

## **Glifosato: 35 años de empleo y retos para el futuro**

J. COSTA VILAMAJÓ, C. NOVILLO ALMENDROS, A. ÁLVAREZ SABORIDO

En este artículo se revisan las características que han permitido el crecimiento en España de las aplicaciones de glifosato durante los últimos 35 años, hasta convertirse hoy en uno de los herbicidas de mayor empleo. Los beneficios contrastados (ahorro de tiempo, reducción de la erosión, eficiencia productiva y mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub>) y la seguridad de su aplicación en múltiples situaciones, aconsejan la continuidad de su empleo dentro de un uso integrado para ayudar a frenar el calentamiento global y ayudar a la lucha contra especies invasoras. La mayor frecuencia de empleo derivada de sus beneficios, aconseja para el futuro una gestión responsable de las aplicaciones de glifosato, tanto en pre-siembra de cultivos herbáceos, como en aplicaciones dirigidas en cultivos leñosos o zonas sin cultivos, como potencialmente en tratamientos sobre jóvenes plantas de variedades modificadas genéticamente para tolerancia a este herbicida. Esta gestión responsable debe incluir medidas para prevenir y/o gestionar el riesgo de malezas resistentes, el uso de las mejores tecnologías de aplicación para limitar la presencia del herbicida a las zonas tratadas, y un exquisito cumplimiento de las regulaciones, acompañado de una comunicación correcta de los resultados.

J. COSTA VILAMAJÓ, C. NOVILLO ALMENDROS, A. ÁLVAREZ SABORIDO. Monsanto Agricultura España, S.L. Avda. de Burgos, 17, 10<sup>o</sup>. 28036 Madrid. [jaime.costa@monsanto.com](mailto:jaime.costa@monsanto.com), [conchi.novillo@monsanto.com](mailto:conchi.novillo@monsanto.com), [antonio.a.saborido@monsanto.com](mailto:antonio.a.saborido@monsanto.com)

**Palabras clave:** aplicación, agricultura, sostenibilidad, transgénicos, variedades MG.

### **INTRODUCCIÓN**

Desde su descubrimiento y desarrollo como herbicida por Monsanto a principios de la década de los 70, el glifosato (N-fosfometil glicina) se ha convertido en el herbicida de mayor empleo a escala global, manteniendo esta posición a los 35 años de las primeras autorizaciones en España y muchos otros países. La principal razón para este éxito ha sido su excelente eficacia contra un amplio espectro de malezas que, junto a la inactivación en contacto con el suelo (seguida de biodegradación), ha permitido su empleo en los cultivos y situaciones más diver-

sas, siempre que en el momento de la aplicación la pulverización del herbicida no alcance las hojas o partes sensibles del cultivo.

Esta flexibilidad de empleo, permitió el 24 de julio de 1974 la primera autorización en España del herbicida Roundup<sup>®(1)</sup> para “tratamientos herbicidas en cultivos leñosos de más de 3-4 años, en aplicaciones dirigidas al suelo y terrenos sin cultivo” que posteriormente fue ampliada a “cultivos varios, en pre-siembra o en postemergencia cuando tengan una altura suficiente para efectuar tratamiento entre líneas con pantalla localizadora” y otros usos menores. Es obvio que, con este marco de aplicación tan amplio,

---

(1) Roundup es una marca registrada de Monsanto.

había grandes posibilidades de aumentar la utilidad del producto mejorando equipos y formas de aplicación, a menudo acompañados del desarrollo y autorización de formulaciones optimizadas para cada situación. Así, se desarrollaron boquillas para pulverización hidráulica en bajo volumen, pulverizadores centrífugos de ultra bajo volumen (UBV) con gotas de tamaño controlado (“máquinas de pilas”), aplicadores por contacto con materiales impregnados, y formulaciones optimizadas para aplicaciones en bajo volumen, para tratamientos con dosis de materia activa inferior a 1 kg/ha, con el mayor respeto para la fauna acuícola, o mezclas con otras materias activas para reducir el riesgo de aparición de malezas difíciles o resistentes. La materia activa es el anión glifosato, y como el glifosato ácido es poco soluble en agua, para una aplicación más fácil se ha presentado en forma de sales amónica, isopropilamina, sódica, potásica o trimetil sulfónica.

El espectro de malas hierbas controlables con glifosato es muy amplio, con pocas especies como *Berberis*, *Hedera*, *Equisetum*, *Ilex* y *Potamogeton* que no son controladas con las dosis máximas autorizadas de 3,6 kg/ha. Con esta dosis máxima pueden controlarse malezas o matorrales perennes de los géneros *Acacia*, *Agropyron*, *Agrostis*, *Alnus*, *Arrhenatherum*, *Arum*, *Arundo*, *Brachypodium*, *Carex*, *Cirsium*, *Cistus*, *Cynodon*, *Cyperus*, *Dactylis*, *Eichornia*, *Erica*, *Festuca*, *Genista*, *Holcus*, *Hyparrhenia*, *Juncus*, *Lavandula*, *Panicum*, *Paspalum*, *Phragmites*, *Populus*, *Prunus*, *Pteridium*, *Quercus*, *Rosa*, *Rubus*, *Sorbus*, *Sorghum*, *Thypha*, *Ulex* y otras. La dosis de 2,16 kg/ha es suficiente para controlar malezas de géneros anuales como *Agrostemma*, *Alopecurus*, *Amaranthus*, *Anacyclus*, *Anagallis*, *Anchusa*, *Anthemis*, *Apera*, *Apium*, *Atriplex*, *Avena*, *Bidens*, *Bromus*, *Calendula*, *Capselfa*, *Cardamine*, *Cardaria*, *Cerastium*, *Chenopodium*, *Chrysanthemum*, *Conyza*\*, *Crepis*, *Datura*, *Digitaria*, *Diplotaxis*, *Echinochloa*, *Eleusine*, *Erodium*, *Euphorbia*, *Fedia*, *Fumaria*, *Galeopsis*, *Galinsoga*, *Ga-*

*lium*, *Helminthia*, *Hordeum*, *Lactuca*, *Lamium*, *Lolium*\*, *Malva*, *Matricaria*, *Mercurialis*, *Papaver*, *Phalaris*, *Poa*, *Portulaca*, *Ranunculus*, *Raphanus*, *Senecio*, *Setaria*, *Silene*, *Silybum*, *Sinapis*, *Sisymbrium*, *Sonchus*, *Stellaria*, *Tagetes*, *Tragus*, *Tribulus*, *Urochloa*, *Urtica*, *Veronica*, *Vicia*, *Xanthium* y otras. Se han indicado con asterisco los dos géneros para los que se han encontrado en España algunos biotipos que se han vuelto resistentes a las dosis indicadas.

Las formulaciones en las que glifosato está combinado con otras materias activas pretenden combinar varios mecanismos de acción herbicida en el mismo producto, reducir costes de aplicación, acelerar la aparición de los síntomas y reducir el riesgo de cambios de flora a especies difíciles, o mitigar el riesgo de desarrollo de resistencias. Actualmente hay mezclas autorizadas de glifosato con:

- amitrol
- diflufenican
- MCPA
- oxadiazon
- oxifluorfen
- piraflufen-etil
- terbutilazina

El uso de diferentes formulaciones herbicidas de glifosato ha seguido aumentando



Figura 1. La introducción del glifosato facilitó el control de malezas perennes como cañota, grama y otras



Figura 2. Aplicación de glifosato en UBV con gotas de tamaño controlado



Figura 3. Aplicación en pulverización centrífuga sin diluir

durante los últimos 10-15 años por las siguientes razones:

- Mayor competencia entre fabricantes, con la consecuencia de precios más asequibles para los agricultores, aunque a menudo la asistencia técnica ha caído como víctima colateral de la extrema competitividad.
- Desaparición –especialmente en la Unión Europea (UE)– de importantes herbicidas alternativos (paraquat, simazina, etc.) que no han podido superar las crecientes exigencias para los productos fitosanitarios.
- Desarrollo global del cultivo de variedades (soja, maíz, algodón, colza, etc.) modificadas genéticamente para tolerar aplicaciones sobre el cultivo en sus primeras fases de desarrollo, con una superficie global superior a 100 millones de ha en 2010 (James, 2010). Estas variedades han sido autorizadas para importación y consumo, pero aún no están autorizadas para cultivo en la UE.

