión de selección en las malas hierbas, cuya biología induce a cambiar de manera que adquieren resistencia al herbicida. Casi cada año, una especie de mala hierba se vuelve resistente.



Amplificación del gen

Una mala hierba normalmente muere cuando el Roundup inhibe la actividad de una enzima, la EPSPS, necesaria para producir las unidades básicas de las proteínas de las plantas (a). Como respuesta a la presión de selección, los cromosomas de la planta multiplican el gen que codifica la enzima, lo que produce una cantidad de enzima demasiado elevada para que el herbicida surta efecto (b).

Hojas expiatorias

La resistencia puede aparecer también cuando la planta desarrolla varios medios aún no determinados de proteger el meristemo apical. Las células del meristemo, de división rápida, se conservan sanas; las hojas, en cambio, mueren, lo que permite a la planta sobrevivir y regenerarse.

los tres metros de altura) parece pequeña. Y germina en cualquier época del año; cuando crees que has terminado con ella, la siguiente vez que llueve vuelve a aparecer.» Algunos cultivadores de algodón han tenido que abandonar los campos donde esa maleza se ha adueñado del lugar. Otros han retrocedido hacia las prácticas agrícolas de hace un siglo y están enviando cuadrillas de jornaleros a sus campos para arrancarla con la azada. «He visto más jornaleros en el campo (en 2010) que en los últimos quince años juntos», comenta David R. Shaw, vicerrector de investigación y desarrollo de la Universidad estatal de Mississippi. «Es un trabajo increíblemente duro», añade, «y difícil en extremo la obtención de beneficios».

Los agricultores de los países desarrollados creían haber dejado atrás ese tipo de labores, con la aparición en escena, después de la Segunda Guerra Mundial, de los herbicidas orgánicos. Cabe mencionar el 2,4-D (2,4 diclorofenoxiacético), el primero de una gran clase de herbicidas que imitan la hormona auxina y llevan la planta a un crecimiento descontrolado que le provoca la muerte. Otras clases de herbicidas atacan otros procesos, como la fotosíntesis o el transporte de nutrientes. El glifosato inhibe la enzima EPSPS (5-enolpiruvilshikima-

to-3-fosfato sintasa), responsable de la síntesis de tres aminoácidos esenciales en las plantas y las bacterias, pero no en animales, lo que ha sido crucial para su adopción generalizada. El producto ataca las células del meristemo e impide el crecimiento de las yemas y del ápice de la planta. Al día siguiente de su aplicación, la planta deja de crecer, y suele morir en una o dos semanas.

A diferencia de otros compuestos que imitan la auxina, que destruyen de modo selectivo las plantas de hoja ancha pero suelen resultar inocuos para las gramíneas, el glifosato ataca todos los tejidos verdes. Y a diferencia de los herbicidas que se esparcen sobre el suelo antes de que las malas hierbas emerjan en primavera, debe aplicarse directamente sobre las hojas de las plantas que deseamos erradicar. Esas características limitaron la utilidad del glifosato en los decenios posteriores a su descubrimiento, en 1970. Los agricultores lo utilizaban a principios de primavera, tras la aparición de las primeras malezas y antes de que la planta cultivada brotara; o bien, durante el período de crecimiento, mediante el método laborioso de ir rociando las malas hierbas que crecían entre las plantas cultivadas. Michael Owen, agrónomo de la Universidad estatal de

ya, describe el control de las malas hierbas durante aquellos años como un arte y una ciencia, un malabarismo continuo entre la aplicación de herbicidas, la rotación de cultivos y el arado de otoño y primavera a distinta profundidad; esas tareas xigían una inversión en tiempo y dinero que debía sopesarse frente a la posible disminución de la cosecha. Cada técnica soía controlar un conjunto diferente de malas hierbas o, dicho

de otro modo, se concentraba en las especies resistentes al tratamiento, aquellas que crecían muy bien a pesar del plaguicida. El problema de las malezas es acumulativo, porque las semillas se depositan en el suelo año tras año. Para llevar la delantera a esas plantas debían utilizarse diferentes estrategias y cambiarlas con frecuencia, ya que las malas hierbas prosperan ante condiciones predecibles.

