

Mesa Redonda: Problemática ambiental y de salud laboral en el uso de plaguicidas persistentes

DINAMICA DE PLAGUICIDAS EN ECOSISTEMAS TERRESTRES

Juan Cornejo. Director del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología - Sevilla

El uso de plaguicidas es una de las prácticas que más han contribuido al incremento de la producción agrícola en las últimas décadas. Junto a otros factores como la adopción de variedades de cultivo mejoradas, el empleo de fertilizantes sintéticos o la optimización de los sistemas de riego, el uso de compuestos orgánicos sintéticos para el control de plagas es en la actualidad indispensable para satisfacer la creciente demanda de alimentos de la producción mundial. Según datos de la FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas), dos tercios de la humanidad está subalimentada, por lo que el aumento de la producción agrícola es una necesidad.

Un dato significativo en el uso de los plaguicidas es el incremento del volumen de ventas entre 1945 y 1975, período de tiempo en el que pasó de las 100.000 Tm a 1.800.000 Tm . Hoy en día supera ampliamente los 2.000.000 de Tm. Según datos de la Asociación Empresarial para la Protección de las Plantas (AEPLA, 2000), en España el volumen de ventas durante los últimos 5 años (1995-1999) se ha mantenido bastante estable en torno a las 35.000 Tm de materia activa anuales. La FAO ha calculado que el cese del empleo de los plaguicidas en los EE.UU. reduciría el rendimiento de las cosechas y del ganado en un 30-40% y aumentaría el precio de los productos agrícolas en un 50-70%..

Frente a las indiscutibles ventajas de los plaguicidas en el control de plagas y enfermedades, el uso de estos compuestos también lleva consigo serios problemas, ya que los plaguicidas, al prepararse deliberadamente para ser tóxicos frente a determinados organismos, provocan alteraciones en los ecosistemas y riesgos en la salubridad de aguas y alimentos de procedencia agrícola, salud de los operarios dedicados a su manejo y aplicación, si no se toman las medidas adecuadas.

Los residuos de plaguicidas pueden constituir una fuente de contaminación en las zonas donde se emplean durante periodos de tiempo más o menos largos, así como en zonas alejadas del lugar de aplicación, por su movilidad a través del agua o del aire, su acumulación en los seres vivos y su incorporación en la cadena alimentaria .

Para minimizar los efectos negativos de los plaguicidas, se deben tomar las debidas precauciones y regular su uso mediante normativas que deben ser conocidas por sus usuarios. Por ello, antes de introducir un nuevo producto en el mercado, las compañías dedicadas al desarrollo de plaguicidas realizan un exhaustivo estudio, no sólo de sus propiedades físicas, químicas y toxicológicas, sino también de su eficacia en el campo, de su persistencia en el medio ambiente y de los posibles productos de degradación. Estos estudios pueden durar varios años y tener un coste muy elevado.

Los plaguicidas ideales serían aquellos que permitieran controlar y destruir con rapidez un gran número de plagas, malas hierbas y enfermedades, sin perjudicar la flora y fauna beneficiosa, que presentasen una corta persistencia en el suelo o sobre el cultivo tratado y permitiesen recoger una cosecha sin residuos ni efectos nocivos para el consumidor a los pocos días de su utilización.

De todo esto podemos resumir que los plaguicidas son productos que junto a una gran utilidad económica presentan riesgos de importancia variable y, en consecuencia, resulta imprescindible la comprobación de que su eficacia sea superior a unos mínimos aceptables y que los riesgos derivados de su manipulación y aplicación sean perfectamente controlables.

ORIGEN DE LOS PLAGUICIDAS EN EL SUELO Y PROCESOS QUE DETERMINAN SU DINÁMICA

La presencia de los plaguicidas en el suelo se produce por diversas vías que se encuentran resumidas en la Figura 1:

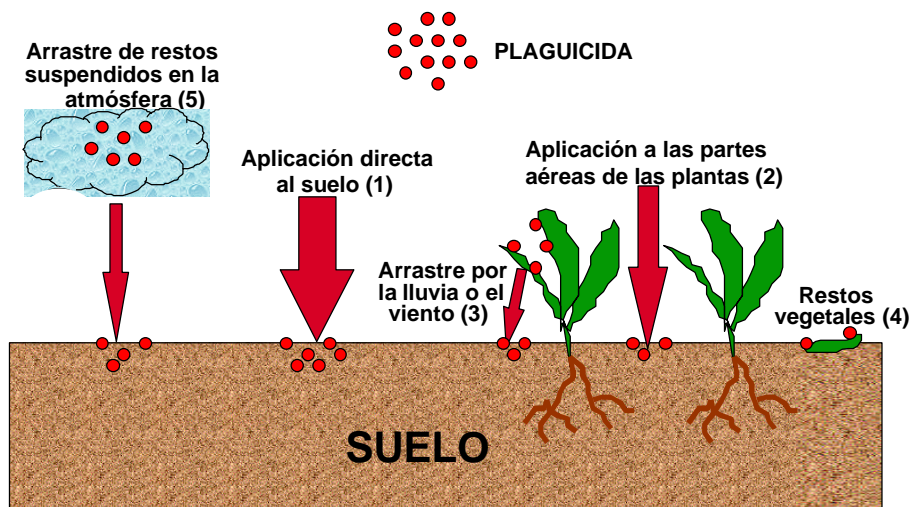


Figura 1. Origen de los plaguicidas en el suelo.

Las dos vías principales por las que los plaguicidas llegan al suelo son su aplicación directa (1), bien a la superficie del suelo bien incorporándolos a cierta profundidad, y cuando se aplican a las partes aéreas de las plantas (2), ya que gran parte del plaguicida aplicado no alcanza el objetivo deseado, que es la planta, sino que se deposita sobre la superficie del suelo. También puede producirse un arrastre por el agua o el viento del plaguicida que sí se ha depositado sobre la planta (3). En menor proporción, los plaguicidas pueden llegar al suelo a través de restos vegetales desprendidos o que quedan en el suelo al recolectar el cultivo (4), así como por arrastre de restos suspendidos en la atmósfera por la lluvia o el viento (5).

Una vez en el suelo, el plaguicida entra en un ecosistema dinámico y está sometido a una serie de procesos que determinan su comportamiento y que pueden agruparse en procesos de transferencia o transporte y procesos de transformación o degradación (Tabla 1).

Tabla 1. Procesos operantes en la dinámica de los plaguicidas en el suelo.

Procesos	Transferencia	Adsorción-desorción Volatilización Difusión y arrastre Escorrentía Absorción por plantas y organismos Lixiviación
	Transformación	Química Fotoquímica Biológica

Los procesos de transferencia implican un movimiento del plaguicida de una fase a otra (suelo-agua-atmósfera) o dentro de una misma fase, mientras que por los procesos de transformación el plaguicida pasa a un compuesto químico diferente. Como muestra el esquema de la Figura 2, todos los procesos están interrelacionados entre sí y por ello un conocimiento global y simultáneo de todos ellos resulta fundamental a la hora de predecir el comportamiento del plaguicida en el medio ambiente y, por consiguiente, a la hora de diseñar estrategias encaminadas a conseguir que el comportamiento del plaguicida sea el deseado, es decir,

aquel que lleva a una máxima eficacia del plaguicida y a la vez a un mínimo impacto ambiental.

