

# Exposición laboral a productos fitosanitarios en función del equipo de aplicación

**Fernando Sanz Albert, Isaac Abril Muñoz, Pedro Delgado Cobos**

Centro Nacional de Medios de Protección, INSHT

*La aplicación de productos fitosanitarios supone un riesgo para la salud de los trabajadores expuestos. Puesto que no siempre se puede evitar el tratamiento con estos productos ni sustituirlos por otros menos tóxicos, la adecuada elección de los equipos de aplicación, así como su correcto manejo y mantenimiento, son aspectos fundamentales para reducir la exposición. Por ello, el Centro Nacional de Medios de Protección (CNMP) perteneciente al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) ha llevado a cabo un estudio en el que se determina la influencia de la maquinaria de aplicación en la exposición de los trabajadores a los productos fitosanitarios. En la primera parte de este artículo se recoge información sobre las técnicas y tipos de equipos de aplicación más habituales y se analizan las variables de dichos equipos relacionadas con la exposición a productos fitosanitarios, teniendo en cuenta las condiciones necesarias para la eficacia del tratamiento. En la segunda parte se realiza una estimación cualitativa de la exposición de los trabajadores, en función de cada variable identificada anteriormente, y de forma cuantitativa, mediante el uso de modelos de cálculo de la exposición.*

## I. INTRODUCCIÓN

La forma más eficaz de garantizar la seguridad de los trabajadores expuestos a productos fitosanitarios sería eliminar el riesgo mediante la utilización de alternativas a dichos productos (por ejemplo mediante la lucha biológica) o la sustitución por productos con baja toxicidad. Sin embargo, estas medidas no siempre son posibles o comprometen la eficacia del

tratamiento. En estos casos, para minimizar el riesgo habría que tratar de reducir la exposición al producto fitosanitario. Para ello se deben considerar fundamentalmente dos aspectos: las condiciones bajo las que se ha autorizado la comercialización del producto fitosanitario (cuya información aparece en la etiqueta y en la ficha de datos de seguridad del producto) y las condiciones de trabajo reales en las que se realizan las operaciones de mez-

cla/ carga y aplicación del producto, así como el mantenimiento y limpieza del equipo utilizado.

Es fundamental que el equipo de aplicación utilizado para la aplicación de un producto fitosanitario esté incluido entre las condiciones de autorización de ese producto [1] y que dicho equipo tenga unas características técnicas adecuadas para garantizar la eficacia del tratamien-



Figura 1. Pulverizador hidráulico

to y para reducir la exposición. Dichas condiciones de autorización del producto pueden ser consultadas en el registro de productos fitosanitarios del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino ([www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp](http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp)).

Asimismo, se debe hacer un uso correcto del equipo, siguiendo las buenas prácticas agrícolas, seleccionando adecuadamente los parámetros de funcionamiento y tomando las precauciones necesarias durante todas las operaciones.

En cuanto al marco normativo, en el ámbito europeo se reconoce que el diseño, la construcción y el mantenimiento de las máquinas para la aplicación de plaguicidas desempeñan un papel importante en la reducción del impacto adverso de los plaguicidas sobre la salud humana y el medio ambiente. Así, la Directiva 2009/127/CE [2] establece los requisitos esenciales que deben cumplir las máquinas para la aplicación de plaguicidas antes de su introducción en el mercado o su puesta en servicio. La Directiva "se limita a los requisitos esenciales que deben cumplir las máquinas para la aplicación de plaguicidas antes de su introducción en el mercado o su puesta en servicio, mientras que las organizaciones

de normalización europeas son responsables de elaborar normas armonizadas que faciliten especificaciones detalladas para las diferentes categorías de dichas máquinas, con objeto de permitir a los fabricantes el cumplimiento de dichos requisitos". Por otro lado, en la Directiva 2009/128/CE [3] se establece que los Estados miembros velarán por que los equipos de aplicación de plaguicidas de uso profesional sean objeto de inspecciones periódicas para verificar que cumplen con los requisitos de salud y seguridad previstos en su anexo II. Ambas directivas están, a fecha de remisión de este artículo, pendientes de ser transpuestas a la legislación española.

## II. OBJETO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

El principal objetivo de este estudio consiste en establecer unos criterios para seleccionar el equipo de aplicación más adecuado y determinar las condiciones de uso de los mismos para eliminar o minimizar la exposición de los trabajadores. Para ello, tras obtener información sobre las características de las distintas técnicas y equipos de aplicación en cuanto a su diseño, y determinar las variables relacionadas con los equipos que pueden influir

en la exposición a los productos fitosanitarios, el estudio se orientó hacia la estimación de la exposición tanto cualitativa como cuantitativa.

La estimación cualitativa se basó en comparar las características de cada equipo con las variables que pueden influir en la exposición de los trabajadores a los productos fitosanitarios, para lo cual se realizó una revisión bibliográfica de publicaciones y estudios de reconocido prestigio.