SITUACIÓN EN ESPAÑA

Otras medidas para controlar las malas hierbas

Aunque el riesgo de aparición de resistencias en Europa resulta menor que en otras zonas, convendría evitar la dependencia exclusiva de los herbicidas

JORDI IZQUIERDO

La creciente dependencia de los herbicidas en muchos cultivos que se realizan en España está comportando la aparición de poblaciones de malas hierbas resistentes a los productos aplicados. ¿Cómo se origina una resistencia? Las poblaciones de malas hierbas están compuestas por individuos (biotipos) con genotipos ligeramente diferentes entre sí, alguno de los cuales no resulta afectado por los herbicidas. Al hacer un uso repetido de un mismo producto o de productos con un modo de acción similar se favorecerá la supervivencia y persistencia de los biotipos resistentes y se tenderá a eliminar los biotipos sensibles. Tras diversos años de cultivo, esa «presión de selección» llevará a la dominancia del biotipo resistente en la población vegetal, que alcanzará un nivel de densidad tal que impedirá su control adecuado con el herbicida.

El primer informe de la existencia de un biotipo de mala hierba resistente a herbicidas en España data de 1981. En ese año se hallaron en campos de maíz ejemplares de *Panicum dichotomiflorum* resistentes a atrazina, herbicida perteneciente a la familia de las triazinas. El último caso de resistencia fue descrito en 2009, al observar que *Conyza sumatrensis* no respondía al glifosato en campos de frutales.

De acuerdo con una base de datos internacional sobre malezas resistentes, en España se han identificado hasta ahora 25 especies en diferentes cultivos, aunque 17 de ellas son resistentes a herbicidas de la antigua familia de las triazinas que, en su mayoría, ya no se comercializan

en la Unión Europea. En el olivar andaluz y los campos de cítricos valencianos, el uso repetido de glifosato para mantener la superficie del suelo libre de malas hierbas ha conllevado la aparición de resistencias a ese herbicida en los géneros *Conyza* y *Lolium*. En los cultivos de cereales, distintas malezas han desarrollado resistencias a las familias de herbicidas más utilizados: *Lolium rigidum* (vallico, también presente en frutales) a los fops, dims y sulfonilureas; *Papaver rhoeas* (amapola) a las auxinas sintéticas y sulfonilureas, y *Avena sterilis* (avena loca) a fops, dims e imidazolinonas. En el arroz, cultivo de gran importancia económica, están apareciendo biotipos de *Echinochloa* spp. con resistencia. Los biotipos con resistencias múltiples resultan muy difíciles de controlar con herbicidas. Es de esperar que, con el desarrollo de pruebas rápidas de detección de resistencias en el laboratorio, el número de biotipos resistentes identificados se incrementará.

En las zonas donde se han detectado plantas resistentes resulta difícil calcular las hectáreas afectadas, ya que no hay estudios detallados al respecto. La proliferación de malezas observada en el campo no siempre se debe a una resistencia de la mala hierba, sino que puede deberse a una mala aplicación del producto o a unas condiciones ambientales adversas para la acción del herbicida. El área afectada con vallico resistente, por ejemplo, se estima en menos del 10 por ciento de los 6 millones de hectáreas sembradas con cereal de invierno en España.



Plantas de vallico (izquierda) y amapola (derecha), dos especies con resistencia múltiple que proliferan en los campos de cereales.

CULTIVOS RESISTENTES, LA REVOLUCIÓN

Todo cambió a principios de los años noventa, cuando Monsanto perfeccionó la técnica de crear especies cultivadas con resistencia al glifosato. Dejando de lado otras consideraciones, esa innovación constituyó un logro científico que costó, según las estimaciones de Monsanto, unas 700.000 horas-persona de tiempo dedicado a la investigación. Una pesquisa de siete años para

hallar el gen adecuado terminó en un tubo de desague de un centro de Monsanto en Louisiana. Allí, los investigadores que buscaban organismos que sobrevivieran en el residuo líquido de glifosato descubrieron una bacteria que había mutado y producía una forma ligeramente modificada de la enzima EPSPS. La enzima alterada seguía sintetizando los tres aminoácidos, como la enzima normal, pero no resultaba afectada por el glifosato. Los