A pesar de estos éxitos, las circunstancias han cambiado mucho en 35 años, y el uso futuro de este importante herbicida deberá hacer frente a importantes desafíos como:

- Drástica reducción de la proporción e influencia de la población agraria –que recibe y entiende los beneficios directos

de los herbicidas– al pasar del 22% en 1974 al 3,5% en 2010. Aumento en el número y superficie ocupada por malezas que antes eran controladas por este herbicida y que después del uso continuado del mismo se confirman como resistentes a glifosato. Aunque las resistencias a este herbicida han tardado más en aparecer que para otros productos - 21 años después de la primera comercialización-, los seis biotipos de *Conyza* y *Lolium* detectados en España ([www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)) sugieren que lo más probable es que aumenten los problemas en el futuro, como así ha sucedido en EE.UU., Brasil y Argentina.

- Dificultades para el cultivo en la UE de variedades de maíz, algodón, remolacha y otros cultivos tolerantes a glifosato, lo cual elimina opciones para un control de malezas resistentes o difíciles en los cultivos citados. Las autorizaciones para cultivo en la UE desde 1998 se han reducido a una patata para uso industrial que no se cultiva en España. Implementación en nuestro país de la Directiva para el uso sostenible de fitosanitarios, con nuevas exigencias para el empleo correcto de los productos, bajo el control de las autoridades del Estado y de las Comunidades Autónomas.

En este artículo, pretendemos revisar algunos de los beneficios alcanzados y abor-

dar los nuevos desafíos, con la experiencia de los primeros 35 años de empleo de glifosato en diferentes países, y bajo el nuevo marco social y regulatorio, que definirá su empleo a partir de ahora.

Para poder exponer los datos de este artículo, nos hemos basado en los artículos y revisiones más relevantes publicadas desde 1980 citados en la lista de referencias, así como la información directa o a través de distribuidores y agricultores, obtenida durante los últimos 35 años.

Los datos sobre precios relativos del herbicida frente a mano de obra y gasóleo se basan en: a) para la mano de obra, datos oficiales sobre salario mínimo interprofesional; b) para el gasóleo: datos medios publicados para cada período considerado; c) para el herbicida: valores medios aproximados para el precio del producto a nivel del agricultor. La variabilidad del precio para los herbicidas se explica porque la venta suele ser realizada a través de distribuidores o cooperativas, (que pueden modificarlos en función de su asignación de costes) y las leyes antimonopolio impiden fijar los precios finales. El precio de un producto no es la cantidad que intenta recibir el vendedor, sino el valor pagado finalmente por el que adquiere el producto.

Para poder exponer las afirmaciones o recomendaciones expuestas más adelante, además de la experiencia durante más de tres décadas de uso en España, se han tenido en cuenta los resultados obtenidos en condiciones agronómicas comparables de otros países, así como las regulaciones y normativas aplicables a partir de 2011.

## EVOLUCIÓN HISTÓRICA

### **Oportunidad del empleo del glifosato desde el punto de vista económico y social**

La producción agraria ha sufrido importantes cambios en España durante los últimos 35 años, pues la población activa agraria ha pasado del 22% en 1974 al 3,5% en la

actualidad (datos del Ministerio de Agricultura, ahora integrado en el Ministerio de Medio ambiente, y Medio Rural y Marino), satisfaciendo las crecientes necesidades de una población que ha crecido desde unos 34 millones de personas en 1974 a unos 47 millones en 2010. Esto ha sido posible gracias a una creciente especialización, que en el caso del control de malas hierbas se ha conseguido sustituyendo labores mecánicas, o penosas escardas manuales, por aplicaciones de herbicidas.

El control de las malezas es una actividad imprescindible en la mayoría de los cultivos pues, incluso en áreas avanzadas como la Europa Occidental, su presencia implica unas pérdidas de cosecha del 8,8% que llegarían al 34% si no fueran controladas (OERKE, 2006). Estas pérdidas implican el encarecimiento de cada unidad producida y una menor capacidad de producción e ingresos, por lo que la decisión de controlar las malas hierbas es casi generalizada para la inmensa mayoría de los agricultores, que tienen en cuenta todas las opciones disponibles.

En el caso de las plantaciones de cítricos en el Levante español, las dificultades de mecanización en parcelas pequeñas con altas densidades de árboles llevaron a la adopción de programas basados en tratamientos con glifosato, frente a las labores mecánicas o tratamientos con otros herbicidas. Este cambio permitía reducir la mano de obra de 82 horas/ha con labores de cava y rotovator mediante motocultores a tan sólo 33 horas/ha con tratamientos de glifosato aplicados con pulverizadores centrífugos, con una reducción del 33% en el coste económico (GÓMEZ DE BARREDA, 1981). Esta reducción en el número de horas es también muy importante al permitir una mayor flexibilidad del agricultor con otros puestos de trabajo, y ofrece una mayor seguridad al requerir menos tiempo, en operaciones con menor peligro.

El ahorro de tiempo ha sido también uno de los beneficios más importantes ofrecidos en cultivos como avellano, frutales de hueso y pepita, u otros cultivos leñosos, siendo

destacable la mayor compatibilidad del uso de herbicidas con la presencia de las redes de distribución del riego por goteo que tanto han contribuido a la eficiencia del riego en nuestro país.

En cultivos leñosos de secano, como el olivar, la disponibilidad de un herbicida eficaz como glifosato hizo posible la adopción a gran escala de técnicas de no laboreo en combinación con herbicidas de efecto residual como simazina, reduciendo la erosión y ofreciendo aumentos de producción cercanos al 20% (PASTOR y otros, 1997) al suprimir el daño a las raíces superficiales provocado por las labores mecánicas. Al ser la recolección una de las operaciones más costosas de este cultivo, es también destacable la utilidad de las aplicaciones de glifosato sobre malezas en desarrollo después de las lluvias de otoño, pues con las aplicaciones recomendadas –no extrapolables a otras materias activas– se mantiene la calidad del aceite y se reduce el coste de la recolección para las aceitunas caídas sobre el suelo (VALERA Y COSTA, 1990). La compactación del suelo desnudo en la calle del cultivo, sin embargo, daba lugar a tasas de

escorrentía y erosión que hicieron aconsejable el desarrollo de cubiertas vegetales (PASTOR, 1990).

La decisión de emplear un herbicida como glifosato en lugar de recurrir a escardas manuales o mecanizadas es, finalmente, una cuestión económica, que ha cambiado considerablemente desde su introducción en 1974 hasta la actualidad. Tras una etapa inicial con altos costes unitarios del herbicida, asociados con un volumen de fabricación relativamente pequeño, y de importantes inversiones en comunicación y desarrollo de nuevas aplicaciones, a partir de 1985 se constataron importantes descensos en el precio del producto, mientras que los costes alternativos de mano de obra y combustible han crecido fuertemente como puede apreciarse en la Figura 4. Aunque esta materia activa no estaba protegida por una patente de producto, sólo implantada a partir de la incorporación de España a la Comunidad Económica Europea, la comercialización de versiones genéricas de este herbicida en 1979 y especialmente a partir de 1984, obligó a las mejoras antes citadas para defender su lugar en el mercado.