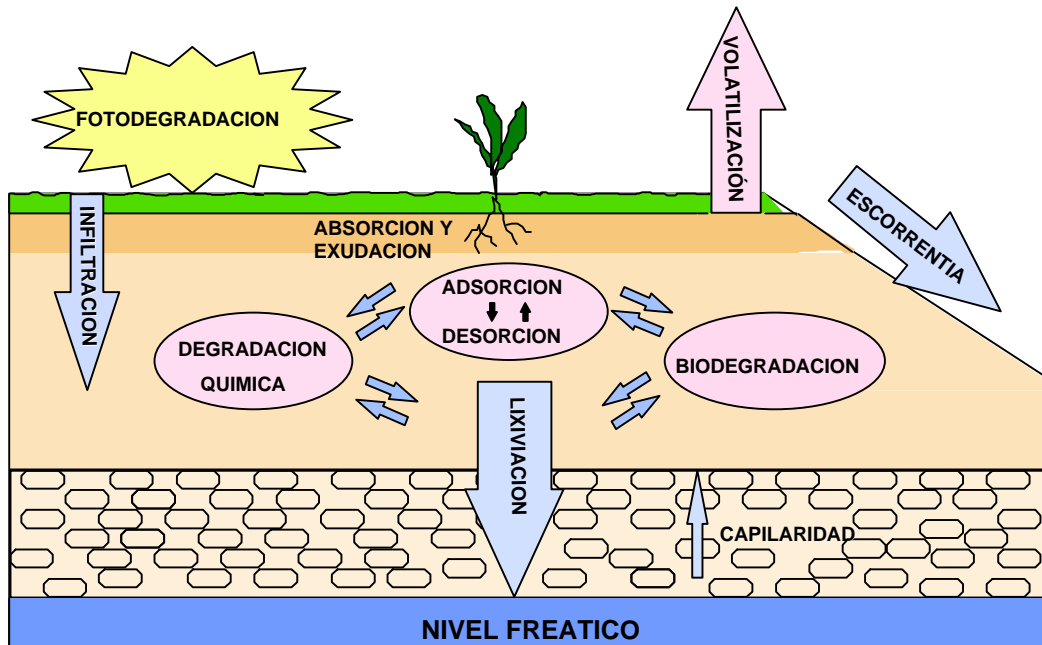


Figura 2. Procesos que determinan la dinámica de los plaguicidas en el suelo.

Algunos de los factores más importantes que influyen en estos procesos son los siguientes:

Naturaleza coloidal del suelo. El suelo puede describirse, mediante un criterio físico-químico, como un sistema disperso constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. De estas tres fases, la sólida es la que presenta una mayor significación desde el punto de vista de la adsorción y dentro de ella, las fracciones coloidales mineral (arcilla) y orgánica (humus). Los componentes coloidales del suelo, entendidos como aquellos con un tamaño de partícula inferior a $2 \mu\text{m}$, son por su elevada superficie específica y reactividad superficial los principales responsables de las interacciones que tienen lugar entre la fase sólida del suelo y solutos como los plaguicidas.

Los coloides minerales más importantes desde el punto de vista de la adsorción son los óxidos e hidróxidos cristalinos y amorfos y los minerales de arcilla. Estos últimos pueden sufrir expansión al hidratarse, apareciendo a veces una superficie interna entre la lámina expansionada, que puede ser accesible a las moléculas de plaguicida. El plaguicida puede adsorberse más o menos fuertemente y por tanto más o menos

reversiblemente dependiendo de su naturaleza y de las características de la superficie con la que interacciona. Los minerales de arcilla más importantes en lo que respecta a su capacidad de adsorción son la montmorillonita y la vermiculita, ya que presentan una alta capacidad de cambio catiónico y un espacio interlamilar accesible y expandible.

Los coloides orgánicos, bajo la forma de humus, desempeñan al igual que la arcilla un importante papel en la adsorción de los plaguicidas. El humus es un material muy heterogéneo, constituido por un conjunto de sustancias altamente polimerizadas, de alto peso molecular, con grupos funcionales muy variados y una carga superficial negativa dependiente del pH. Poseen un doble carácter, hidrofílico e hidrofóbico, aunque su estructura y muchas de sus propiedades no son aún muy conocidas. Dependiendo de su solubilidad en ácido y álcali se las agrupa en tres grupos: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas.

Para plaguicidas hidrofóbicos y sin carga, la capacidad de adsorción de las sustancias húmicas del suelo suele ser muy superior a la de los componentes minerales. Numerosos estudios han puesto de manifiesto una alta correlación entre la adsorción de plaguicidas y el contenido en materia orgánica del suelo.

Naturaleza del plaguicida. Las características físico-químicas del plaguicida pueden indicarnos su comportamiento en la adsorción, siendo de importancia: la naturaleza de sus grupos funcionales, tales como carboxilo (-COOH), carbonilo (C=O), hidroxilo (-OH) y amino (-NH₂); la posición estérica de unos grupos funcionales respecto a otros; la presencia y magnitud de insaturaciones en la molécula, lo que puede afectar al balance lipofílico/lipofóbico; la distribución de carga en la molécula, etc.

La carga del plaguicida y su distribución es probablemente la propiedad más importante que determina su adsorción. Si la distribución de carga no es muy pronunciada, se produce una pequeña polaridad; si por el contrario la carga es fuerte puede llegar a producirse la disociación de la molécula y, por tanto, la adsorción dependerá en mayor medida del pH .

