

# Productos químicos para la agricultura

por J.R. Plimmer\*

Para la producción agrícola se recurre mucho a los productos químicos que se utilizan como fertilizantes y plaguicidas y para regular el crecimiento de las plantas. Los plaguicidas se difunden a propósito en el medio ambiente para combatir los insectos, las malas hierbas, las enfermedades de las plantas y otras plagas que afectan a la producción agropecuaria, así como para combatir insectos que propagan enfermedades humanas. Los plaguicidas cumplen una función de reconocida importancia en la agricultura y en la esfera de la salud pública. Las ventajas que se emplea reporta, en cuanto elevan el rendimiento económico y los niveles de la salud y del bienestar humanos, han hecho que esta tecnología química se impusiera rápidamente en el mundo entero. Ahora bien: como su uso imprudente puede acarrear problemas, es frecuente que en los países adelantados se reglamente y vigile su empleo. Por desgracia, en muchos países en desarrollo se carece de la experiencia y de los conocimientos especializados necesarios para resolver este tipo de problemas.

Las cantidades de plaguicidas que no llegan al organismo a que se destinan con motivo de preocupación, dado el impacto que esto puede tener sobre el ser humano y su medio ambiente. Así se explica que las reglamentaciones sobre plaguicidas exijan, en relación con cada uno de ellos, que se presenten datos acerca de su posible destino final en el medio ambiente y acerca de su efecto tóxico sobre diversas especies útiles. La presencia de residuos de plaguicidas en los vegetales cultivados o en otros alimentos plantea problemas especiales y reviste importancia no solo atendiendo a consideraciones humanitarias sino también desde el punto de vista del comercio internacional. Con el término "residuos" se denota, no solo el plaguicida original, sino también los compuestos que a partir del mismo puedan originarse por procesos metabólicos, químicos, etc. El problema de los residuos ha sido objeto de copiosas reglamentaciones en los países desarrollados, en los que se han especificado los valores máximos aceptables del contenido de residuos en los alimentos. Otros países suelen atenerse a las directrices elaboradas por la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La Organización Mundial de la Salud ha propuesto el concepto de la absorción diaria admisible de residuos de plaguicidas en los alimentos y lo ha definido refiriéndose a la cantidad de un plaguicida que, durante toda una vida, no parece ocasionar riesgo apreciable, a juzgar por todos los hechos conocidos hasta el momento (Serie de Informes Técnicos de la OMS, núm. 391, Organización Mundial de la Salud, Ginebra (Suiza), 1968).

De múltiples maneras, los plaguicidas pueden incorporarse a la dieta del ser humano, pero no es éste

el único que corre peligro, pues también el medio ambiente es causa de considerable preocupación. Hay que tener en cuenta recursos naturales como el suelo vegetal y el agua. Y hay que proteger a las especies útiles de los perniciosos efectos de los residuos de plaguicidas.

Importa, pues, detectar la presencia de los plaguicidas y determinar en qué cantidades aparecen en los alimentos, los cultivos vegetales, el agua, las tierras labrantías, el aire, los animales todos y otros componentes del medio ambiente. Para esta labor de detección y de análisis cuantitativo de los residuos se dispone de toda una gama de técnicas analíticas. A pesar de ello, puede haber dificultades de análisis, como es fácil advertir si se piensa que, en octubre de 1977, la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos tenía en sus listas 1850 sustancias y más de 40 000 productos plaguicidas. En 1975 se produjeron en los Estados Unidos unas 727 000 toneladas de plaguicidas.

Están en uso procedimientos analíticos capaces de detectar concentraciones bajas (0,1 a 0,01 partes por millón, o aún menos). Los métodos han de ser selectivos; y con frecuencia el analista trabaja a presión, pugnando por mejorar aún más la sensibilidad y selectividad de sus técnicas a fin de adaptarse a la creciente preocupación que inspiran los efectos a largo plazo de las dosis pequeñas.

A menudo, para registrar un plaguicida se exigen estudios de su metabolismo en las plantas, aves, pesca y mamíferos, así como en el medio ambiente. Es habitual que para realizar estos estudios, el fabricante sintetice moléculas marcadas con isótopos ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ , u otro átomo radiactivo). La incorporación de este tipo de marcadores se ha convertido en técnica admitida cuando se investiga el destino último de moléculas complejas en tejidos biológicos, en el suelo vegetal o en otras matrices complejas. Con el empleo de moléculas marcadas se obtienen respuestas inequívocas cuando se trata de análisis cuantitativos o cualitativos.

