

¿Cómo integrar el manejo de biotipos resistentes en los DSS? El caso de la versión española del CPOWeeds

José María Montull¹✉, Per Rydahl³, Ole M. Boejer³, Andreu Taberner^{1,2}

¹Grupo de Investigación en Malherbología y Ecología Vegetal. UdL.Agrotecnio Av. Rovira Roure 191

²Servicio de Sanidad Vegetal. Generalitat de Catalunya. Av. RoviraRoure 191. 25198 Lleida. Spain

³IPMConsult. Denmark

✉ josemontull@hbj.udl.cat

Resumen: El CPOWeeds danés es un DSS diseñado para optimizar el uso de herbicidas utilizado desde 1991. En 2009 se empezó a diseñar una versión adaptada a la agricultura española pensando en que podría ser una buena herramienta para la prevención y el manejo de biotipos resistentes. El primer objetivo fue el definir unos niveles de eficacia requerida adecuados. El segundo objetivo fue el cómo se integraban los biotipos resistentes. Para esto, se decidió definir los biotipos resistentes como especies diferentes. Así, el DSS tiene en cuenta qué herbicidas se ven afectados por cada mecanismo de resistencia y hace la recomendación en consecuencia. Por último, al DSS se le puede indicar que no recomiende la mezcla de herbicidas concretos. Con todo esto, lo que se pretende es facilitar el trabajo a los asesores y agricultores.

Palabras clave: DSS, manejo, resistencia.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de ayuda a la decisión (Decision Support Systems, DSS) juegan un rol muy importante en la adecuada selección de productos fitosanitarios y dosis. Estos sistemas pueden especificar tanto herbicidas concretos como las dosis a aplicar para una infestación de malas hierbas en concreto y así conseguir la eficacia deseada (Rydahl et al., 2008).

El CPOWeeds danés es un DSS diseñado para optimizar el uso de herbicidas utilizado desde 1991. En 2009 se empezó a diseñar una versión adaptada a la agricultura española pensando en que podría ser una buena herramienta para la prevención y el manejo de biotipos resistentes. Por esto, se plantearon varios aspectos que se consideraban importantes de cara a conseguir este objetivo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Aspectos importantes para la puesta a punto del DSS. El primero fue el definir unos niveles de eficacia requerida adecuados, teniendo en cuenta que un 100% de control no es realístico porque siempre sobreviven algunas plantas, incluso a la dosis máxima autorizada. Además, no hay que olvidar el efecto de la competencia del cultivo aunque las plantas no estén completamente muertas (Boutin et al., 2000; Terra et al., 2007). Así se pretende evitar el desarrollo de resistencias NTSR por la utilización de dosis excesivamente bajas (Busi et al., 2012; Renton et al., 2014), así como evitar una sobredosisificación de herbicidas en especies que se consideran de poco riesgo o son poco competitivas. En esta misma línea, si se realizan tratamientos tardíos, en los cuales un solo herbicida puede ser insuficiente, el programa recomienda la mezcla de otro para conseguir la eficacia objetivo.

La eficacia requerida se ha definido en base a conocimiento experto y a datos de competencia obtenidos en bibliografía. En especies para las que no se tienen datos, se han considerado niveles de eficacia requerida iguales a los de especies que pueden considerarse similares.

Tabla 1. Eficacia requerida (%) para cada densidad de infestación de malas hierbas (Plantas/m²). Se distingue entre biotipos sensibles y resistentes para algunas especies