En cuanto a la estimación cuantitativa de la exposición, se realizaron cálculos de exposición a partir de datos procedentes de diversos estudios y utilizando los modelos de cálculo de la exposición que habitualmente se emplean para la autorización de los productos fitosanitarios, y que cuentan con reconocimiento en el ámbito europeo [4].

## III. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE APLICACIÓN

El equipo de aplicación de productos fitosanitarios seleccionado para realizar un tratamiento determinado depende en primer lugar del estado de agregación del producto fitosanitario. Así, se utilizan pulverizadores para productos aplicados en estado líquido, espolvoreadores para productos aplicados en estado sólido y fumigadores para productos aplicados en estado gaseoso. Sin embargo, este estudio se ha centrado en la aplicación de líquidos mediante pulverizadores terrestres, cuyo uso es el más extendido.

Los pulverizadores se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios. Para el posterior análisis de la exposición generada por cada equipo, nos interesa clasificarlos en función de dos criterios: la técnica de pulverización utilizada (es decir, el fundamento para la generación

■ **Tabla 1** ■ Características generales de las principales técnicas de pulverización

Técnica de pulverización	Fundamento	Transporte	Tamaño medio de las gotas (µm)	Altura de aplicación	Cultivos/ Tratamientos	Descripción
Hidráulica	Presión	Tractor o manual	150-500 Llovizna- Lluvia	Baja	Tractor: herbicidas e insecticidas en cultivos de porte bajo Manual: jardines, árboles, exterior e invernaderos	En los pulverizadores hidráulicos, el producto líquido es impulsado por una bomba a una determinada presión, de forma que, al atravesar una boquilla calibrada y encontrarse con la resistencia que le ofrece el aire a la salida del chorro, éste se rompe en finas gotas. Estos equipos pueden disponer adicionalmente de asistencia de aire.
Hidroneumática	Presión y aire	Tractor	100-200 Llovizna	Baja y Alta (en general, alta)	Plantaciones frutales/ Cultivos de alta densidad foliar	Los pulverizadores hidroneumáticos, llamados atomizadores, generan una nube de finas gotas que se asemejan a la llovizna. Para el transporte de las gotas desde la máquina hasta el vegetal se utiliza una corriente de aire producida por un ventilador que proporciona gran caudal a baja velocidad. De esta forma, las gotas transportadas por dicha corriente alcanzan con facilidad el interior de la masa vegetal. A diferencia de los pulverizadores hidráulicos con asistencia de aire, en los que ésta es opcional, en los pulverizadores hidroneumáticos el aire cumple un papel fundamental y constante. Las gotas alcanzan mayores distancias. Se obtiene buena penetración foliar pero las gotas no son muy uniformes.
Neumática	Aire	Tractor o manual	40-200 Niebla- Nube	Baja y Alta (en general, alta)	Viña/ Cultivos de alta densidad foliar Insecticidas y Fungicidas ULV* en invernadero	En los pulverizadores neumáticos el líquido, generalmente sin presión o a una presión baja, atraviesa un orificio calibrado que determina el caudal del caldo, y finalmente llega a la salida, denominada difusor (a veces también boquilla) de donde sale a una tobera en forma de vena líquida continua o parcialmente dividida, nunca pulverizada. En la tobera el caldo choca con una corriente de aire a elevada velocidad, que la pulveriza en finas gotas y es, a la vez, responsable del transporte de las gotas hacia el objetivo. Dicha corriente de aire ocasiona también el movimiento de la masa foliar del cultivo, favoreciendo la penetración del líquido en ella. Existe variación de ULV, con caldos de alta concentración.
Centrífuga	Fuerza centrífuga	Tractor o manual	50-100 Nube	Baja y Alta (en general, baja)	Cualquier tipo de tratamiento por su amplia gama de regulación de la velocidad de giro del disco/ Discos verticales con tractor en cultivos de porte erecto (cereales)	En los pulverizadores centrífugos, el líquido entra por el centro de un disco que gira a gran velocidad y sale pulverizado por la periferia debido a la fuerza centrífuga. Consiguen gotas de tamaño pequeño y uniforme. Buena penetración en el cultivo. A mayor velocidad menor tamaño de gota y menor volumen de pulverización se requiere. Ahorro de producto, agua y tiempo. Muy sensible a fenómenos meteorológicos (deriva y evaporación). Gotas muy uniformes. Existe variación de ULV, con caldos de alta concentración.

\* ULV: Ultrabajo volumen

penetración de las gotas suele ser menor, por lo que en estos casos se debería disminuir el tamaño de gota.

Con respecto a la exposición de los trabajadores, en general, se puede afirmar que a medida que aumenta el tamaño de gota disminuye la exposición inhalatoria [8] y puede aumentar la penetración por vía dérmica. Estimando que habitualmente la exposición inhalatoria es inferior al 1% de la dérmica, en la mayoría de los casos para reducir la exposición interesa

utilizar equipos o regular los mismos para que generen gotas finas y uniformes.