Para garantizar la seguridad del consumidor, es necesario que el fabricante elabore esos datos sobre residuos. Ahora bien: desde el punto de vista del usuario, el fabricante debe además demostrar que el material es eficaz, y dar instrucciones de empleo. Hay que señalar las tasas de aplicación precedentes; y los métodos de empleo que se recomienden deberán garantizar que no queden residuos dañinos en los cultivos.

La eficacia y la seguridad de los plaguicidas están, pues, estrechamente vinculadas. Un empleo eficaz significa también un empleo económico. Los plaguicidas son caros. La aplicación excesiva de plaguicida no solo es antieconómica sino que puede acelerar el desarrollo de la resistencia a los plaguicidas en los insectos o malezas, o reducir el número de organismos benéficos.

\* Jefe de la Sección de Residuos y Productos Agroquímicos de la División Mixta FAO/OIEA.

La seguridad y la eficacia solo pueden garantizarse poniendo continuado empeño en supervisar y mejorar la forma en que se emplean los plaguicidas. El programa de la Sección de Residuos y Productos Agroquímicos de la División Mixta FAO/OIEA se ocupa del examen de los residuos de plaguicidas en cierto número de productos, del comportamiento de los plaguicidas en el medio ambiente, de la formulación de plaguicidas y de la forma en que deben aplicarse para alcanzar su objetivo.

### Necesidades de los países en desarrollo

La intensificación de la agricultura en muchos países en desarrollo se ha visto acompañada por un aumento de las importaciones y del empleo de plaguicidas. En Venezuela, por ejemplo, la importación anual de ingredientes activos pasó de poco más de 4657 toneladas en 1967 a 15 710 toneladas en 1976, y alcanzó las 26 600 toneladas en 1982. La experiencia venezolana refleja un momento en que muchas naciones pugnan por alcanzar la autosuficiencia en la producción de alimentos.

La mayoría de los plaguicidas se han desarrollado en Europa, América del Norte o Japón. El costo del desarrollo de un plaguicida, que en la actualidad ronda los 20 millones de dólares por compuesto en los Estados Unidos, hace improbable que se disponga de nuevos productos químicos que no vayan destinados a los cultivos más importantes a nivel mundial. Por lo tanto habrá que depender mucho de los compuestos actualmente disponibles. Es de advertir que el uso de tales compuestos en los sistemas agrícolas tropicales va en aumento. Dado que en su eficacia pueden influir el clima y otros factores del medio ambiente, es esencial elaborar modalidades de empleo apropiadas para cultivos, climas y plagas de muy diferentes regiones del globo. Los factores que influyen en la eficacia influirán también en los avatares de los residuos. En las tasas de pérdida de residuos influirán la temperatura, la pluviosidad, y la insolación, así como la naturaleza de los cultivos y de los suelos.

Por desgracia, muchos países en desarrollo no cuentan, en cuanto al empleo de plaguicidas orgánicos sintéticos se refiere, con la experiencia suficiente para resolver los problemas que su empleo pudiera presentar. El personal capacitado para realizar análisis de control de calidad y para vigilar la presencia de residuos de plaguicidas en los cultivos, suelos, etc. es escaso, y las instalaciones de que dispone son a menudo limitadas. Advirtiendo este problema ya en 1961 la FAO recomendó que su programa de plaguicidas se ampliara adoptando un enfoque internacional eficaz y proporcionando a los Gobiernos directrices apropiadas.

Desde entonces, la FAO viene participando cada vez más activamente en la prestación de asesoramiento experto en cuestiones relacionadas con los plaguicidas, especialmente en lo tocante al registro de plaguicidas (inclusive las actividades de seguridad y el control). Además de estas actividades, la FAO ha procurado también facilitar apoyo técnico a muchos proyectos en países en desarrollo con los que se pretende un empleo de los plaguicidas más seguro y eficaz. Parte de estos programas consiste en aumentar la disponibilidad de personal nacional capacitado en diferentes aspectos

del empleo y control de los plaguicidas y en crear laboratorios habilitados para controlar la calidad de los plaguicidas y para medir los residuos contenidos en los alimentos y en el medio ambiente.

Para resolver los problemas planteados por los plaguicidas es necesario recurrir a diferentes técnicas. Con la posibilidad de aplicar métodos nucleares se amplía extraordinariamente la capacidad de un laboratorio de plaguicidas corriente. Con frecuencia se utilizan moléculas marcadas con radisótopos en estudios analíticos, en estudios sobre el metabolismo de los plaguicidas, y en investigaciones de los problemas planteados por el comportamiento de los plaguicidas en el medio ambiente. La División Mixta FAO/OIEA ha prestado asistencia a cierto número de Estados Miembros en desarrollo para que inicien y lleven a cabo proyectos sobre plaguicidas para los que se requieren técnicas nucleares.