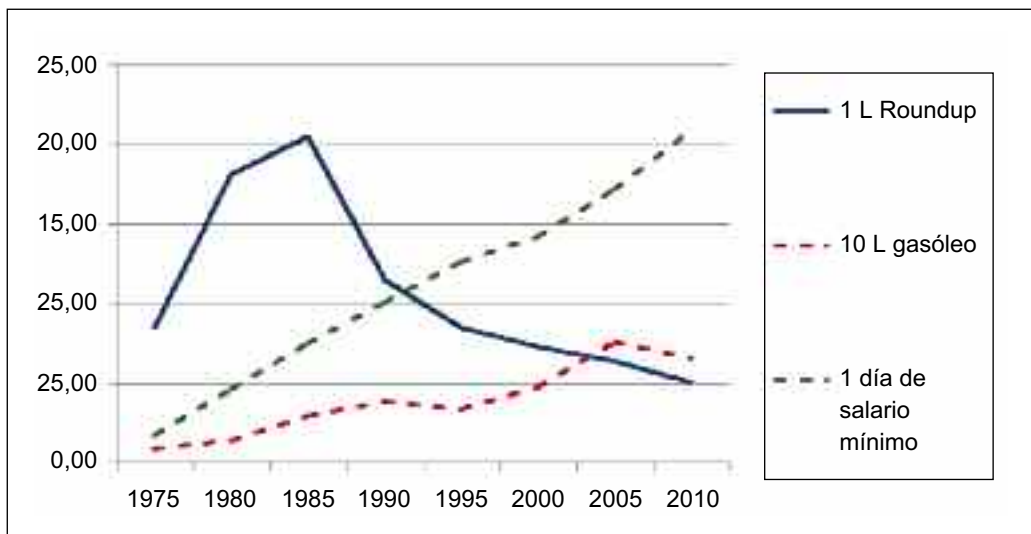


Figura 4. Evolución comparativa aproximada en España para los costes de gasóleo y mano de obra a precios corrientes en euros frente al precio del herbicida Roundup®

Pocos productos manufacturados pueden encontrarse hoy a un precio más económico que hace 35 años en precios corrientes.

### Oportunidad del empleo de glifosato desde el punto de vista medioambiental

La agricultura de conservación, que comprende técnicas como la siembra directa o el mínimo laboreo en cultivos herbáceos y las cubiertas vegetales en cultivos leñosos como el olivar, consiste en suprimir o reducir las labores mecánicas de preparación del suelo, de forma que su superficie quede cubierta al menos en un 30% por rastrojos o restos vegetales (GARCÍA TORRES y otros, 2003). Esto se consigue gracias a la disponibilidad de modernos equipos de siembra que dejan la semilla cubierta de suelo en tales condiciones, y a herbicidas como glifosato, que pueden controlar las malezas y rebrotes del cultivo anterior sin comprometer la viabilidad de la nueva siembra. La presencia de los restos vegetales en superficie amortigua el impacto de las gotas de lluvia o riego, actuando como trampa de agua (GIRÁLDEZ, 1997) y reduciendo el riesgo de erosión y lento empobrecimientos de los suelos desnudos y labrados (SWCS, 1994, PASTOR y otros 1997, GARCÍA TORRES y otros, 2003). El respeto a la integridad de las capas superiores del suelo implica mayores poblaciones de lombrices, hormigas, aves y otros

tipos de fauna que nidifica o tiene su hábitat en el suelo (BELMONTE, 1993, CASTRO y otros 1996, TEBRÜGGE, 2003, RODRÍGUEZ y otros, 2006, BARAIBAR y otros, 2009), gracias a su conservación en condiciones más naturales que no alteran su estratificación (JEFFERY y otros, 2010).

La agricultura de conservación ofrece dos importantes beneficios en la contribución de la agricultura para mitigar el cambio climático. Uno es la reducción en el consumo de gasóleo necesario para las labores alternativas, que puede llegar a 32-41 l/ha y mejora la productividad energética (toneladas de cosecha obtenidas por unidad de energía) (SWCS, 1994, HERNANZ y SÁNCHEZ-GIRÓN, 1997, GIL y otros, 2009), especialmente cuando la agricultura de conservación se combina con la rotación de cultivos. El segundo es que la oxidación más lenta de los restos vegetales que permanecen sobre el suelo conduce a un aumento en la materia orgánica hasta niveles más cercanos a los encontrados en las tierras sin roturar, y aumenta el carbono retenido en ella, que en los primeros años puede llegar a una inmovilización de 770 kg por ha y año (AEAC/SV, 2010). Estos beneficios pueden ser de suma importancia en la contribución de la agricultura para la mitigación del cambio climático, mejorando la eficiencia de las producciones para obtener alimentos o fibras y optimizando la producción de biocombustibles.



Figura 5. Siembra directa de maíz en rastrojo de cebada

### Seguridad de las aplicaciones, de acuerdo con la Regulación Europea

El mecanismo de acción del glifosato consiste en el bloqueo de una enzima que se encuentra en las plantas pero no en animales, y su baja peligrosidad para mamíferos ha sido reconocida por las autoridades españolas responsables del Registro de Productos Fitosanitarios, por los expertos de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1994), y también ha sido recogido en los datos de la monografía que ha aceptado a esta materia activa en el Anexo I del Registro europeo de

acuerdo con la Directiva 91/414/CEE (Comisión Europea, 2002).

Desde 1942, la comercialización de un producto fitosanitario en España requiere la inscripción previa en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios. La primera autorización para la primera formulación de glifosato en 1974 incluía la clasificación en la Categoría B(AA) que en 1978 fue modificada a la Categoría A(AA), de acuerdo con los datos más completos disponibles para la materia activa (SACHER, 1978, ATKINSON, 1985). Las dos últimas letras reflejaban el riesgo de las aplicaciones para la fauna terrestre o acuática, respectivamente (A=bajo, B=mediano, C=alto), aspecto en el que las autoridades de nuestro país fueron pioneras cuando la sensibilidad por el medio ambiente era muy distinta a la actual.

Posteriormente, la legislación española sobre residuos fue aproximándose a la vigente en otros países europeos y los límites máximos de residuos (en realidad tolerancias para la presencia de trazas de materia activa) para frutas y otros productos vegetales eran establecidos caso por caso, con un razonamiento científico. La legislación española también adoptó con el Real Decreto 1423 de 1982 la bajísima tolerancia de 0,1 microgramos/litro, para la presencia en aguas potables o subterráneas de cualquier producto fitosanitario, independientemente de su peligrosidad. Esta escasa tolerancia, ha sido exigida posteriormente también a los productos de la degradación de una sustancia activa con posible significación toxicológica en la regulación Europea, y ha constituido una de las causas para la prohibición del uso de importantes herbicidas que siguen siendo utilizados en otros continentes.

La Directiva 91/414/CEE, vigente en la Unión Europea desde 1993 para los nuevos productos fitosanitarios, armonizó la regulación para autorización de productos fitosanitarios en la UE. De acuerdo con los principios uniformes, en el momento de la autorización se exige garantizar que, cuando los productos fitosanitarios se utilicen adecuadamente para los fines previstos en su eti-

queta, sean lo suficientemente eficaces y no tengan efectos inaceptables sobre los vegetales o productos vegetales, ni efectos inaceptables sobre el medio ambiente en general, ni, en particular, un efecto nocivo sobre la salud humana o animal, o en las aguas subterráneas. Estas condiciones, han sido exigidas a todas las materias activas como el glifosato, que han superado la revisión para inclusión en el Anejo I de la Directiva 91/414/CEE y a cada una de sus formulaciones.