## 2. Forma de transporte de la gota a su objetivo

Para mejorar la eficacia del tratamiento, reduciendo así la cantidad de producto aplicado y la exposición, las gotas han de llegar al objetivo consiguiendo una adecuada cobertura del mismo y evitando su dispersión en la zona del trabajador. Esto depende en gran medida de la

forma en que efectúa el transporte de las gotas a los cultivos.

El transporte debido a la energía cinética de las gotas, tales como los pulverizadores hidráulicos o de chorro proyectado, tiene como principales inconvenientes la escasa capacidad de cobertura y de penetración en objetivos de elevada densidad foliar. Estos inconvenientes son menos acusados en el caso de pulverización centrífuga, por la finura de las gotas que, sometidas

**Tabla 2** Características generales de los principales equipos de pulverización según su diseño

Nivel de automatización	Equipo	Uso más habitual	Descripción
Manual	Pistola/ lanza	Aire libre o invernadero	Tanto las pistolas como las lanzas están conectadas a una cuba, móvil o estática, donde se prepara el caldo de tratamiento. En la mayoría de los casos la persona encargada de realizar la aplicación es asistida por un operario para manejar la manguera. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que, en muchos casos, mediante esta técnica son dos o más las personas expuestas a productos fitosanitarios.
	Mochila	Aire libre (en invernadero sólo como complemento a tratamientos con lanza o pistola)	Se trata de una mochila transportada a la espalda del trabajador que se acciona con la mano para obtener la presión de aplicación y que dispone de una lanza en su extremo. Se puede afirmar que este método de aplicación se utiliza casi exclusivamente cuando los cultivos son muy pequeños o recién plantados, en viveros y jardinería exterior.
	Carretilla manual	Invernadero	La carretilla se desplaza arrastrada por el operario, que deja atrás la nube de pulverización.
Mecanizado	Pulverizadores transportados por tractor	Aire libre	El equipo es arrastrado, suspendido o semisuspendido por el tractor.
	Vehículos integrados	Aire libre	En estos casos el vehículo de tracción y el equipo de pulverización están integrados. Estos equipos, respecto a la exposición, reúnen características similares a los anteriores.
	Carretillas autopropulsadas	Invernadero	Las carretillas autopropulsadas, en las que el trabajador conduce el vehículo desplazándose en sentido contrario a la generación de la nube, permiten aplicaciones en invernadero debido a su reducido tamaño.
	Cañones	Invernadero	Atomiza o nebuliza el caldo de tratamiento dirigiendo la nube de aplicación a través de un tubo o cañón móvil articulado. En algunos casos la pulverización se realiza desde el exterior del invernadero. En otras ocasiones la aplicación se produce por la zona central del invernadero impulsando el caldo hacia ambos lados de forma alternativa.
Automatizados	Instalaciones fijas	Invernadero	El sistema combina una red de tuberías de agua y de aire a presión que originan una niebla suspendida en el aire, que en algunos casos, ayudado mediante unos ventiladores interiores, cubren todas y cada una de las partes del invernadero.
	Robots	Invernadero	Existen fundamentalmente dos tipos de robots de pulverización. El primero de ellos, similar a una barra pulverizadora, se desplaza colgado de unos raíles fijos que penden del emparrillado del invernadero, hasta la base del cultivo. Los raíles son fijos, mientras que el robot puede desplazarse de un invernadero a otro. El robot trata los cultivos de los invernaderos sin presencia de trabajadores dentro de los mismos, con lo que la exposición se limita a la etapa de mezcla y carga. El segundo sistema automatizado es similar a los vehículos de pulverización, con la mejora de incorporar un sistema de control tanto de la pulverización como de la navegación del robot por el interior del invernadero, eliminando igualmente la exposición durante la pulverización del producto.

das a pequeñas turbulencias en el seno del objetivo, tienen más capacidad de penetración; sin embargo, frente a esta ventaja de la pulverización centrífuga se encuentra el inconveniente de que es, debido a su pequeña masa, más sensible a la deriva.

El transporte mediante asistencia de aire en los pulverizadores hidráulicos se caracteriza por emplear aire generado por un ventilador para conseguir superar en gran medida los inconvenientes del transporte debido a la energía cinética. El aire transporta las gotas y remueve la masa foliar, facilitando su cobertura.

### 3. Volumen de aplicación

A igualdad de concentración, aquellos equipos que puedan trabajar con menor volumen de aplicación, porque la eficacia del tratamiento con ese equipo así lo permita, suponen una menor exposición de los trabajadores a productos fitosanitarios, ya que, por un lado, el trabajador aplicará menos cantidad de producto y, por otro, se tendrá que rellenar menos veces el depósito del equipo, reduciendo así el número de operaciones de mezcla y carga, disminuyendo de este modo la exposición durante dicha operación. En este sentido, los equipos para tratamien-

to de bajo y ultrabajo volumen (ULV) pueden suponer una menor exposición, permiten realizar el trabajo más rápidamente y, por lo tanto, reducen el tiempo de aplicación.