| Especie | Eficacia requerida (%) para cada densidad (plantas/m ²) | | | | | |
|-------------------------------------|---|------|-------|--------|---------|---------|
| | ½-1 | 2-10 | 11-40 | 41-150 | 150-300 | 300-600 |
| <i>Alopecurus myosuroides</i> | 0 | 85 | 90 | 93 | 94 | 96 |
| <i>Anthemis arvensis</i> | 0 | 70 | 83 | 89 | 92 | 94 |
| <i>Avena sterilis</i> | 0 | 85 | 90 | 93 | 94 | 96 |
| <i>Bromus spp.</i> | 0 | 85 | 90 | 93 | 94 | 96 |
| <i>Galium aparine</i> | 85 | 89 | 91 | 93 | 94 | 96 |
| <i>Lactuca serriola</i> | 70 | 79 | 84 | 89 | 92 | 95 |
| <i>Lolium rigidum</i> | 0 | 85 | 90 | 93 | 94 | 96 |
| <i>Lolium rigidum</i> Met-resistant | 85 | 89 | 91 | 93 | 94 | 96 |
| <i>Papaver rhoeas</i> | 0 | 85 | 90 | 93 | 94 | 96 |
| <i>Sinapis arvensis</i> | 65 | 75 | 82 | 88 | 91 | 94 |
| <i>Veronica hedaerifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 86 | 90 | 94 |
| <i>Viola arvensis</i> | 0 | 0 | 0 | 86 | 90 | 94 |

Para especies muy competitivas y con una gran riesgo de desarrollo de resistencias como *Lolium rigidum* se requieren eficacias muy altas, sobre todo, en infestaciones medias o altas. Especies secundarias o sin riesgo de desarrollo de resistencias requieren menos eficacias, sobre todo, a densidades bajas. Hay que tener en cuenta que la asíntota superior de la curva dosis-respuesta implica que incrementos pequeños de eficacia a partir de ciertos niveles implican un aumento de dosis considerable (Seefeldt et al., 1995).

Además, se tiene en cuenta que existen en nuestras condiciones biotipos de *L. rigidum* resistente a herbicidas por CYP450 (Yu and Powles 2014). En ese caso, la eficacia requerida incluso a infestaciones bajas es mayor que la correspondiente a biotipos sensibles. Así, se pretende que estos biotipos puedan ser tratados a dosis subletales, incluso a densidades bajas.

2.2. Definición de biotipos resistentes. El segundo aspecto fue el cómo se integraban los biotipos resistentes de las diferentes especies. Para esto, se decidió definir los biotipos resistentes como especies diferentes, por ejemplo: *Lolium rigidum* A-r, que indica que se trata de un biotipo de *Lolium* resistente a herbicidas del grupo A (HRAC, 2017).

Así, el DSS tiene en cuenta que herbicidas se ven afectados por cada mecanismo de resistencia, hace la recomendación en consecuencia y se simplifica la base estadística del cálculo de eficacias herbicidas.

Por último, al DSS se le puede indicar que no recomiende la mezcla de herbicidas concretos. Con esto, se pretende que no recomiende herbicidas antagonicos o con el mismo mecanismo de degradación.

Tabla 2. Casos de resistencia incluidos por especie y herbicidas a los que se considera que afectan

| Especie | Mecanismo de resistencia | Se considera completamente resistente a: |
|-----------------------------------|--------------------------|---|
| <i>Avena sterilis</i> | | |
| <i>Avena sterilis</i> A-r | Target Site | Fop's, Dim's yPinoxaden |
| <i>Lolium rigidum</i> | | |
| <i>Lolium rigidum</i> A-r | Target Site | Fop's, Dim's yPinoxaden |
| <i>Lolium rigidum</i> B-r | Target Site | Sulfonilureas, triazolopirimidinase imidazolinonas |
| <i>Lolium rigidum</i> Metabolic-r | NTSR | Clortoluron. Se considera que disminuye la eficacia de los herbicidas de los grupos A y B |
| <i>Papaver rhoeas</i> | | |
| <i>Papaver rhoeas</i> B-r | TSR | Sulfonilureas, triazolopirimidinase imidazolinonas |
| <i>Papaver rhoeas</i> O-r | NTSR | Herbicidas hormonales |
| <i>Papaverrhoeas</i> O+B-r | TSR y NTSR | Sulfonilureas, triazolopirimidinas, imidazolinonas y herbicidas hormonales |

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Importancia de tener eficacias adecuadas. La base teórica no tiene sentido si las eficacias obtenidas en campo no son acordes con las predicciones de eficacia dadas por el programa. Es básico el tener la mínima diferencia posible entre valores observados y predichos, pero siempre desde el lado de la robustez. Así, se evita tanto subdosificar como sobre dosificar herbicidas.