La peligrosidad de cada formulación herbicida es determinada por los expertos del Ministerio de Sanidad de acuerdo con los resultados de los estudios realizados con la materia activa y la propia formulación. Esta evaluación se concreta en frases y pictogramas de riesgo que tienen que aparecer en la etiqueta para alertar al usuario de los peligros más importantes, y consejos de prudencia para que se realice un uso adecuado del producto. Pero conviene recordar que:

Riesgo = Peligro x Exposición.

Dado que el glifosato tiene un perfil toxicológico relativamente favorable, se da la paradoja de que algunos productos formulados (como los autorizados con números de registro nº 16.948, 16.252 y 22.959) no precisan la inclusión de pictogramas indicativos de riesgo del producto cuando se presentan en envases llenos, pero estos envases se convierten en residuos peligrosos cuando están vacíos, como consecuencia de la aplicación indiscriminada del Real Decreto 952/1997, que ha complicado el cumplimiento con la Ley 11/1997 de envases y residuos de envases.

Otra de las consecuencias de la Directiva 91/414/CEE ha sido la necesidad de evaluar la seguridad durante la exposición de los aplicadores en los usos recomendados, lo que puede dar lugar a medidas adicionales para mitigación de riesgos. La exposición es calculada de acuerdo con diferentes modelos de exposición (UK POEM, etc.), con base en las cantidades de producto aplicadas

y formas de aplicación. Como en algunos casos los modelos de exposición sobrevaloran la cantidad absorbida por los aplicadores, ha sido necesario complementarlos con estudios de exposición en condiciones reales realizados de acuerdo con Buenas Prácticas de Laboratorio (ACQUAVELLA y otros, 2004) para la aceptación de los usos propuestos.

### **Beneficios de un uso integrado para frenar el calentamiento global y para preservar la biodiversidad frente a especies invasoras**

Con un herbicida que puede ser aplicado sin problemas para personas y medio ambiente, y unas condiciones socioeconómicas que favorecen su empleo, es aconsejable valorar su uso integrado en las mejores prácticas agronómicas para contribuir a unos resultados más eficientes y sostenibles. Así, se han comprobado beneficios para la biodiversidad en aplicaciones controladas de una formulación de glifosato con baja peligrosidad para la fauna acuícola para el control de

especies invasoras en el Parque Natural de l'Albufera de València (DIES JAMBRINO y FERNÁNDEZ ANERO, 1997).

Las reducciones en el consumo de gasóleo al sustituir las labores por tratamientos con glifosato son importantes, pues en la moderna olivicultura se consigue reducir de 12 a 3 los litros de gasóleo empleados en las labores necesarias para producir 100 kg de aceituna de almazara (basado en datos de PASTOR, 1990 y 1991) y con la agricultura de conservación en cultivos herbáceos las necesidades de gasóleo se reducen entre 32 y 41 l/ha (GIL y otros, 2009). Teniendo en cuenta la energía obtenida con la cosecha y la consumida en todos los factores de producción, la Asociación Española de Agricultura de Conservación, en documento publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio) ha concluido que la productividad energética máxima se consigue tras siembra directa con herbicidas o con mínimo laboreo (GIL y otros, 2009).

La eficiencia es considerada un avance positivo en la industria, el transporte y los

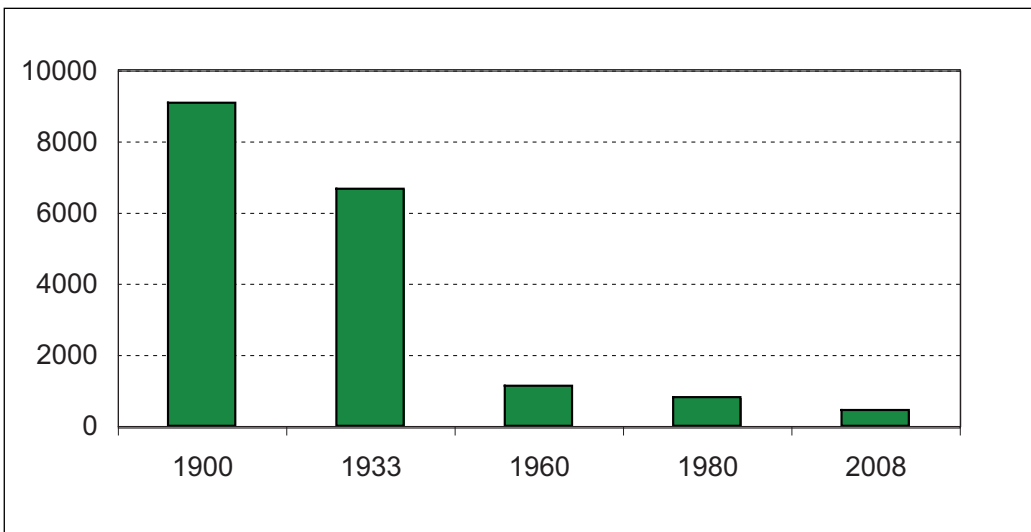


Figura 6. Superficie media de olivar en m<sup>2</sup>, necesaria para producir 100 kg de aceituna de almazara en España (según datos de Trueba y Villauriz, 2000, y Anuario de Estadística del MARM, 2009)



servicios, pero cuando se habla de “agricultura productivista” a menudo es de forma peyorativa. Aunque el mérito debe ser compartido con otros importantes avances agronómicos (mejora vegetal, densidad de plantación, riegos, fertilización, fitosanitarios, etc.) la disponibilidad de herbicidas basados en glifosato ha facilitado en olivar la adopción de nuevos sistemas de manejo del suelo que han contribuido a la impresionante mejora en la eficiencia reflejada en la Figura 6.

La mejora en la eficiencia productiva, acompañada del respeto al medio ambiente, es esencial para conservar la biodiversidad, pues reduce la superficie de suelo ocupada para obtener cada unidad de alimento, fibra o biocombustible, reduciendo la presión para roturar los espacios naturales que albergan la mayor variedad de organismos potencialmente útiles. Sin embargo se sigue roturando cada vez más a nivel mundial, pues la población no para de crecer y exige mejor alimentación, por lo que es urgente mejorar la eficiencia productiva en todos los países.

## REFLEXIONES Y RECOMENDACIONES

El abaratamiento relativo de las aplicaciones de glifosato frente a la mano de obra y el gasóleo explica su importante crecimiento en España y a nivel global, añadiendo razones económicas a los beneficios agronómicos y medioambientales de la reducción en el laboreo y las escardas manuales. Para mantener estos beneficios y promover un uso sostenible del glifosato en el nuevo marco regulatorio Europeo proponemos:

### Gestión responsable de las aplicaciones

Si la Directiva 91/414/CEE vela para que los productos fitosanitarios sean seguros cuando se utilicen adecuadamente, es obvio que gran parte de la responsabilidad de su empleo depende de que los aplicadores res-

peten escrupulosamente las condiciones que figuran en la etiqueta autorizada. Así, los usuarios están obligados a seguir las normas de aplicación para cada herbicida, de forma similar a la obligación de los conductores de coches que están obligados a seguir las normas de circulación. Y cuando ocurren infracciones, los posibles expedientes o sanciones tendrían que recaer sólo sobre los posibles desaprensivos, para que los operadores juiciosos no sean injustamente penalizados.