En general, las regiones polares de los plaguicidas tienden a interactuar con los componentes minerales y el agua y las partes hidrófilas de la materia orgánica, mientras que las regiones apolares tienen una mayor afinidad por las partes hidrófobas de la materia orgánica.

La persistencia de los plaguicidas en el mediambiente viene dada, fundamentalmente, por dos factores: sus características físicoquímicas,

definidas anteriormente, y por los procesos a los que se vean sometidos, todos ellos ligados, en mayor o menos grado al proceso de la adsorción.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y considerando la heterogeneidad de la superficie de las partículas donde se adsorben los plaguicidas, éstos pueden ser mas o menos accesibles al transporte o absorción por las raíces de las plantas, dependiendo de su grado de interacción con la partícula. En la Figura 3 se muestran las diferentes formas en que una molécula puede encontrarse en la proximidad de una partícula, en un medio acuoso. Las especies químicas pueden estar retenidas por la superficie externa o interna de la partícula mediante diferentes tipos de enlace. En cualquier caso, las moléculas adsorbidas a las superficies internas, y sobre todo a la de los microporos, es muy poco accesible a microorganismos que puedan degradarlas o disolventes que puedan extraerla, considerándose estas moléculas como muy estables, persistentes y en algunas ocasiones "reclacitrantes". Estas circunstancias, entre otras, dan origen a la presencia de plaguicidas persistentes con el tiempo, en diferentes compartimentos.

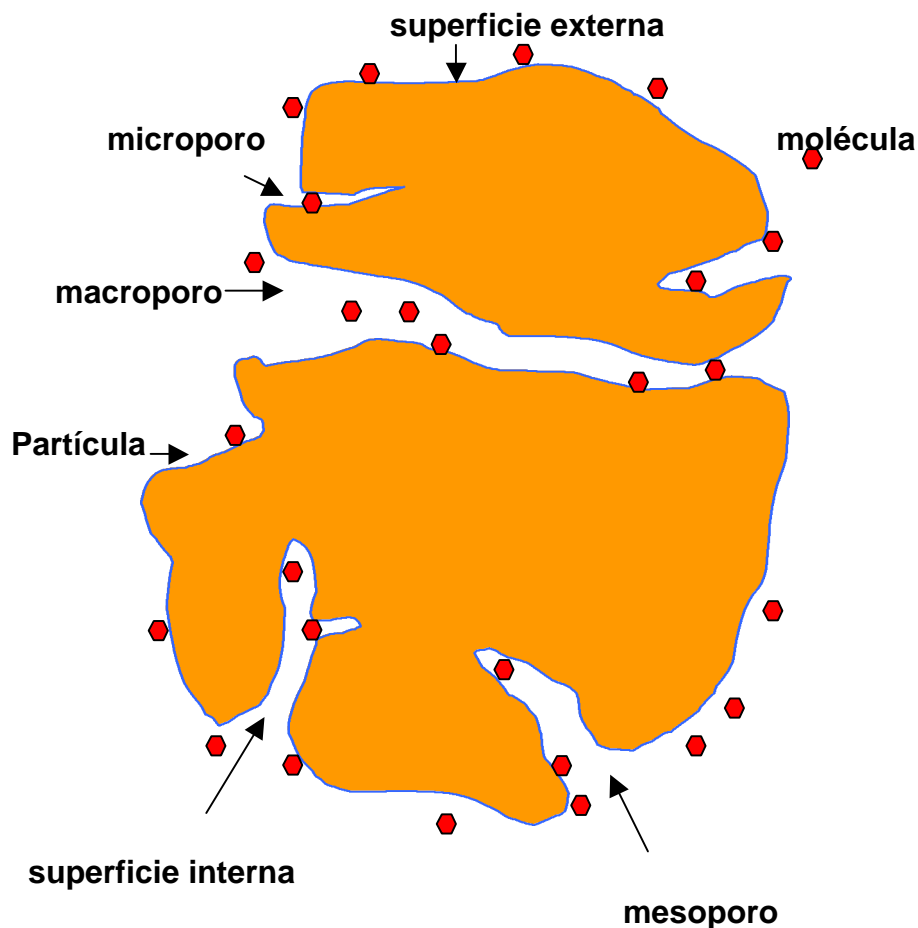


Fig.3. Posibles formas de interacción de plaguicidas y partículas de suelo.