Las actividades de la Sección de Residuos y Productos Agroquímicos abarcan una amplia gama. Los proyectos que se llevan a cabo en países Miembros tienen como principal objetivo la mejora de la eficacia y de la seguridad de los plaguicidas, si bien existen también programas dedicados al aprovechamiento de los desechos agrícolas.

### Residuos de plaguicidas

Los estudios de los plaguicidas presentes en productos almacenados figuran entre los primeros realizados con el empleo de isótopos. Con el trabajo de pionero llevado a cabo en los años 50 por F.P.W. Winteringham y sus colegas, se revelaron los tipos de residuos resultantes del empleo de fumigantes de hidrocarburos halogenados, y sus efectos sobre la calidad de la harina de trigo. El empleo de compuestos marcados con  $^{14}\text{C}$  sirvió de modelo para muchos estudios semejantes.

Como el grano almacenado representa una gran inversión, especialmente si la cosecha es abundante, las pérdidas causadas por las plagas pueden ser cuantiosas, especialmente en zonas tropicales.

Para combatir infestaciones graves se emplean fumigantes, mientras que los insecticidas pueden servir para evitar que las plagas arraiguen. Los residuos que dejen dependerán del método de aplicación, del intervalo que medie entre la aplicación y el consumo, de las condiciones de almacenamiento, de la naturaleza del producto almacenado y de la naturaleza de los ingredientes activos. Como las técnicas radisotópicas son ideales para realizar dichos estudios, la Sección de Residuos y Productos Agroquímicos ha creado un programa coordinado de investigación para estudiar los residuos de plaguicidas en los cereales, a fin de medir el tipo y la magnitud de los residuos y de demostrar la forma de minimizar los residuos terminales modificando los procedimientos de aplicación.

El empleo de plaguicidas en la cría de animales es cosa ya establecida. Los piensos y el medio ambiente pueden hallarse contaminados por residuos de plaguicidas. Para estudiar los niveles de plaguicida en la carne o en la leche se ha trazado un programa coordinado en que se reúnen diversos estudios, algunos de los cuales tratan sobre los residuos de hidrocarburos clorados y de insecticidas organofosfóricos, así como de aflatoxinas en estado natural.

Algunas utilizaciones no presentan problemas graves. En Egipto, por ejemplo, se encontró que los residuos de metomil presentes en la leche eran de un nivel tan bajo que era improbable que resultasen peligrosos para el consumidor.

El comportamiento de los plaguicidas se ve afectado por el medio ambiente, y se ha indicado que algunos plaguicidas que no se degradan con facilidad en climas templados tal vez sufran una degradación y desintoxicación mucho más rápida en ambientes tropicales. Estas consideraciones son de particular importancia para los países en desarrollo, ya que muchos de ellos se hallan situados en las zonas tropicales y gran número de plaguicidas que ya no pueden utilizarse en las zonas templadas pudieran resultar plenamente satisfactorios en las tropicales, en las que su período de permanencia en el medio o "persistencia" puede ser bastante inferior. Dado que muchos de estos plaguicidas son baratos y eficaces, no parece haber muchas razones para desecharlos, si es que los riesgos para el medio ambiente son bajos. Puesto que los radiotrazadores son una herramienta ideal para medir la tasa de degradación y de disipación en medios tropicales (o en otros medios), hay actualmente en marcha un programa coordinado de investigación con el que se pretende estudiar estos aspectos.

#### Residuos "combinados y conjugados"

Mediante el empleo de plaguicidas marcados con radisótopos se logró un gran avance de las técnicas de análisis de plaguicidas. El análisis tradicional basado en la extracción con disolventes proporciona datos cuantitativos sobre el plaguicida y sus productos de degradación. Se suponía que la fracción que no podía extraerse se había degradado o metabolizado, y que carecía de interés científico. Tales residuos se denominan "combinados". Sin embargo, en los años setenta se empezó a hablar de su reversibilidad. En este contexto, los residuos "combinados" parecen estar estrechamente asociados a un sustrato tal como el suelo, mientras que los residuos "conjugados" se forman por el enlace químico de un plaguicida y un compuesto de origen biológico, como puede ser un aminoácido o una molécula de azúcar. Se planteó el problema de su posible toxicidad, y se instó a los organismos reglamentadores a que tomaran medidas en relación con este posible problema. Para investigar la naturaleza de los residuos combinados y conjugados, debe emplearse una metodología analítica refinada, y es esencial el empleo de plaguicidas radiomarcados.