El éxito del glifosato ha significado una evolución en España desde la comercialización de un sólo formulado autorizado en 1974 hasta unos 114 herbicidas autorizados con esta materia activa en febrero de 2011. Las características y condiciones de empleo de esta amplia gama de herbicidas no tienen por qué coincidir, pero persiste la obligación de que cada uno sea aplicado de acuerdo con la etiqueta autorizada. Para ello, es aconsejable que tanto el fabricante como los operadores de la cadena de distribución acompañen la venta del herbicida con medidas de formación adecuadas para que el aplicador final use el producto correctamente. Esta tarea se llevó a cabo razonablemente en las primeras décadas del desarrollo de las primeras formulaciones de glifosato, pero en estos momentos los fabricantes se enfrentan al doble desafío de:

- Asegurar que el uso final del herbicida sea acorde con las crecientes exigencias regulatorias (Directiva 91/414/CEE y Reglamento CE nº 1107/2009), la Directiva 2009/128/CE sobre uso sostenible de fitosanitarios, y la Directiva marco de aguas 2000/60/CE, entre otras.
- Disponer de recursos suficientes para la gestión responsable del producto, en un marco de enorme competencia y márgenes económicos reducidos para formulados de glifosato (ver Figura 4).

La administración juega también un papel importante en este proceso, actualmente a nivel central durante el proceso de autorización de los formulados y a nivel autonómico

con recomendaciones de empleo o inspecciones ajustadas a las diferentes Comunidades Autónomas. La industria de productos fitosanitarios ha realizado importantes esfuerzos para optimizar la eficacia herbicida, pero cuando se consiguieron formulaciones que permitían reducir la cantidad de materia activa (SALTO y otros, 1989), apenas fueron reconocidas en un contexto que buscaba la optimización del uso de fitosanitarios.

Desde Monsanto, pensamos que la gestión responsable para un herbicida como glifosato no debe limitarse al lanzamiento comercial del

producto, sino que su desarrollo posterior debe ir acompañado con recomendaciones apropiadas, llegando hasta la fase de cancelación si fuera necesaria para alguna formulación. Para ello las recomendaciones de empleo y clarificación de las frases que aparecen en la etiqueta se transmiten a través de la correspondiente red de distribuidores, acompañadas de artículos impresos y páginas de Internet como: <http://www.weedresistancemanagement.com>, [www.egeis-toolbox.org](http://www.egeis-toolbox.org) (conjuntamente con otras empresas), y <http://www.monsanto.es> (sección sobre productos Monsanto).



Figura 7. Resumen de las medidas de gestión responsable más importantes para Roundup® Energy Pro (Registro 22.959)

### Gestión responsable frente a los casos de resistencias

Se considera que una mala hierba ha desarrollado resistencia a un herbicida cuando antes era bien controlada con las dosis autorizadas, pero con el paso del tiempo escapa al control del producto. Este fenómeno no es nuevo, ocurre con la mayoría de herbicidas y fitosanitarios tras aplicaciones reiteradas de la misma materia activa, y por tanto no es

exclusivo del glifosato ni de su empleo sobre plantas modificadas genéticamente que lo toleran. En España ya se han detectado y comprobado casos de resistencia en ciertos biotipos de *Lolium* (FERNÁNDEZ-ANERO y otros, 2005) y *Conyza* (URBANO, 2005, DE PRADO, 2010). El seguimiento a nivel mundial de los casos de resistencia es posible gracias a las páginas de Internet actualizadas por Ian Heap en [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org) de las que hemos extraído la siguiente figura.

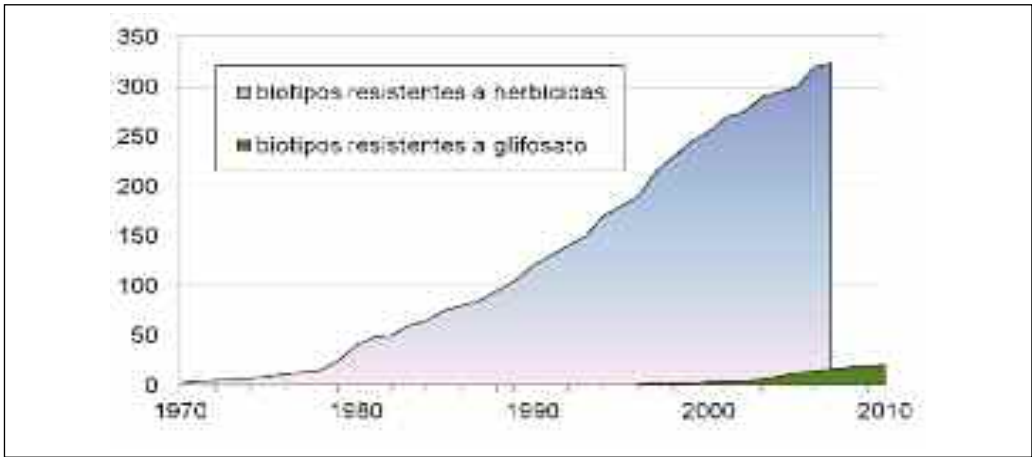


Figura 8. Aparición global de biotipos resistentes a glifosato y a otros herbicidas (según datos de I. Heap en [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org))

Para España, en las páginas [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org) se dan por confirmados casos de biotipos resistentes en *Lolium rigidum* (2004), *Lolium multiflorum* (2006), *Conyza bonariensis* (2004), *Conyza canadensis* (2006), y *Conyza sumatrensis* (2009). La prevalencia de biotipos resistentes a glifosato está relacionada con la aplicación reiterada de esta materia activa y parece estar asociada a algunas desventajas biológicas competitivas, tanto en *Lolium* (PRESTON y otros, 2009), como en *Conyza* (VALLE y URBANO, 2007).

Para la gestión correcta de las posibles resistencias a glifosato, conviene tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La detección de una resistencia a un herbicida no implica ningún efecto adverso para el medio ambiente, pues no conduce a efectos adversos para ningún organismo y es una prueba de la robustez de muchos ecosistemas. No obstante, la resistencia a un herbicida es un acontecimiento indeseable, pues reduce el valor del producto para el fabricante, para los distribuidores, y para el agricultor. El daño económico producido justifica tanto las estrategias de preven-

ción para evitar su aparición como las estrategias de gestión para reducir al mínimo su impacto, y la elección de la alternativa más adecuada debe corresponder al propio agricultor que compra el herbicida.

- Los factores asociados a las malezas que han desarrollado resistencia a glifosato son: aplicación reiterada y frecuente de esta materia activa, ausencia de rotaciones, supresión del laboreo y control incompleto de las malas hierbas presentes. Como la diseminación de malezas resistentes a glifosato es afortunadamente más lenta que la de plagas o enfermedades resistentes a otros fitosanitarios, una estrategia de gestión es aplicar las dosis de herbicida necesarias para un control completo de las hierbas indeseables. En el caso de que se observen rodales con malezas que han escapado al control, las áreas con estos biotipos deben ser gestionadas adecuadamente -antes de que las hierbas produzcan semillas-, usando otros tipos de herbicidas autorizados o mediante labores o prácticas culturales.
- Una circunstancia que está favoreciendo la aparición de malezas resistentes a gli-

fosato y a la vez dificulta su gestión es la reducción en el número de herbicidas alternativos disponibles, pues el paraquat era una buena solución a los primeros casos observados en vallico. Además de las labores superficiales

donde sean posibles, detallamos a continuación las materias activas alternativas que –cuando estén autorizadas en el cultivo implicado– pueden ayudar a controlar los biotipos resistentes de *Lolium* o *Conyza*.