Malas hierbas resistentes a los herbicidas que se aplican hoy en España

Especie	Detectada en el año ...	En un cultivo de ...	Localización
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	2000	Arroz	No especificada
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1991	Cereal	Cataluña
<i>Avena sterilis</i>	2000	Cereal	La Rioja, Navarra, Castilla y León
<i>Bromus tectorum</i>	1990	Cereal	Andalucía
<i>Conyza bonariensis</i>	1987	Olivar	Andalucía
<i>Conyza canariensis</i>	2006	Olivar	Andalucía
<i>Conyza sumatrensis</i>	2009	Olivar	Andalucía
<i>Cyperus difformis</i>	2000	Arroz	Extremadura
<i>Echinochloa spp</i>	1998	Arroz	Extremadura, Andalucía, Cataluña
<i>Lolium multiflorum</i>	2006	Olivar	Andalucía
<i>Lolium rigidum</i>	1992	Cereal Olivar Cítricos	Aragón, Cataluña Andalucía C. Valenciana
<i>Papaver rhoeas</i>	1993	Cereal	Aragón, Castilla y León, Cataluña, Navarra
<i>Sinapis alba</i>	2007	Cereal	Andalucía

Según datos de la Asociación Empresarial para la Protección de Plantas (AEPLA), que representa mayoritariamente al sector de fabricantes de productos fitosanitarios de España, en el año 2009 se vendieron 22.000 toneladas de herbicidas por un valor de 219 millones de euros. La presión de selección hacia biotipos resistentes es fuerte; sin embargo, el alcance del problema no es tan preocupante como en otros países. En España y Europa no hay extensiones tan grandes y continuas dedicadas a un único cultivo (como así ocurre en el continente americano), ni tampoco hay registradas variedades tolerantes a los herbicidas. En general, las variedades plantadas por el agricultor son las más adaptadas a las características edafoclimáticas de cada localidad. Debido a que el área de distribución de la variedad se halla limitada, el riesgo de rápida expansión de un biotipo resistente resulta menor.

Otras soluciones

En todos los casos, la aparición de resistencias guarda una relación directa con el empleo casi exclusivo del control químico. Un hecho que puede favorecer el incremento de resistencias en el futuro es la menor disponibilidad de materias activas en el mercado. El nuevo registro europeo unificado de productos fitosanitarios tiene un menor número de materias activas herbicidas, lo que aumenta la probabilidad de que aparezcan biotipos resistentes debido al uso reiterado de unos pocos compuestos.

De ahí la importancia de diversificar las técnicas de control y de reducir al máximo la dependencia exclusiva de los herbicidas. Se ha demostrado que la prevención representa la opción más fácil y barata a largo plazo para evitar el problema de la resistencia. Con el fin de promocionar medidas que eviten la aparición de resistencias y de contribuir a la sostenibilidad de la actividad agraria se han creado grupos de trabajo que aglutinan a fabricantes, empresas distribuidoras, agricultores y servicios oficiales de la Administración dedicados a la investigación, transferencia y legislación agrícolas. Cabe citar, en España, el Comité para la Prevención de las Resistencias a los Herbicidas (CPRH); en Europa, el Grupo de Trabajo Europeo contra la Resistencia a Herbicidas (EHRWG) y, a nivel mundial, el Comité de Acción contra la Resistencia a Herbicidas (HRAC).

De esos grupos se promueve un manejo integrado de las malas hierbas, es decir, la aplicación de diferentes medidas sin dependencia excesiva en ninguna de ellas, para mantener una densidad de malas hierbas que no produzca pérdidas económicas para el agricultor. Al aplicar esas medidas de forma integrada se reduce la presión de selección sobre una determinada mala hierba, con lo que se retrasa o evita la aparición de resistencias; además, algunas de esas prácticas contribuyen a mejorar las características fisicoquímicas del suelo.

Entre las recomendaciones, cabe citar el empleo de semillas certificadas libres de malas hierbas, la rotación de cultivos, el laboreo del suelo, una buena densidad de siembra, la «falsa siembra» (labrar el campo, dejar que emerjan las malas hierbas y eliminarlas mediante un laboreo o un herbicida antes de sembrar el cultivo), el pastoreo después de la cosecha, dejar una cubierta vegetal en frutales (capa herbácea natural o sembrada que se regula mediante siegas periódicas) o el uso alternado de herbicidas con diferente modo de acción.