A veces, los residuos "combinados" constituyen una fracción considerable del residuo total, pero si se utilizan los procedimientos analíticos normales escaparían a la detección. La combinación puede producirse por fuerzas de adsorción insólitamente poderosas, o por la formación de enlaces químicos entre el plaguicida y los componentes de los componentes de los tejidos o del suelo. La Sección de Residuos y Productos Agroquímicos lleva a cabo un programa coordinado de investigación para estudiar ciertos problemas de residuos combinados a fin de determinar su naturaleza y magnitud y de mejorar los métodos de medición e identificación.

Ciertos estudios realizados con plaguicidas marcados con  $^{14}\text{C}$  han indicado la magnitud del problema.

Por ejemplo, el 38% de la radiactividad aplicada todavía seguía combinada 12 días después de aplicar malatión al suelo. En el caso del paraquat, un herbicida, un año después, no se había producido ninguna pérdida de radiactividad del suelo en las pruebas de laboratorio, mientras que en el campo se perdió el 26% a los 15 meses. Si bien el paraquat representa un caso extremo, en algunos otros el porcentaje de radiactividad remanente siguió siendo significativo.

Con el programa citado se intenta mejorar la metodología y comparar el rendimiento de los diferentes métodos mediante la investigación de productos químicos corrientes en cierto número de naciones colaboradoras. En estudios comparativos ha quedado demostrado claramente el valor de técnicas específicas tales como la de destilación a altas temperaturas.

El problema principal lo constituyen los efectos tóxicos de los residuos de plaguicidas "combinados y su absorbibilidad biológica. El programa facilita las bases esenciales para la adquisición de datos cuantitativos y cualitativos, sin los cuales cualquier discusión sobre cuestiones toxicológicas se convierte en mera especulación.

#### Formulación de los plaguicidas

La cantidad de plaguicidas que llega al organismo al que va destinado puede ser una fracción extremadamente pequeña de la cantidad aplicada. Los ingredientes activos de un plaguicida se formulan de modo tal que su aplicación resulte más fácil y garantice la transferencia de una dosis eficaz al organismo que constituye su objetivo. Normalmente la dosis eficaz requerida suele ser muy pequeña, pero buena parte del material aplicado se disipa antes de alcanzar su objetivo. Una proporción considerable llega a los suelos o a organismos útiles y se convierte así en una pérdida "económica" y en un posible contaminante del medio ambiente.

Una formulación más acertada aumenta la eficacia y puede traducirse también en una mejora de la seguridad en el transporte y la manipulación. Recientemente se ha producido un progreso notable en la tecnología de las fórmulas de difusión regulada. En éstas, el plaguicida se halla contenido en un depósito y va desprendiéndose paulatinamente de tal forma que durante un período de tiempo determinado se mantenga una concentración predeterminada. El depósito sirve para proteger al ingrediente activo contra pérdidas por volatilización o contra la degradación producida por las fuerzas del medio ambiente, y limita al mismo tiempo su alejamiento del punto de aplicación.

Se dispone de diferentes matrices o dispositivos para la difusión regulada; la idoneidad de una tecnología determinada depende de su eficacia en una situación específica y de sus aspectos económicos.

En el marco de un programa coordinado de investigación, varios colaboradores evalúan actualmente diferentes tipos de matrices a base de polímeros. Se emplean plaguicidas radiomarcados para estudiar el comportamiento del ingrediente activo, su tasa de difusión y su destino último en el medio ambiente. En el Laboratorio de Biotecnología Agrícola de Seibersdorf se está experimentando con fórmulas a base de alginatos, ya que

los polímeros naturales parecen ofrecer buenas perspectivas de llegar a formulaciones económicas. En Indonesia, por ejemplo, se está utilizando látex natural para elaborar fórmulas de herbicidas, y se ha resuelto, mediante la irradiación del látex, el problema de la vulcanización.

En Neuhergerg (República Federal de Alemania) los cooperadores están examinando técnicas de formulación más refinadas en las que fórmulas poliméricas basadas en polietileno o copolímeros etileno-acetato de vinilo pueden moldearse o extruirse para formar cuerdas apropiadas para combatir contra las malas hierbas acuáticas.

En estudios preliminares de laboratorio se han evaluado diversas fórmulas. Las de endosulfán en matriz de alginato, por ejemplo, se van a probar en el campo como insecticida para algodonales. Ulteriormente se continuará procurando, mediante experimentos de laboratorio con materiales radiomarcados, optimizar el rendimiento de las nuevas fórmulas.