<i>Lolium</i> (vallico, margall)	Materias activas alternativas
Pre-siembra de cultivos herbáceos	Cletodim, cicloxidim, glufosinato y quizalofop-p-etil
Aplicaciones dirigidas en cultivos leñosos	Amitrol, flazasulfuron, glufosinato, quizalofop-p-etil y cicloxidim (vid)
<i>Conyza</i> (pinet)	Materias activas alternativas
Pre-siembra de cultivos herbáceos	Fluroxipir, glufosinato, MCPA
Aplicaciones dirigidas en cultivos leñosos	Amitrol, flazasulfuron, fluroxipir, MCPA y glufosinato amónico

En cualquier caso, es deseable una gestión responsable de las aplicaciones por parte de todas las empresas implicadas en su comercialización, pues el glifosato se ha considerado menos peligroso que muchos de los herbicidas a los que reemplaza desde el punto de vista toxicológico y medioambiental (CERDEIRA y DUKE, 2006). En Holanda se ha detectado la presencia de trazas de AMPA (ácido amino metil fosfónico y metabolito de glifosato) en aguas superficiales, pero la procedencia de esta sustancia parece estar relacionada con el metabolismo de detergentes y otros aditivos fosfonados que llegan al agua en mayores cantidades<sup>(2)</sup>.

### Uso sostenible de las formulaciones de glifosato en la próxima década

Es de prever que durante los próximos años confluyan tres circunstancias que aconsejan una máxima atención para el buen uso de este herbicida, pues: a) no se anticipan razones para que el número de formulaciones autorizadas o la importancia de su empleo se reduzca sustancialmente, y es esperable una máxima atención a su empleo por

los expertos y autoridades; b) se está implementando de forma gradual la Directiva 2009/128/CE que establece un marco para un uso sostenible de plaguicidas, con el fin de reducir sus riesgos (ORODEA, 2008; COSIALLS y otros, 2010); y c) a partir de 2014, toda la agricultura europea deberá seguir los principios de la producción integrada.

De acuerdo con el Real Decreto 1201/2002 que regula la producción integrada de productos agrícolas, se definen como producción integrada los sistemas agrícolas de obtención de vegetales que utilizan al máximo los recursos y los mecanismos de producción naturales y aseguran a largo plazo una agricultura sostenible, introduciendo en ella métodos mecánicos, biológicos y químicos de control, y otras técnicas que compatibilicen las exigencias de la sociedad, la protección del medio ambiente y la productividad agrícola. Para el control de malas hierbas, este Decreto da preferencia a los medios mecánicos, biológicos o aquellos que ofrezcan el menor riesgo de emisiones de CO<sub>2</sub>, condición que se cumple cuando la aplicación de un herbicida como glifosato en agricultura de conservación evita emisiones superiores asociadas a las labores (Gil y

<sup>(2)</sup> [http://www.egeis.org/home/glyph\\_info/ampa\\_report\\_summaries.html?m=s2s3](http://www.egeis.org/home/glyph_info/ampa_report_summaries.html?m=s2s3)

otros, 2009). Las tres circunstancias descritas al principio de este apartado requieren la máxima atención de empresas, distribuidores y agricultores o aplicadores, en aspectos como:

### 1. **Máximo respeto a las regulaciones.**

Dado que la imagen de los fitosanitarios es cuestionada por aquellos que ignoran las estrictas condiciones impuestas para su aprobación, es esencial actuar correctamente, pero también muy importante que este cumplimiento se transmita al resto de la sociedad. Entre otros, destacamos:

- Completar la formación exigida para distribuidores y aplicadores. Es un logro que sólo en Cataluña ya hay más de 36.000 personas que disponen de carnets de aplicador de fitosanitarios (COSIALS y otros, 2010), y tendrá que completarse en otras zonas, incluyendo la formación exigida a los distribuidores y operadores comerciales de productos fitosanitarios.
- Inscribir en cada Comunidad Autónoma antes del 15 de julio de 2011 todos los equipos arrastrados o suspendidos para la aplicación de herbicidas (Real Decreto 1013/2009), y no descuidar las revisiones posteriores, pues las boquillas y otros componentes pueden haberse desgastado y necesitar cambios. La inscripción debe realizarse en los Registros Oficiales de Maquinaria Agrícola (ROMA) de los Servicios Provinciales de Agricultura y Alimentación<sup>(3)</sup>.
- Anotar, y conservar durante 2 años, el registro de las plagas y malas hierbas tratadas para cada parcela, fechas de aplicación, y el producto empleado con su número de Registro (Orden APA/326/2007). Para no

ver reducidas las ayudas relacionadas con la condicionalidad, también hay que conservar durante dos años las facturas de adquisición del producto, o contratos con las empresas de tratamientos (TABERNER, 2010).

- Llevar a cabo las aplicaciones sin descuidar ninguna norma de seguridad personal, pues un uso descuidado de la maquinaria podría convertir en irrelevante el alto grado de seguridad obtenido con las mejores formulaciones de glifosato.
- Enjuagar con agua limpia el equipo utilizado en lugares donde el líquido caiga en áreas con suelo mullido, o cubiertas de vegetación o restos vegetales (cerca de las parcelas tratadas), para evitar que los residuos del herbicida lleguen a corrientes de agua superficial.
- Gestión responsable de los envases vacíos y restos de envases, procurando agotar su contenido en las aplicaciones autorizadas, depositando los envases de las empresas acogidas al programa SIGFITO en los lugares de recogida debidamente establecidos. Si el envase no muestra el anagrama de SIGFITO tendrá que ser devuelto al proveedor o a otro gestor autorizado.

La adaptación de los agricultores a las enormes posibilidades de las comunicaciones por Internet y el archivo electrónico de datos en ordenadores personales puede facilitar estas operaciones y convertirlas en una práctica tan cotidiana como lo es ya el empleo de teléfonos celulares.

- ### 2. **Aplicar el herbicida sólo donde haga falta.** Es imprescindible respetar todas y cada una de las recomendaciones de la etiqueta, siguiendo las buenas prácticas agrícolas descritas en la Figura 7.

<sup>(3)</sup> [http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/AgriculturaAlimentacion/Documentos/docs2/Areas/Sanidad\\_Vegetal/Proteccion\\_Vegetal/Publicaciones/7\\_FITOSANITARIOMARZOABRIL2011.pdf](http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/AgriculturaAlimentacion/Documentos/docs2/Areas/Sanidad_Vegetal/Proteccion_Vegetal/Publicaciones/7_FITOSANITARIOMARZOABRIL2011.pdf)

Puesto que la eficacia de algunas formulaciones de glifosato es igual o mayor cuando se reduce el volumen de caldo empleado, la deriva de pulverización hacia aguas o cultivos vecinos puede ser fácilmente evitada tratando

en días sin viento, manteniendo una presión inferior a 2,5 atmósferas y/o empleando boquillas anti-deriva. Una pequeña muestra no exhaustiva de tipos de boquillas disponibles para ellos:

Fabricante	Boquillas para tratamientos a baja presión o antideriva
www.albuz.saint-gobain.com	AVI 8001, AVI 11001 (para barras), MVI (espejo)
www.delavanagspray.com	RF Flatspray, Raindrop Ultra Plus, RA Hollow cone
www.hardi.es	Minidrift
www.lechler.de	ID 90-01, IDK 120-01, LU 90-01(para barras)
www.teejet.com	DG Teejet, XR Teejet (barras), Turbo Floodjet (Espejo)

El interés de esta materia activa para una gestión integrada de malas hierbas se deriva de características como:

- Inactivación en contacto con el suelo, seguida de biodegradación de los residuos inertes. Por ello su aplicación no interfiere en las rotaciones de cultivos, siempre deseables para una mejor sanidad del cultivo.
- Menor alteración que con labores mecánicas alternativas del hábitat de las especies no objetivo que nidifican en el suelo (aves, lombrices, artrópodos, etc.)
- Compatibilidad con las siegas y labores mecánicas cuando tienen justificación más allá del control de malezas. Una vez que han transcurrido 24 – 48 h desde que las hierbas han sido tratadas con glifosato, las labores pueden aplicarse sin reducir el control herbicida.
- Facilitan el control de la erosión al dejar sobre el suelo los restos de cultivos (rastros) y de las malezas tratadas.
- Contribuyen a mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>, tanto por controlar la vegetación con menor consumo de gasóleo (GIL y otros, 2009) como por permitir una oxidación más lenta de los restos vegetales en ausencia de

labores, de forma que la acumulación de materia orgánica se comporta como un sumidero de carbono.