Si bien en algunos países también se dispone de cultivos tolerantes a herbicidas como otra herramienta de lucha contra las malas hierbas, la aplicación a gran escala de un único herbicida y su uso repetido favorecerán de modo inevitable la aparición de resistencias.

Resulta importante recalcar que el manejo integrado de las malas hierbas presupone que para mantener el rendimiento del cultivo no es preciso erradicar por completo la flora arvense (malas hierbas) del campo, sino tan solo mantenerla por debajo de una densidad determinada (umbral de tratamiento). La presencia de otras especies vegetales distintas a la planta cultivada ejerce un efecto beneficioso sobre la sostenibilidad del agroecosistema, ya que favorece la biodiversidad. La existencia de una flora arvense proporciona cobijo a las especies silvestres, como pájaros y pequeños mamíferos, que a menudo funcionan como enemigos naturales de las plagas. Además, la presencia de una capa herbácea en un campo reduce la erosión del suelo, permite el paso de maquinaria tras las lluvias y, en ciertos casos, incrementa el valor estético del paisaje. Todo ello, sin olvidar que la actividad agraria debe continuar siendo rentable para el agricultor.

Jordi Izquierdo
Dpto. de Ingeniería agroalimentaria y biotecnología
Universidad Politécnica de Cataluña



Entre las malas hierbas enemigas de los agricultores del medio oeste de EE.UU. se encuentran (de izquierda a derecha) el amarantho gigante (*Amaranthus palmeri*), *Conyza canadensis* y el sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*); todas ellas han desarrollado el mismo nivel de resistencia al herbicida Roundup.

científicos aislaron el gen que codificaba esa propiedad y, junto con varios genes constitutivos (para el control y la inserción del gen de la enzima) procedentes de otros tres organismos, los implantaron en las células de soja con un cañón de ADN.

Esa técnica «de fuerza bruta» consiste en recubrir con el ADN seleccionado unas partículas microscópicas de oro que se proyectan a los embriones de la soja, con la esperanza de que al menos unas pocas hallen su camino hacia el lugar correcto en un cromosoma. Tras decenas de miles de ensayos se consiguió un puñado de plantas resistentes al glifosato, que pasaron esa característica a sus descendientes. A partir de 1996, Monsanto comenzó a vender las nuevas semillas de soja Roundup Ready. Poco después aparecieron las semillas de algodón, colza y maíz resistentes al herbicida.

La innovación representó un triunfo comercial. Las semillas Roundup Ready revolucionaron el cultivo de algunos productos agrícolas básicos de EE.UU. y de todo el mundo, especialmente de Argentina y Brasil. Animados por la publicidad de Monsanto, los agricultores se deshacían de sus problemas sembrando semillas Roundup Ready y rociando sus campos con glifosato cada vez que aparecían malas hierbas. El año pasado, las semillas Roundup Ready se sembraron en el 93 por ciento de la superficie plantada de soja en EE.UU. y en una gran mayoría de la de maíz y algodón. Las estimaciones de la demanda mundial del producto en 2010 se elevan hasta casi un millón de toneladas.

Sin embargo, no está muy claro que esa técnica haya ayudado realmente a los agricultores a producir más alimento. A la industria biotecnológica le gusta afirmar que así ha sido, pero en 2009, un estudio de la Unión de Científicos Preocupados llegó a la conclusión de que las ganancias eran pocas y se veían superadas con creces por los métodos avanzados del cultivo clásico, mucho menos costosos. Pero el sistema Roundup Ready presentaba otras ventajas. La mayoría de los expertos coinciden en que, entre los plaguicidas orgánicos sintéticos, el glifosato es

uno de los menos tóxicos y persistentes. Y al utilizarlo en cultivos Roundup Ready, los agricultores no necesitaban labrar tanto los campos. La siembra directa o con labranza mínima, que comenzó a generalizarse en la década de los ochenta, ahorra combustible y reduce la erosión y la escorrentía de los nutrientes hacia las vías fluviales. El glifosato «es un compuesto de extraordinaria eficacia para erradicar plantas», afirma John Lydon, principal investigador de malas hierbas del Departamento de Agricultura de EE.UU., «y uno de los productos agrícolas más benignos que se usan en la actualidad».