Durante cuatro años (Campañas agrícolas desde 2010 a 2013) se comprobaron en campo las eficacias obtenidas con el DSS tanto en trigo como en cebada. Tal y como puede verse en la figura 1, el 84,2% las eficacias fueron iguales o superiores a las previstas, con una diferencia promedio de un 2,35% (Montull et al., 2014).

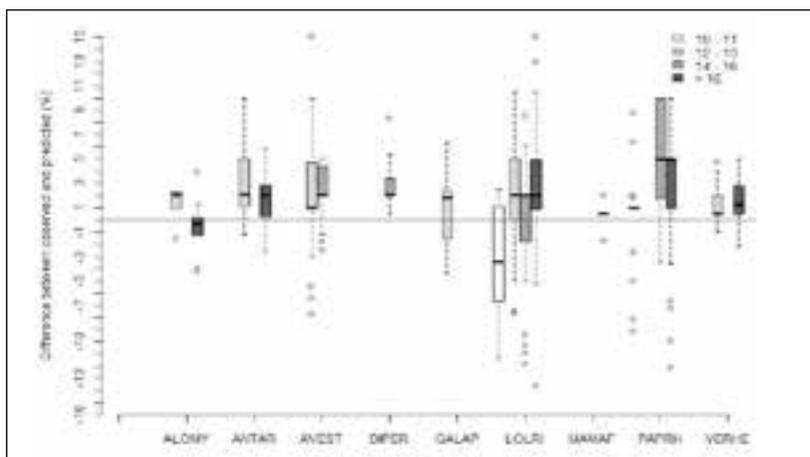


Figura 1. Diferencias entre valores observados y predichos por el DSS en ensayos en campo.

Los resultados obtenidos son muy ajustados, sobre todo, en aplicaciones entre 12 y 16 BBCH de las malas hierbas cuando ya se ha podido evaluar la infestación presente.

3.2. Interface del DSS-IWM. En la última versión desarrollada dentro del proyecto DSS-IWMse ha planteado que sea más intuitiva y ligera de forma que funcione adecuadamente tanto con ordenadores como con smartphones y tablets.

Así, el agricultor o el técnico pueden consultar el programa directamente desde la parcela. Tal y como puede verse en la figura 2, se selecciona la especie y se indica si el biotipo presenta algún mecanismo de resistencia. Además, si se selecciona la opción *Show options for prevention of resistance*, el DSS permite eliminar las recomendaciones con herbicidas de los modos de acción deseados.



Figura 2. Interface del DSS-IWM en el que se muestra la selección de *Lolium rigidum* resistente a herbicidas del grupo A y de *Papaver rhoeas* resistente a herbicidas del grupo O.

3.3. Ejemplo de sugerencias. En la figura 3 se muestra la salida del programa en base a la infestación presente en la figura 2 para el cultivo de trigo de invierno. Se observa como no hay ninguna sugerencia de tratamiento con herbicidas pertenecientes a alguno de los dos grupos.

Además, se muestra el modo de acción (MOA) de los herbicidas recomendados de manera que, el agricultor o el técnico puedan plantear una rotación entre MOA's durante los diferentes años. De lo que se trata es de tener un buen abanico de elección para así poder prevenir de forma adecuada el desarrollo de biotipos resistentes.

3.4. Ejemplo de dosis requeridas para cada especie e infestación. En la figura 4 se muestran las eficacias predichas para diferentes dosis del herbicida Axial Pro, que contiene un 10% de pinoxaden. Se observa que, en caso de biotipos resistentes a herbicidas del grupo A, la eficacia predicha es cercana al 0% a la dosis máxima autorizada. Por esto, la dosis del herbicida requerida para tener un control aceptable sería altísima y aparece destacada en rojo para indicar que no está autorizada.