### 3. Gestión responsable de las aplicaciones sobre variedades Roundup Ready® (modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato)

Son variedades mejoradas que incorporan en su ADN ciertas secuencias genéticas que representan una pequeñísima proporción del germoplasma de la planta, pero cuya presencia le confiere la capacidad de tolerar la aplicación del glifosato sobre plantas del cultivo, en sus primeras fases de desarrollo. Esta tolerancia se consigue gracias a la producción por la propia planta de trazas de una proteína (CP-4 EPSPS) funcionalmente similar a la producida por plantas convencionales, pero que no es inactivada por la aplicación del herbicida (COSTA y otros, 2007). La excelente tolerancia del cultivo MG (modificado genéticamente) a este herbicida de amplio espectro simplifica las operaciones del agricultor, en superficies que en 2010 alcanzaron más de 100 millones de hectáreas sembradas en EE.UU., Brasil, Argentina, Canadá, Sudáfrica y otros países.

La autorización para el cultivo de una modificación genética requiere que

los riesgos para el medio ambiente del cultivo propuesto no sean superiores a los de las variedades convencionales. En el caso de los maíces NK603, por ejemplo, esta evaluación de riesgo liderada por España, requiere que las condiciones de empleo del herbicida autorizado para este uso eviten efectos potencialmente adversos para el medio ambiente como 1) cambios de flora hacia una menor biodiversidad agraria, 2) evolución de resistencia a herbicidas, y 3) efectos sobre las comunidades microbianas (EFSA, 2009).

Por ello, además de emplear y seguir la etiqueta de una formulación de glifosato autorizada específicamente sobre maíces tolerantes a glifosato –para que luego no se presenten problemas de residuos, eficacia, selectividad, o efectos indeseables para el medio ambiente- es imperativo seguir las indicaciones distribuidas con las semillas derivadas de la modificación genética NK603 que incluirán:

– Recomendaciones para prevenir en el cultivo de maíz tolerante la apari-

ción de hierbas resistentes a glifosato, por ejemplo mediante programas que limiten la aplicación de glifosato y alternando su empleo con el de otros herbicidas o técnicas culturales. Si a pesar de estas recomendaciones se observara resistencia a glifosato en alguna especie, deberá comunicarse al fabricante del herbicida y al proveedor de la semilla, no utilizando de nuevo estas variedades en las parcelas afectadas mientras persista el problema.

- Recomendaciones de coexistencia, similares a las difundidas actualmente para maíces MG protegidos contra taladros<sup>(4)</sup>, para que el cultivo de estas variedades no obligue al etiquetado de maíces vecinos convencionales o ecológicos.
- Requisitos de trazabilidad y etiquetado, para cumplimiento del Reglamento CE 1830/2003, que incluyen la comunicación por escrito a los compradores del grano, para que los productos finales lleguen correctamente etiquetados y los consumidores puedan elegir.

#### ABSTRACT

COSTA, J., NOVILLO, C., ÁLVAREZ-SABORIDO, A. 2011. Glyphosate: 35 years of use and challenges for the future. *Bol. San. Veg. Plagas*, 37: 263-279.

In this paper, the characteristics of glyphosate, which in the last 35 years have allowed the growth of its use to become one of the major herbicides in Spain, are reviewed. The proven benefits (time savings, erosion control, production efficiency and mitigation of CO<sub>2</sub> emissions) and safety of applications in multiple situations, support the continued use within integrated crop production systems which help to mitigate the climate change and helping in the control of invasive species. The higher use frequency, derived from its benefits, advises for the future a proper stewardship of glyphosate applications, including pre plant applications in annual crops, directed applications in woody crops and potential applications over the top of young plants of glyphosate tolerant, genetically modified varieties. The stewardship required must include actions to prevent and/or manage the risk of glyphosate resistant weeds, the use of best application technologies to limit the herbicide presence to sprayed areas, and an exquisite adherence to regulations, jointly with a proper results communication.

**Key words:** Application, agriculture, sustainability, transgenic, GM varieties.

<sup>(4)</sup> [http://www.anove.es/docs/maizbt\\_2011.pdf](http://www.anove.es/docs/maizbt_2011.pdf)