### 4. Altura y alcance de la aplicación

Los equipos diseñados para cubrir una mayor altura (como son los atomizadores o nebulizadores) supondrán, en general, una mayor exposición, especialmente en la parte superior del cuerpo. No obstante, como ya se ha mencionado, en determinados cultivos, como parral de vid o frutales, se hace imprescindible utilizar



Figura 3 Aplicación manual con pistola



Figura 4 Carretila autopropulsada

estos equipos para obtener una adecuada cobertura

Por otro lado, los equipos que tienen mayor alcance generan una mayor dispersión de la nube de pulverización, lo cual supone una mayor permanencia de la misma y, por lo tanto, una mayor deriva.

### 5. Sensibilidad del equipo a las condiciones atmosféricas

A pesar de que, tal como se ha mencionado, a priori el tamaño de gota fina da lugar a una menor exposición dérmica, cuando la velocidad del viento es elevada no conviene utilizar equipos que generen un tamaño de gota demasiado fino pues éstas son arrastradas (deriva), lo que supone, además de aplicar una dosis insuficiente y de producir daños en cultivos colindantes, una mayor exposición no sólo para los trabajadores, sino también para transeúntes ajenos al tratamiento que se puedan encontrar en las inmediaciones de la zona tratada.

Respecto a la temperatura, la evaporación de la gota antes de llegar a la planta puede suponer perder importantes cantidades de líquido, reduciéndose así la eficacia del tratamiento. Por ello, en casos de altas temperaturas, tampoco es recomendable generar un tamaño de gota muy fino.

### 6. Nivel de automatización del equipo de aplicación

En general las aplicaciones mecanizadas son más seguras que las aplicaciones manuales. Además, las aplicaciones manuales originan mucha más fatiga en los trabajadores, lo cual puede conducir, a lo largo de las horas, a las prisas y la despreocupación por la seguridad. En general, el tratamiento mecanizado es más rápido y regular que el manual.

No obstante, cuando se empleen equipos mecanizados hay que tener en cuenta que parte del producto fitosanitario permanece distribuido en la atmósfera cuando el tractor efectúa la pasada

de vuelta. Por lo tanto, los equipos en los que se utilicen tractores con cabinas de seguridad, que disponen de filtros y sistemas de ventilación adecuadamente mantenidos, suponen una menor exposición que cuando no tienen dichas cabinas. Esto es especialmente importante cuando se empleen presiones de trabajo altas (gotas muy finas), generalmente en los tratamientos con atomizadores y nebulizadores

Por otro lado, en los equipos de aplicación arrastrados por tractor, el operario avanza en sentido contrario a la aplicación y no se ve inmerso en la nube de pulverización. Sin embargo, en los equipos de aplicación manuales el trabajador, habitualmente, avanza en el mismo sentido en el que aplica el producto y, por ello, la exposición será mayor.

El nivel de mecanizado tiene especial importancia en las aplicaciones en invernadero, dentro del cual no suele ser posible la utilización de equipos transportados por tractor; por ello es habitual la aplicación manual o mediante sistemas

**Tabla 3** ■ Criterios seguidos para valorar el nivel de exposición según cada variable

VARIABLE	NIVEL DE EXPOSICIÓN ESPERADO			
	+	++	+++	++++
TAMAÑO MEDIO DE GOTA (µm)	<50-100	100-200	200-400	>400
FORMA DE TRANSPORTE DE LA GOTA	Por gravedad con asistencia de aire	Fuerza centrífuga	Por aire	Por gravedad sin asistencia de aire
VOLUMEN DE APLICACIÓN (l/ha)	<30-100	100-200	200-500	>500
ALCANCE Y ALTURA DE APLICACIÓN	Bajo alcance, altura <1m	Alcance medio, altura aproximadamente 1m	Alto medio, altura >1m	Alcance alto, altura >1m
SENSIBILIDAD A CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	Deriva baja: Deriva con viento moderado (2,7-4 m/s)	Deriva media Deriva con brisa fuerte (1,8-2,7 m/s)	Deriva elevada Deriva con brisa ligera (0,9-1,8 m/s)	Deriva muy elevada: Deriva con breve brisa (0,6-0,9 m/s)/ alta evaporación en horas de calor.

**Tabla 4** ■ Estimación cualitativa de la exposición en función de la técnica de pulverización

TÉCNICA DE APLICACIÓN		VARIABLE QUE INFLUYEN EN LA EXPOSICIÓN				
		TAMAÑO DE GOTA	FORMA DE TRANSPORTE DE GOTA	VOLUMEN DE APLICACIÓN	ALTURA DE APLICACIÓN	SENSIBILIDAD A CONDICIONES ATMOSFÉRICAS
HIDRÁULICOS	SIN ASISTENCIA AIRE	+++	++++	+++	+	++
	CON ASISTENCIA AIRE	+++	+	+++	+	+
HIDRONEUMÁTICOS		++	+++	++++	++++	+++
NEBULIZADORES	NORMAL	++	+++	+++	++++	++++
	ULV	+	+++	++	++++	++++
CENTRÍFUGOS	NORMAL	++	++	++	++	+++
	ULV	+	++	+	++	++++

mecanizados alternativos o totalmente automatizados.