| Consultas: | | 6/2017 - Pw (Consultas) |
|---|------------------------------|----------------------------------|
| Local: | Herencia (Huesca) | Países beneficiarios de cultivo: |
| Tipo de cultivo: | SPN | 12 3 Hojas de pajarito |
| Fecha inicio: | Troncal | Beneficiarios (ha) |
| Región: | 0 °C - 14 °C | Coste (€/ha) |
| Actividad (ha): | Plowshare, 0 ha | |
| 3-4 Hojas, 51 - 150 (30%) 33% | 3-4 Hojas, 11 - 30 (30%) 91% | |
| Sugerencias | País (€) | MSA |
| 1) Axial Pro (100 g) - Metolax 325 (12.4 ml) - Bopower (0.1) | 85.1 | 0.73 |
| 2) Axial Pro (100.7 g) - Gencor 90 (3.7 g) - Sulactera DF (0.1) | 17.38 | 0.92 |
| 3) Axial Pro (100.7 g) - Raxig (2.8 g) - Bopower (0.1) | 17.88 | 0.73 |
| 4) Alerte (215.2 g) - Metolax 325 (25 ml) - Bopower (0.1) | 11.01 | 0.73 |
| 5) Alerte (203 g) - Gencor 90 (3.2 g) - Sulactera DF (0.1) | 18.11 | 0.92 |
| 6) Alerte (203 g) - Raxig (2.4 g) - Bopower (0.1) | 18.22 | 0.73 |
| 7) Axial Pro (106.1 g) - Raxig 7 (1.4 g) - Bopower (0.1) | 33.33 | 0.92 |
| 8) Axial Pro (106.7 g) - Regra (0.1 ml) - Bopower (0.1) | 40.14 | 0.92 |
| 9) Alerte (215.2 g) - Raxig 7 (0.2 g) - Bopower (0.1) | 41.02 | 0.92 |
| 10) Alerte (215.7 g) - Regra (0.1 ml) - Bopower (0.1) | 42.8 | 0.92 |
| 11) Euron (1.0 g) - Metolax 325 (20 ml) | 67.14 | 0.91 |

Figura 3. Sugerencias de herbicidas dadas por el DSS-IWM para la infestación de malas hierbas mostradas en el gráfico 2.

| País: | | 6/2017 - Pw (Consultas) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------|----|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Local: | Troncal | Países beneficiarios de cultivo: | SPN | | | | | | | | |
| Tipo de cultivo: | Troncal | Beneficiarios (ha): | Región: | | | | | | | | |
| Fecha inicio: | Troncal | 3-4 Hojas | | | | | | | | | |
| Región: | 0 °C - 14 °C | | | | | | | | | | |
| Especie | Eficacia para las 5 dosis | | | | | Dosis necesaria para cada densidad (pl/m ²) | | | | | |
| | 18 | 14 | 12 | 11 | 10 | < 1 | < 10 | < 50 | < 100 | < 200 | < 500 |
| | 0.120 | 0.28 | 0.9 | 1 | 3 | | | | | | |
| <i>Argemone salsola</i> | 22 | 71 | 85 | 90 | 95 | 0 | 0.761 | 0.914 | 0.991 | 0.994 | 0.997 |
| <i>Achillea arvensis</i> L. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 23.249 | 39.025 | 47.500 | 59.22 | 69.262 |
| <i>Avena peltata</i> | 95 | 91 | 91 | 87 | 89 | 0 | 0.290 | 0.282 | 0.476 | 0.529 | 0.672 |
| <i>Avena peltata</i> , A/F | 0 | 0 | 1 | 9 | 20 | 0.742 | 11.939 | 13.090 | 15.911 | 17.494 | 22.363 |
| <i>Stomus claudens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 38.739 | 50.059 | 63.269 | 69.342 | 89.951 |
| <i>Galeata alpestris</i> L. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 38.739 | 47.051 | 54.983 | 63.269 | 69.962 | 89.927 |
| <i>Lolium rigidum</i> | 42 | 79 | 88 | 90 | 99 | 0 | 0.405 | 0.532 | 0.686 | 0.732 | 0.805 |
| <i>Lolium rigidum</i> , A/F | 0 | 0 | 1 | 9 | 26 | 0.742 | 11.939 | 13.090 | 15.911 | 17.494 | 22.363 |
| <i>Lolium rigidum</i> , B/F | 38 | 87 | 87 | 85 | 89 | 0.647 | 0.547 | 0.416 | 0.721 | 0.793 | 1.013 |
| <i>Lolium rigidum</i> , B/F/F | 0 | 0 | 1 | 9 | 26 | 0.742 | 11.939 | 13.090 | 15.911 | 17.494 | 22.363 |
| <i>Paspalum horridum</i> L. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 38.739 | 50.059 | 63.269 | 69.942 | 89.927 |
| <i>Pharus brachystachys</i> | 18 | 67 | 87 | 85 | 90 | 0 | 0.41 | 0.576 | 0.727 | 0.763 | 1.013 |
| <i>Pharus minor</i> | 18 | 61 | 83 | 87 | 99 | 0 | 0.263 | 0.352 | 0.476 | 0.526 | 0.672 |