Pero esa situación en apariencia óptima no perduraría mucho. «Las malas hierbas se hallan en constante evolución y se adaptan a las altas presiones de selección impuestas por las prácticas agrícolas», apunta Stephen Weller, horticultor de Purdue. La resistencia al glifosato apenas se conocía en los años anteriores al uso del Roundup. Pero desde entonces ha aparecido en nuevas especies de malas hierbas, con una frecuencia media de una planta resistente por año. Según Bauman, la aplicación de un herbicida a un mismo cultivo año tras año, sin otras medidas de control de malas hierbas que la acompañen, crea un laboratorio perfecto para la evolución de la resistencia. «La planta resistente siempre está ahí. Basta con aplicar el herbicida para favorecer su proliferación».

La primera pregunta que uno se plantea acerca de las malas hierbas resistentes al glifosato es si presentan el mismo mecanismo de resistencia que las semillas Roundup Ready. Es decir, ¿ha saltado el gen la barrera de las especies, desde los cultivos hasta las malas hierbas? Owen, que expresa el consenso de los biólogos vegetales, opina que no; las malas hierbas de EE.UU. son demasiado distintas de la soja, el maíz o el algodón para cruzarse con ellas. (Sin embargo, algunas plantas poseen un estrecho parentesco con ciertas malas hierbas, por lo que hay que valorar el riesgo de introducir en ellas genes de resistencia al herbicida; tal es el caso de *Agrostis palustris*, el césped que sue-

le emplearse en los campos de golf.) Bajo la presión evolutiva del glifosato, las malas hierbas han desarrollado sus propias defensas. El amaranto resistente posee la forma normal del gen EPSPS, no el alelo alterado diseñado por Monsanto. Pero el gen normal presenta numerosas copias, de 5 a 160, y en consecuencia produce la enzima en cantidades que superan con creces el efecto inhibitorio del herbicida.

SUPERVIVIENTE MISTERIOSO

En los invernaderos de Purdue, el experimento de Brabham con la ambrosía gigante demuestra otro tipo de resistencia, que parece haber evolucionado de forma independiente. En las malas hierbas sensibles, los efectos del glifosato se manifiestan primero en las células de división rápida del meristemo. (El compuesto también alcanza las raíces, donde altera la resistencia de la planta a los hongos; aunque resulta difícil determinar la causa exacta de la muerte en una planta, después de la fumigación con glifosato las raíces suelen aparecer arrugadas y podridas.) Sin embargo, cuando Brabham examina sus muestras dieciocho horas después de la pulverización observa algo muy diferente: las hojas grandes han comenzado a encresparse y han adquirido una coloración marrón, pero el meristemo sigue verde y se ve sano. Las hojas parecen segregarse el herbicida, y en el plazo de una o dos semanas se secan y caen. Pero la planta sobrevivirá y volverá a regenerarse a partir del meristemo. «Desearía conocer lo que produce ese efecto», dice Weller, «porque lo mismo sucede en la resistencia a los patógenos. La hoja se muere, pero la enfermedad no se propaga al resto de la planta. Si identificáramos ese proceso, podríamos emplear la información en nuestro provecho».

Es importante recordar, según Weller, que la técnica Roundup Ready de Monsanto no originó por sí sola el problema. La resistencia de las malas hierbas al glifosato se desarrolló de manera independiente. Pero la disponibilidad de semillas de plantas resistentes al glifosato ha permitido a los agricultores tomar el camino más fácil: el de rociar los campos con Roundup y descartar otras técnicas de control de malas hierbas o el empleo de otros productos. Podían haber seguido el ejemplo de la medicina, que se basa en una estrategia de múltiples fármacos para luchar contra virus que mutan con rapidez, como el VIH; la probabilidad de que un único organismo desarrolle resistencia a varios compuestos a la vez es muy baja, por lo que el método no deja en teoría supervivientes.

Es justo decir que Monsanto, que intentaba compensar la enorme inversión realizada, no trató precisamente de disuadirlos. «La resistencia al glifosato se podría haber evitado, o al menos aplazado por mucho tiempo, si los cultivadores lo hubieran utilizado combinado con otro herbicida», reflexiona Glenn Niza, un agente de extensión agraria de Purdue que trata regularmente con agricultores de todo el estado. «Pero la agricultura es un negocio como cualquier otro.» En realidad, no exactamente como cualquier otro: los cultivadores obtienen un beneficio marginal —es decir, después de sufragar los gastos— y sus esfuerzos se ven limitados, no solo por el costo, sino por la duración del día y de la época de crecimiento. «Más vale prevenir que curar», añade Niza, «pero aun así hay que pagar por la prevención».