## 7. Características de los componentes

Las características de los distintos componentes de los equipos de aplicación (depósito, agitador, filtros, válvula de seguridad, bomba, sistema de regulación del caudal, manómetro, barra pulverizadora, boquillas, etc.) influyen, además de sobre la eficacia del tratamiento, sobre la exposición a productos fitosanitarios, al reducir, por ejemplo, el goteo del producto o escapes no previstos. Igualmente, aquellas características que faciliten las operaciones de man-

tenimiento y limpieza y que reduzcan el contacto de los trabajadores con el equipo también estarán reduciendo la exposición.

A continuación, se enumeran algunas de las características de los componentes de los equipos de aplicación que se han de considerar a la hora de seleccionar un equipo de aplicación para reducir, directa o indirectamente, la exposición al producto:

- Desgaste de los materiales: los materiales con los que están fabricados elementos tales como los depósitos, conductos, boquillas, etc. deben ser resistentes a la corrosión por el pro-

ducto fitosanitario para evitar el deterioro de estos componentes y posibles escapes que supongan contacto del trabajador con el producto. Este aspecto es especialmente importante en el caso de las mochilas, ya que el líquido puede mojar la espalda del trabajador en caso de deterioro.

- Anchura de boca: las bocas para llenar el depósito, así como los conductos de drenaje, deben tener anchura suficiente para facilitar las operaciones de mezcla/ carga y de limpieza evitando el contacto con el producto y las salpicaduras. En este sentido, los sistemas cerrados de llenado y vaciado minimizan la exposición durante

estas operaciones, en las cuales, además, el producto se encuentra más concentrado.

- Hermeticidad de las juntas y cierres: la tapa del depósito, las juntas de los distintos conductos y el acople de las boquillas debe ser lo más hermético posible para evitar el goteo del producto.
- Indicación de los parámetros de funcionamiento: el equipo debe disponer de sistemas adecuados y fácilmente comprensibles que indiquen de forma clara aspectos tales como el nivel de llenado del depósito o la presión a la que se está aplicando el producto.
- Salpicaduras: el sistema de agitación del equipo debe conseguir una buena homogeneización del producto y evitar las salpicaduras. En cuanto a las barras portaboquillas, éstas deben tener un diseño tal que se eviten latigazos o sacudidas que produzcan salpicaduras del producto.
- Filtración del producto: el equipo debe disponer de los filtros suficientes para retener partículas gruesas o no disueltas que puedan aumentar la exposición.
- Facilidad de limpieza y mantenimiento: los componentes deben ser fáciles de limpiar, recambiar y mantener, evitando en lo posible el contacto con partes con restos de producto.

## V. ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE LA EXPOSICIÓN

Esta estimación cualitativa de la exposición puede ser utilizada como primera aproximación para determinar cuáles van a ser las técnicas de aplica-

ción o equipos que, comparativamente, pueden suponer menor exposición; no obstante, a la hora de incluir un determinado equipo de aplicación en las condiciones de uso de un producto evaluado mediante el proceso de autorización de productos fitosanitarios, los resultados deben estar basados siempre en datos cuantitativos.

Para estimar cualitativamente la exposición según la técnica de aplicación utilizada se establecen cuatro niveles de exposición (baja (+), media (++) , alta (+++) y muy alta (++++)), de modo que cada una de las variables que se considera que influyen en la exposición se categoriza de acuerdo con los criterios que se muestran en la Tabla 3. En la Tabla 4 se muestran los resultados de la estimación cualitativa de la exposición para cada técnica de aplicación.

A juzgar por los resultados, los equipos que suponen menor exposición son los pulverizadores hidráulicos y los centrífugos

A juzgar por estos resultados, los equipos que suponen menor exposición son los pulverizadores hidráulicos y los centrífugos. La elección de uno u otro depende fundamentalmente del tamaño de gota requerido por el tratamiento y de las condiciones atmosféricas. Cuando se requiera aplicar con un tamaño de gota fino, conviene utilizar equipos centrífugos, y preferiblemente de ULV, siempre que la velocidad del viento y la temperatura no sean muy elevadas. Cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables y el tratamiento requiere gota gruesa se utilizarán pulverizadores hidráulicos y sistemas antideriva. En este caso, los pulverizadores hidráulicos con asistencia de aire aseguran una mejor cobertura del cultivo y reducen la exposición. Los pulverizadores nebulizadores y atomizadores sólo se deben utilizar para tratamientos no sistémicos en cultivos altos.