Figura 4. Eficacia para 5 dosis de Axial pro (Pinoxaden 10%) y dosis requeridas para 6 densidades diferentes de malas hierbas.

Con todo esto, lo que se pretende, es facilitar el trabajo a los asesores y agricultores, mejorando su capacidad de toma de decisiones y de manejo de biotipos resistentes a herbicidas. También se pretende que éstas sean más sostenibles desde el punto de vista tanto de la sostenibilidad económica, ambiental y de prevención del desarrollo de resistencias.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado dentro de un proyecto ERA-NET. También se agradece la colaboración de FMC España en el desarrollo en campo del DSS.

5. REFERENCIAS

- Boutin C, Lee H, Peart T, Batchelor S. and Maguire J. (2000). Effects of the sulfonylurea herbicide metsulfuron-methyl on growth and reproduction of five wetland and terrestrial plant species. *Environmental Toxicology Chemistry* (19), 2532-2541.
- Busi R, Gaines TA, Walsh MJ and Powles SB (2012). Understanding the potential for resistance evolution to the new herbicide pyroxasulfone: field selection at high doses versus recurrent selection at low doses. *Weed Research*, 52, 489-499.
- HRAC (2017). Global classification lookup. Retrieved from <http://hracglobal.com/tools/classification-lookup>.
- Montull JM, Soenderskov M, Rydahl P, Boejer OM and Taberner A (2014). Four years validation of decision support optimising herbicide dose in cereals under Spanish conditions. *Crop Protection*, 64, 110-114.
- Renton M, Busi R, Neve P, Thornby D and Vila-Aiub M (2014). Herbicide resistance modelling: past, present and future. *Pest Management Science*, 70(9), 1394-404.
- Rydahl P, Berti A and Munier-Jolain N (2008). Decision support systems (DSS) for weed control in Europe – state-of-the-art and identification of «best parts» for unification on a European level. In *Endure International Conference* (pp. 12-15).
- Seefeldt SS, Jensen JE and Fuerst P (1995). Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technology*, 9(2), 218-227.
- Terra B, Martin A and Lingsuist J (2007). Corn-velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) interference is affected by sublethal doses of postemergence herbicides. *Weed Science* (55), 491-496.
- Yu Q and Powles S (2014). Metabolism-based herbicide resistance and cross-resistance in crop weeds: a threat to herbicide sustainability and global crop production. *Plant Physiology*, 166(3), 1106-18.

How to integrate the management of resistant weed biotypes in a DSS. The case of the Spanish version of CPOWeeds

Summary: CPOWeeds is a Danish Decision Support System (DSS) designed to optimize herbicide use since 1991. A version adapted to Spanish conditions was initiated in 2009 in order to have a good tool for management of herbicide resistance. The first objective was to define a proper required efficacy levels. The second one was how to integrate resistant weed biotypes. To achieve this goal, resistant weed biotypes were considered as different species. Thus, the DSS knows which herbicides are affected by each mechanism of resistance. Finally, the DSS can avoid recommend mixes between concrete herbicides. It is intended to have easy to understand recommendations for farmers and advisors.

Keywords: DSS, management, resistance.