Y los agricultores tendrán que pagarlo. Las empresas de productos químicos y biotecnología se esfuerzan por introducir en las plantas agrícolas genes de resistencia a otros herbicidas. Monsanto espera poner en el mercado, en uno o dos años, semillas de plantas resistentes al herbicida dicamba; la empresa Dow ha desarrollado un gen de resistencia a 2,4-D. Las caracte-

terísticas seleccionadas se incluirán, junto con los genes Roundup Ready, en una nueva generación de semillas transgénicas. De esta manera, los agricultores podrán esparcir en sus campos dos herbicidas, juntos o de forma secuencial, en lugar de confiar solo en el glifosato. La compañía DuPont ya vende semillas resistentes al glifosato y a otro herbicida, el glufosinato. Esas semillas cuentan además con otras características obtenidas por ingeniería genética, como el gen del Bt, un insecticida que existe en la naturaleza.

La nueva perspectiva es acogida con recelo por muchos agrónomos. Dicamba y 2,4-D son productos antiguos cuyo uso es posible gracias a los reglamentos federales; ambos se consideran más tóxicos y persistentes que el glifosato, y hoy seguramente no superarían el proceso de registro para su aprobación. Dicamba, en particular, se volatiliza fácilmente después de la aplicación, se desplaza en el aire y se deposita en zonas cercanas, donde se sabe que ha llegado a dañar otros cultivos o la vegetación silvestre. Se ha planteado además una pregunta, todavía sin respuesta: ¿cuántos rasgos pueden añadirse a una semilla antes de que empiece a afectar el vigor y la productividad de la planta? Todo lo que se pida de más a un organismo consume energía necesaria para lo que debería hacer en primer lugar, es decir, producir alimento.

El problema más importante tiene que ver con el futuro de la agricultura y el abastecimiento de alimentos a una población mundial creciente, cada vez más rica y urbana. «El sistema actual presenta un enfoque industrial, basado en un remedio milagroso; no existe una estrategia que contemple el ecosistema agrícola», opina Gurian-Sherman. Con una población de malas hierbas resistentes al glifosato ya establecidas en muchos lugares, es prácticamente seguro que, si dicamba y 2,4-D se utilizan del mismo modo, algunas de las especies adquirirán también resistencia a esos herbicidas. Entonces, ¿a qué remedio acudiremos? Existe un número limitado de familias de herbicidas, y la industria química no está desarrollando otros nuevos, porque la ingeniería genética aplicada a las semillas genera muchos más beneficios. «En principio no me opongo a la ingeniería genética, pero ¿a dónde nos está llevando?», se pregunta Gurian-Sherman. «Miles de millones en investigación han producido solo dos características útiles (resistencia al glifosato y expresión de Bt), mientras que las técnicas tradicionales han proporcionado, con un costo menor, resistencia a insectos y enfermedades, tolerancia a la sequía y mejor rendimiento de los cultivos.»

Gurian-Sherman sostiene que la solución no se alcanzará con la aplicación de una técnica más cara, sino que deberá fundamentarse en la ciencia de los cultivos, mediante la adopción de estrategias que le hubiesen resultado familiares a Gregor Mendel en el siglo XIX: mejoras progresivas en el rendimiento, en la resistencia a la sequía y en el uso de fertilizantes. «Es necesario un cambio fundamental en nuestra forma de pensar acerca de la agricultura, y nuestro sistema actual no nos conduce a ello.»

PARA SABER MÁS

Failure to yield: evaluating the performance of genetically engineered crops. Doug Gurian-Sherman. Union of Concerned Scientists, abril de 2009.

The impact of genetically engineered crops on farm sustainability in the United States. Committee on the Impact of Biotechnology on Farm-Level Economics and Sustainability, National Research Council. National Academies Press, 2010.

Sociedad Española de Malherbiología: www.semh.net

Base de datos mundial sobre resistencias: www.weedscience.com