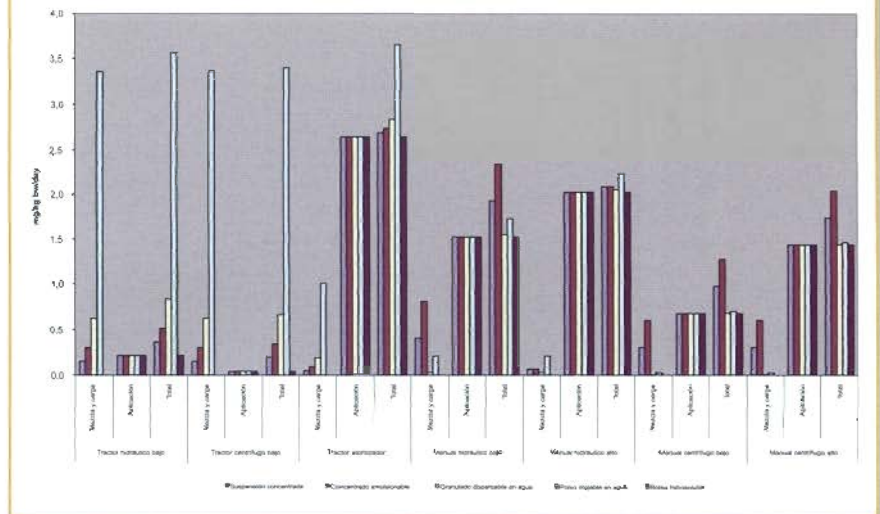
Por otro lado, la estimación cualitativa de la exposición, en función del tipo de equipo de aplicación, permite concluir que en general los equipos transportados por tractor suponen menor exposición que los manuales. En caso de aplicar manualmente, la utilización de pistola es preferible a la lanza. [9]

En cuanto a las aplicaciones en invernadero, sin lugar a dudas las instalaciones fijas automatizadas son las que menor exposición suponen, ya que no requieren la presencia del operador durante la pulverización. La utilización de carretilla pulverizadora puede disminuir la exposición sensiblemente con respecto a la utilización de pistola o lanza. [9]

## VI. ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DE LA EXPOSICIÓN

Para la estimación cuantitativa de la exposición se han utilizado los distin-

■ Figura 5 ■ Estimación cuantitativa de la exposición al aire libre



tos modelos de exposición elaborados a partir de estudios de campo que, con objeto de obtener conclusiones que permitan decidir sobre la autorización de comercialización de dichos productos, son habitualmente utilizados por el Grupo de Expertos de Seguridad de la Comisión de Evaluación de Productos Fitosanitarios [4]. Hay que considerar que no existen modelos específicos para todos los tipos de equipos de aplicación, por lo que en algunos casos, durante el proceso de autorización de productos fitosanitarios, se utilizan estudios de campo reales para evaluar la exposición. El objetivo de este estudio cuantitativo no es obtener valores absolutos de la exposición, sino estimar el grado en que aumenta o disminuye la exposición en función del equipo que se utilice en las condiciones en las que el producto es eficaz, pudiendo ordenar los equipos de aplicación en función del nivel de exposición durante su utilización.

Respecto a las condiciones en que se ha realizado el estudio, se ha partido de diez productos con distintas formulaciones, cinco para aplicaciones al aire libre y otros cinco para aplicaciones en invernadero. Las condiciones contempladas corresponden a condiciones reales de aplicación, en las que se supone que el producto resulta eficaz. Esto significa que los caldos de aplicación y/o el número de hectáreas tratadas que se han utilizado en los cálculos son los habituales y se encuentran dentro de los márgenes autorizados para los productos fitosanitarios, manteniendo constante la concentración del caldo para poder comparar la exposición resultante entre los distintos equipos.

En la figura 5 se muestran los resultados del estudio realizado al aire libre.

En primer lugar, de los resultados se puede extraer que, cuando se utilizan for-

mulaciones sólidas, la exposición durante la mezcla y carga será mayor en equipos transportados por tractor que en equipos manuales. En cambio, al utilizar productos líquidos, la exposición durante la operación de mezcla y carga es superior al utilizar equipos manuales, excepto cuando se emplean pulverizadores hidráulicos manuales en cultivos altos, aunque esto es debido a que el modelo empleado para la estimación de la exposición durante la aplicación manual con pulverizadores hidráulicos en cultivos altos es diferente que para cultivos bajos.

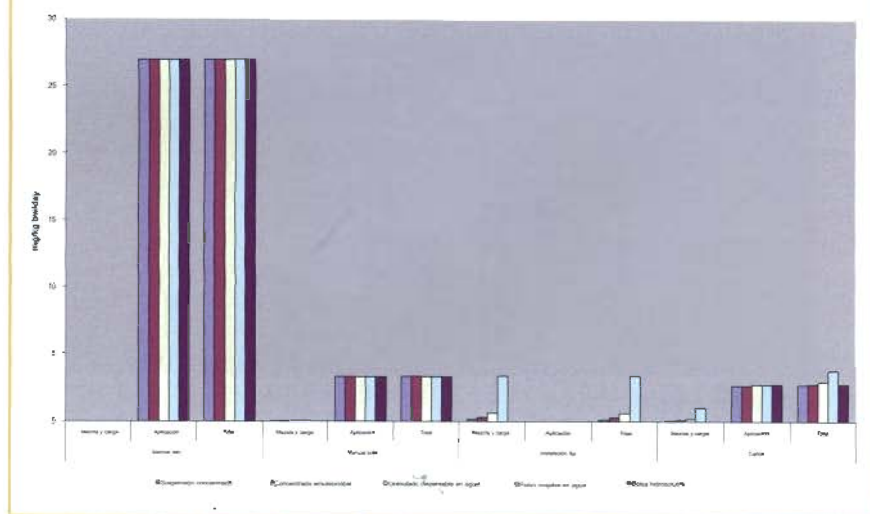
Con respecto a la exposición total (mezcla/carga y aplicación), en general, se puede afirmar que la menor exposición se dará utilizando equipos centrífugos transportados por tractor, seguidos de los pulverizadores hidráulicos transportados por tractor, tras los cuales se encuentran los equipos manuales. Dentro de éstos, de la misma forma que en el caso de los equipos transportados con tractor, los equipos centrífugos generan menor exposición que con los equipos hidráulicos, esperándose una mayor exposición cuando se aplica en cultivos altos que cuando se hace en cultivos bajos. Los nebulizadores y atomizadores son los que suponen una mayor exposición, independientemente