### **Tripanocidas**

Unos diez millones de kilómetros cuadrados del continente africano se hallan infestados por la mosca tsé-tsé, transmisora de la tripanosomiasis, enfermedad parasitaria del ganado y del hombre. Esta enfermedad reduce la producción de ganado y la idoneidad de considerables extensiones de terreno para el desarrollo agrícola. Para abordar este problema se han adoptado, entre otros enfoques, el de la lucha contra la mosca tsé-tsé y el de producción de vacunas apropiadas. Sin embargo, ninguno de estos dos enfoques es técnicamente factible en el momento actual, y la única solución práctica del problema de la tripanosomiasis animal es la quimioterapia. Se ha estimado que en Africa se emplean anualmente más de 25 millones de dosis de productos tripanocidas. Sin embargo, en los últimos 25 años no se ha introducido ningún nuevo producto, y hay que recurrir mucho a los pocos que existen.

Si bien éstos continúan utilizándose, los expertos convienen en que se desconoce su forma de actuar y en que podría optimizarse su empleo si se conociese con toda claridad la relación existente entre la dosis y el efecto curativo o protector.

Para conseguir la información necesaria, van a utilizarse productos radiomarcados en estudios sobre animales que tendrán lugar en el Instituto de Investigaciones sobre la tripanosomiasis de Kenya. Se obtendrá información sobre los niveles de estos productos en los tejidos con el fin de establecer una correlación con los efectos biológicos de su administración. En el Laboratorio de Biotecnología Agrícola se han elaborado métodos sensibles de análisis de tripanocidas que se emplearán en las investigaciones empíricas de Kenya.

### **Empleo de la biomasa — desechos agrícolas**

La energía obtenida de fuentes de combustibles fósiles es factor importante de la producción y distribución agrícolas. La agricultura moderna depende mucho de las fuentes de energía, y el creciente costo de la misma es un condicionante de primer orden de la producción agrícola, tanto en los

países en desarrollo como en los desarrollados. Actualmente se despliega gran actividad de investigación y desarrollo con vistas a explotar nuevas fuentes de energía. En particular, la utilización de recursos renovables (estiércol, residuos de cultivos, cultivos “energéticos”, etc.) para producir energía, o nutrientes para animales o plantas, es un campo de investigación en el que las técnicas nucleares pueden desempeñar un papel de gran valor.

Mediante la fermentación de desechos celulósicos puede producirse energía en forma de metano o etanol. También se emplean mucho los procesos de fermentación para producir alimentos, piensos y bebidas; y una de las mayores empresas iniciadas en el campo de la biotecnología —en plena expansión— es la de ampliación y mejora de los procesos de fermentación mediante el empleo de catalizadores biológicos “hechos a la medida”.

La falta de un conocimiento básico de los procesos en juego limita las técnicas actuales de producción de energía. La generación de metano mediante la fermentación (biogás) es un enfoque relativamente reciente de la producción de energía a partir de desechos tales como el estiércol de origen animal. No obstante, aunque los conocimientos científicos que se tienen son rudimentarios, se ha conseguido determinar muchos de los factores condicionantes, tales como la capacidad limitada de los microorganismos para digerir sustratos lignocelulósicos (madera, paja, etc.). La fermentación puede ser frenada o impedida por la presencia de ciertos microorganismos o por el exceso de ciertos intermediarios en el proceso de descomposición. Además, los procesos de fermentación solo se operan dentro de campos de pH y temperatura muy estrechos.

Por todos estos motivos, en muchos laboratorios del mundo entero se investigan actualmente los procesos de producción de energía y sus limitaciones. En esta investigación se utilizan técnicas nucleares, y la División Mixta FAO/OIEA apoya cierto número de proyectos. Mediante la adición de sustratos marcados con isótopos a los desechos en fermentación, se están investigando los procesos que se operan en los generadores de metano de las zonas rurales y la influencia de las condiciones de funcionamiento sobre la eficiencia de la producción de metano.

Tal vez sea posible mejorar las tasas de descomposición lignocelulósica y de fermentación a temperaturas más bajas utilizando nuevas variedades de microorganismos. Se han producido mutantes radioinducidos con vistas a aumentar la capacidad de degradación de desechos agrícolas tales como el bagazo de la caña de azúcar o los desechos de frutas que quedan tras la fermentación y destilación de los alcoholes.

La observación de que los termites africanos pueden alimentarse de materiales leñosos sugiere que la microfauna presente en sus intestinos posee capacidades únicas para la degradación lignocelulósica. El Laboratorio de Biotecnología Agrícola está realizando un programa de investigación con el que se pretende aislar, identificar y explotar tales organismos. Se han aislado ya, con destino a estudios sobre las mutaciones, organismos capaces de degradar la celulosa, proyecto en el que científicos de Nairobi (Kenya) colaboran con los de la División Mixta FAO/OIEA.