## REFERENCIAS

- ACQUAVELLA, J. F., ALEXANDER, B. H., MANDEL, J. S., GUSTIN, C., BAKER, B., CHAPMAN, P., BLEEKE, M. 2004. Glyphosate Biomonitoring for Farmers and Their Families: Results from the Farm Family Exposure Study. *Environmental Health Perspectives*, **112**: 321-326.
- AEAC/SV. 2010. El Proyecto LIFE + Agricarbon: una iniciativa para el cuidado del medio ambiente desde el sector agrario. *Agricultura de Conservación*, **15**: 18-19.
- ATKINSON, D. 1985. Toxicological properties of glyphosate-a summary. Pp. 127-150 en E. Grossbard y D. Atkinson (eds) "The herbicide glyphosate", Butterworths, London, 490 p.
- BARAIBAR, B., WESTERMAN, P. R., CARRIÓN E., RECASENS, J. 2009. Effects of tillage and irrigation in cereal fields on weed seed removal by seed predators. *Journal of Applied Ecology*, **46**: 380-387.
- BELMONTE, J. 1993. Estudio comparativo sobre la influencia del laboreo en las poblaciones de vertebrados en la campiña de Jerez. *Bol. San. Veg. Plagas*, **19**: 211-220.
- CASTRO, J., CAMPOS, P. PASTOR, M. 1996. Influencia de los sistemas de cultivo empleados en olivar y girasol sobre la composición de la fauna de artrópodos en el suelo. *Bol. San. Veg. Plagas*, **22**: 557-570.
- CERDEIRA, A. L., DUKE, S. O. 2006. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: A review. *Journal of Environmental Quality*, **35**: 1633-1658.
- COMISIÓN EUROPEA. 2002. Review report for the active substance glyphosate. SANCO 6511/VI/99-final. 56 p.  
[http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/existactive/list1\\_glyphosate\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/existactive/list1_glyphosate_en.pdf)
- COSIALS, J.R., FORNER, A., NOLLA, A. 2010. La Directiva 2009/128/CE, que establece un marco para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. *Dossier Tècnic*, **47**: 13-16.
- COSTA, J., EULALIO, P., FERNÁNDEZ-ANERO, J., GARNETT, R., MARTÍN, C., MUELLEDER, N., NOVILLO, C., PLANCKE, M. P., PLEYSIER, A. 2007. Seguridad del herbicida Roundup Ready®, y de su empleo sobre variedades modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato. Cuaderno Técnico, nº 6. Monsanto Agricultura España, S.L., 59 p.
- CPRH. 2011. La Resistencia de las malas hierbas a los herbicidas. Comité para la Prevención de Resistencias a Herbicidas (CPRH). Unidad de Malherbología, Servicio de Sanidad Vegetal, Lleida, 14 p.
- DIES JAMBRINO, J. I., FERNÁNDEZ-ANERO, J. 1997. Resultados en la recuperación de la biodiversidad en el Racó de l'Olla (l'Albufera de València) tras la aplicación selectiva de un herbicida de baja peligrosidad. *Boletín. Sanidad Vegetal. Plagas*, **23**: 17-37.
- EFSA. 2009. Scientific Opinion: Applications (referencias EFSA-GMO-NL-2005-22, EFSA-GMO-RX-NK603) for the placing on the market of the genetically modified glyphosate tolerant maize NK603 for cultivation, food and feed uses, import and processing and for the renewal of the authorization of maize NK603 as existing products, both under Regulation (EC) No 1829/2003 from Monsanto. *The EFSA Journal*, **1137**: 1-50.
- FERNÁNDEZ-ANERO, J., COSTA, J., PLANCKE, M. P., GARNETT, R., STARKE, M. 2005. 30 años de eficacia con Roundup. Visión general y situación en los casos de resistencia a glifosato. *Phytoma España*, **173**: 119-125.
- GARCÍA-TORRES, L., BENITES, J., MARTÍNEZ-VILELA, A., HOLGADO-CABRERA, A. 2003. Conservation Agriculture. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 516 p.
- GIESY, J. P., DOBSON, S., SÓLOMON, K. R. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, **167**: 35-120.
- GIL, J., VEROZ, O., HERNANZ, J. L., GONZÁLEZ, E. 2009. Ahorro y eficiencia energética con agricultura de conservación. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid, 56 p.
- GIRÁLDEZ, J. V. 1997. Efectos de los diferentes sistemas de laboreo sobre las propiedades físicas del suelo. Pp. 13-39 en García Torres, L. y González Fernández, P. (eds) "Agricultura de conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos". Asociación Española de Laboreo de Conservación/Suelos Vivos, Córdoba, 372 p.
- GÓMEZ DE BARREDA, D. 1981. La escarda química en los agrios. Cuaderno INIA nº 10. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura y Pesca, Madrid 155 p.
- GROSSBARD, E., ATKINSON, D. (Eds.). 1985. The herbicide glyphosate. Butterworths, London, 490 p.
- HERNANZ, J. L., SÁNCHEZ-GIRÓN, V. 1997. Utilización de la energía en diversos sistemas de laboreo. Pp. 243-257 en García Torres, L. y González Fernández, P. (eds) "Agricultura de conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos". Asociación Española de Laboreo de Conservación/Suelos Vivos, Córdoba, 372 p.
- JAMES, C. 2010. Situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos / MG en 2010. Resumen Ejecutivo nº 42. ISAAA, Ithaca, New York, 26 p.
- JEFFERY, S., GARDI, C., JONES, A., MONTANARELLA, L., MARMO, L., MIKO, L., RITZ, K., PERES, G., RÖMBKE, J., VAN DER PUTTEN, W. H. (eds). 2010. European Atlas of Soil Biodiversity. European Commission, Publications Office of the EU, 130 p.
- MUÑOZ, A., LÓPEZ-PIÑEIRO, A., RAMÍREZ, M. 2007. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. *Soil & Tillage Research*, **95**: 255-265.
- OERKE, E-C. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* **144**: 31-43.
- ORDÓÑEZ, R., R. CARBONELL, P. GONZÁLEZ, VEROZ, O., 2008. Efecto de las operaciones agrícolas sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. *Agricultura de Conservación*, **10**: 40-44.
- ORODEA, L.F. 2008. Directiva de uso sostenible de los plaguicidas. *Phytoma España*, **203**: 19-22.



- PASTOR, M. 1990-91. El no laboreo y otros sistemas de laboreo reducido en el cultivo del olivar. *OLIVAE*, **34**: 18-30 y **35**: 35-49.
- PASTOR, M., CASTRO, J., VEGA, V., HUMANES, M<sup>a</sup>. D. 1997. Sistemas de manejo del suelo. Pp. 189-228 en D. BARRANCO, D. FERNÁNDEZ-ESCOBAR y L. RALLO (eds) "El cultivo del olivo". Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 605 p.
- PARK, J. R., MCFARLANE, I., PHIPPS, R. H., CEDDIA, G. 2011. The role of transgenic crops in sustainable development. *Plant Biotechnology Journal*, **9**: 2-21.
- PRESTON, P., WAKELIN, A. M., DOLMAN, F. C., BOSTAMAM, Y., BOUTSALIS, P. 2009. A decade of glyphosate-resistant *Lolium* around the World: mechanisms, genes, fitness, and agronomic management. *Weed Science*, **57**: 435-441.
- RODRÍGUEZ, E., FERNÁNDEZ-ANERO, F. J., RUIZ, P., CAMPOS, M. 2006. Soil arthropod abundance under conventional and no tillage in a Mediterranean climate. *Soil & Tillage Research*, **85**: 229-233.
- SACHER, R. 1978. Safety of Roundup in the environment. Pp- 3-23 en "Roundup Seminar. Paper", Madrid, 57 p.
- SALTO, T., COSTA, J., GARCÍA-BAUDÍN, J. M<sup>a</sup>. 1989. Eficacia a corto plazo de una nueva formulación de glifosato. *Proc. 4 EWRS Mediterranean Symposium 1989. Tomo I*: 174-178.
- SWCS. 1994. White Paper. Farming for a better environment. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, 67 p.
- TABERNER, A. 2010. Obligacions dels agricultors quant a la utilització dels productes fitosanitaris i la seva implicació en la condicionalitat dels ajuts. *Dossier Tècnic*, **47**: 21-23.
- TEBRÜGGE, F. 2003. No-Tillage visions – Protection of soil, water and climate and influence on management and farm income. Pp. 327-340 in "Conservation Agriculture", Ed by GARCÍA-TORRES *et al.*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 516 p.
- TRUEBA, D., VILLLAURIZ, A. 2000. Evolución y desarrollo de los cultivos agrarios en España durante el siglo XX. *PHYTOMA España*, **119**: 66-70.
- URBANO. 2005. Manejo de poblaciones de *Conyza bonariensis* resistentes a glifosato. *Phytoma España*, **173**: 114-118.
- VALERA, A., COSTA, J. 1990. Seguridad de Sting<sup>TM</sup> SE en olivar. Tratamientos herbicidas con presencia de aceitunas sobre el suelo. *Actas Reunión 1990 de la Sociedad Española de Malherbología*: 225-230.
- VALLE, J., URBANO, J. M. 2007. Estudio de la herencia de la Resistencia a glifosato en *Conyza bonariensis*. *Congreso 2007 de la Sociedad Española de Malherbología*: 355-358.
- WHO. 1994. Environmental Health Criteria No. 159. Glyphosate. World Health Organization, International Programme of Chemical Safety (IPCS), Geneva, 123 p.
- WHO. 1997. Rolling Revision of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. WHO, Geneva, 23 p.
- VON WITZKE, H., NOLEPPA, S. 2010. EU agricultural production and trade: Can more efficiency prevent increasing "land-grabbing" outside of Europe? Research Report, Humboldt University, Berlin, 40 p.

(Recepción: 9 marzo 2011)

(Aceptación: 7 noviembre 2011)