de las características del producto. Si bien los modelos no diferencian entre nebulizador y atomizador, completando los resultados de la exposición cuantitativa con la cualitativa, cabe esperar que la exposición con atomizador será mayor que con nebulizador, ya que el volumen requerido para la adecuada cobertura del cultivo suele ser mayor cuando se utilizan atomizadores.

No obstante, estos resultados presentan algunas excepciones. Por ejemplo, cuando se utilizan polvos mojables en agua la exposición es mayor en equipos arrastrados por tractor que en equipos manuales, ya que con esta formulación la exposición por cantidad de sustancia activa manejada en la mezcla y carga es muy superior al resto de formulaciones sólidas y los equipos mecanizados requieren manipular una cantidad mucho mayor de producto que los manuales. Igualmente, aunque en casi todos los casos los equipos manuales aplicados a cultivos altos presentan una mayor exposición que cuando se utilizan en cultivos bajos, al utilizar concentrados emulsionables los resultados reflejan mayor exposición utilizando pulverizadores manuales en cultivos bajos que en cultivos altos. Esto es debido a que, como se ha mencionado, el modelo empleado para la estimación



**Figura 6 ■ Estimación cuantitativa de la exposición en invernadero**



de la exposición durante la aplicación manual en cultivos altos es diferente del empleado para cultivos bajos.

Respecto a la exposición en invernadero, en la figura 6 se muestran los resultados de la estimación cuantitativa.

A igual que en la estimación cualitativa, la estimación cuantitativa revela que la menor exposición en invernadero se obtiene cuando se utilizan instalaciones fijas automatizadas. El cañón utilizado desde el exterior del invernadero presenta una menor exposición que las aplicaciones manuales, siendo la exposición comparativamente muy superior cuando se utilicen equipos manuales en el tratamiento en cultivos altos.

Resulta interesante observar para cada equipo los porcentajes de la exposición en cada una de las operaciones (mezcla/carga y aplicación), ya que esto permitirá aumentar el nivel de protección en la operación más problemática según el equipo utilizado.

Por otro lado, en cuanto al porcentaje de exposición dérmica potencial respecto a la exposición inhalatoria potencial, de los cálculos se desprende que para todos los equipos de aplicación y todas las

formulaciones estudiadas, la exposición dérmica representa en torno al 99% de la exposición total.

Otro aspecto que se analizó mediante los modelos de cálculo fue la distribución del producto en el cuerpo del trabajador durante la aplicación. El producto se distribuye de distinta forma en función del equipo utilizado, lo cual explica, en gran medida, los valores de exposición obtenidos con cada uno de dichos equipos. Esta distribución habrá de tenerse en cuenta a la hora de establecer las protecciones en las distintas partes del cuerpo según el equipo de aplicación utilizado, protegiendo principalmente aquellas zonas en las que la exposición es mayor. Así, en las aplicaciones al aire libre, para los equipos cuya aplicación se hace a baja altura (pulverizadores hidráulicos y centrífugos transportados por tractor y equipos manuales aplicados hacia abajo) la mayor parte del producto se distribuye por las manos y las piernas; en cambio para los atomizadores y nebulizadores (cuya aplicación se hace a mayor altura) y equipos manuales aplicados hacia arriba la mayor parte del producto se distribuye por el tronco. Respecto a las aplicaciones manuales en invernadero, hay que tener en cuenta el roce del cuerpo con

las plantas tratadas, lo que puede provocar una mayor exposición en las piernas, sobre todo cuando el estado vegetativo es avanzado.

También se consideró interesante analizar el número de hectáreas que se pueden tratar con cada equipo a lo largo del día, ya que el utilizar equipos que permiten aplicar una determinada superficie más rápidamente suponen menor fatiga para el trabajador, lo cual puede influir indirectamente en las precauciones que toma el trabajador en el manejo del equipo para reducir la exposición. Obviamente, los equipos transportados por tractor tienen capacidad para tratar una superficie mucho mayor que los equipos manuales. En el caso de los pulverizadores hidráulicos y centrífugos la superficie tratada al día es de cerca de 50 veces más que la tratada con los equipos manuales. Los pulverizadores neumáticos o atomizadores, debido a que tienen que cubrir cultivos

**Las estimaciones cualitativa y cuantitativa revelan que la menor exposición en invernadero se obtiene cuando se utilizan instalaciones fijas automatizadas**

más altos y densos, tendrán un menor rendimiento, pero en cualquier caso tienen capacidad para tratar hasta 15 veces más superficie que mediante los equipos manuales. No parece haber diferencias importantes, respecto a la superficie tratada al día, al utilizar pulverizadores hidráulicos o centrífugos.

## VII. CONCLUSIONES

Con objeto de reducir la exposición, se han de determinar las variables del equipo que influyen en la exposición y que permiten un mayor margen de actuación para seleccionar el equipo de aplicación y los parámetros de funcionamiento adecuados del mismo sin mermar la eficacia. Así, en la medida en que el tratamiento lo permita, se han de seleccionar equipos que generen un tamaño de gota fina y cuyo sistema de transporte permita dirigir directamente el producto sobre el cultivo. Por otro lado, la eficacia del equipo debe aportar una buena cobertura del cultivo utilizando volúmenes de caldo lo más bajo posible para una determinada concentración y sin generar pérdidas de producto

Igualmente, cuando el tratamiento se haga en condiciones atmosféricas desfavorables (velocidad del aire y temperatura elevadas) se han de elegir equipos cuya nube de pulverización no sea muy sensible a estos fenómenos y eviten la deriva del producto. Además, el equipo debe pulverizar el producto a la menor altura que posibilite la cobertura del cultivo.

Por otro lado, cuanto mayor sea la automatización del equipo menor será la exposición a productos fitosanitarios. La inversión en equipos automáticos no sólo supone un ahorro en el consumo de producto y una mejora en la eficacia del tratamiento, sino que posibilita el tratamiento con determinados productos cuya aplicación podría resultar insegura si se utilizan equipos tradicionales.

Por supuesto, las conclusiones extraídas en este estudio deben ir acompañadas no sólo de medidas técnicas, para reducir la exposición de los trabajadores, sino también formativas y organizativas (tales como la rotación de los trabajadores o la reducción de las jornadas de tra-

bajo). Estas medidas son especialmente importantes cuando se utilicen equipos que supongan una mayor exposición o fatiga de los trabajadores, como son los equipos manuales.

A fin de establecer las medidas preventivas que se han de tomar a partir de los resultados de este estudio y de los diversos escenarios que se pueden presentar en la aplicación de productos fitosanitarios, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo tiene previsto publicar próximamente una Nota Técnica de Prevención (NTP) que, teniendo en cuenta las características del cultivo, las necesidades del tratamiento y las condiciones ambientales, permita al técnico y al agricultor identificar la técnica y equipo de aplicación que minimice la exposición a fin de seleccionar la alternativa más adecuada de entre las posibles. Igualmente en dicha NTP se incluirán las medidas preventivas relativas a la incorporación de componentes que reducen la exposición, el adecuado uso de los equipos y las buenas prácticas de mantenimiento y limpieza de las máquinas. ●

## Bibliografía

- [1] Reglamento (CE) nº 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009 (L 309, 24.11.2009) relativo a la Comercialización de Productos Fitosanitarios y por el que se derogan las Directivas 79/117/CEE y 91/414/CEE del Consejo.
- [2] Directiva 2009/127/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009 (L310, 25.11.2009) por la que se modifica la Directiva 2006/42/CE en lo que respecta a las Máquinas para la Aplicación de Plaguicidas
- [3] Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009 (L 309, 24.11.2009) por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un Uso Sostenible de los Plaguicidas.
- [4] Criterios del INSHT empleados en la Evaluación de la Exposición a Productos Fitosanitarios para su Autorización conforme al RD 2163/1994. (2009) [www.insht.es](http://www.insht.es)
- [5] Vázquez, Jesús. Aplicación de Productos Fitosanitarios. Técnicas y equipos. (2003). Ediciones Agrotécnicas.
- [6] Aplicación de Plaguicidas. Nivel Cualificado. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. (2009)
- [7] Isaac Abril Muñoz. Medidas Preventivas específicas para la Aplicación en Invernaderos. 35º Coloquio Internacional sobre la Seguridad y Salud en el Trabajo en la Agricultura. Pamplona. (2007)
- [8] A. Garndo Frenich, P.A. Aguilera, F. Egea González, M.L. Castro Cano, M. Martínez Galera, J.L. Martínez Vidal, M. Soler. *Dermal Exposure to Pesticides in Greenhouses Workers: Discrimination and Selection of Variables for the Design of Monitoring Programs. Environmental Monitoring and Assessment*. (Vol. 80), pág. 51-63. (2002).
- [9] D. Nuyteens, S. Windey, B. Sonk. *Comparison of Operator Exposure for five different Greenhouse Spraying Applications. Journal of Agricultural Safety and Health* 10 (3), pág. 187- 195. (2004)