

HERBICIDAS Y MEDIO AMBIENTE

por

Lorenzo Panizzo Durán*

*"Todas las cosas por un poder inmortal,
Cercano o lejano,
Ocultamente
Una a la otra tan unida están,
Que es imposible tocar una flor
Sin que se estremezca una estrella"*

Francis Thompson, Poeta inglés.

Plaguicidas

El aumento creciente de la población humana es inherente al requerimiento de alimentos, con ello van creciendo las exigencias hacia una agricultura cada vez más productiva. Por otra parte, el hombre al introducir la agricultura modificó los procesos ecológicos; esta desestabilización indujo la pérdida de multiformidad que alteró los principios de control y compensación que producen el equilibrio autosostenido. En otras palabras, muchas poblaciones de organismos que en su ambiente original estaban controladas por la presencia de competidores o depredadores, en el medio transformado por el hombre, crecen incontroladamente.

Con el objeto de restablecer el equilibrio ecológico y combatir los animales y plantas perjudiciales hasta restringir su tamaño, se ideó el control químico que se inició formalmente en la década de los cuarenta con el desarrollo y uso generalizado de insecticidas organoclorados y de herbicidas a base de ácido fenilacético.

Aunque han resultado efectivos en el control de plagas no ofrecen una solución permanente a los numerosos problemas que originan las plagas que aquejan la humanidad.

En el momento actual y a nivel mundial se emplean más de medio centenar de plaguicidas orgánicos en 15.000 fórmulas distintas. Un número tan elevado de compuestos se debe clasificar según su objetivo o su composición química. Sin embargo, antes de clasificarlos conviene establecer una definición que se aproxime a sus objetivos:

Los plaguicidas pueden ser definidos como productos químicos empleados por el hombre para eliminar o inhibir formas de vida que él considera perjudiciales desde el punto de vista de su bienestar.

Según el objetivo a que están destinados, los plaguicidas pueden clasificarse de la forma siguiente:

1. Insecticidas. Como indica su nombre estos productos químicos están destinados a la destrucción de insectos.
2. Fungicidas. Son tóxicos para hongos y ayudan a prevenir las enfermedades de las plantas.
3. Herbicidas. Eliminan las malas hierbas u otras plantas indeseables.

Otros plaguicidas específicos. Incluyen los rodenticidas: efectivos contra ratas, ratones, etc.; moluscicidas: contra caracoles, y nematocidas: para el control de gusanos microscópicos.

Clasificación de Plaguicidas

Los plaguicidas se pueden agrupar en diferentes categorías si se consideran la composición química y la estructura:

1. Hidrocarburos clorados
2. Clorofenoxiácidos
3. Organofosforados
4. Carbamatos
5. Misceláneos

Más recientemente la Organización Mundial de la Salud ha desarrollado una nueva clasificación orientada a ordenarlos según el grado de peligrosidad para el ser humano, refiriéndose a las dosis letales medias de cada plaguicida (DL50). La DL50 corresponde a aquella dosis o cantidad de sustancia administrada por unidad de peso corporal a la que muere el 50% de los animales expuestos. Se trata de una prueba de toxicidad aguda que corresponde a estudios toxicológicos que se efectúan para determinar la cantidad de sustancia que pueda ser peligrosa o directamente mortal cuando se la admi-

* Profesor de Facultad de Ciencias. Adscrito al Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia.

nistra en una o varias veces en 24 horas más o menos. Se utilizan ratas, ratones y cobayos. Las DL50 varían según la forma de presentación del tóxico (sólido, líquido, etc.) y según las vías de ingreso (dérmica, oral, etc.).

Esta clasificación considera cuatro categorías como se muestra a continuación, según la toxicidad del plaguicida expresada en DL50 para rata (mg/Kg):

1. Clase IA
Extremadamente peligrosos (DL50: = 40)
Ej.: Dieldrín, Paratión, Cloruro de Mercurio
2. Clase IB
Altamente peligrosos (DL50: 5-400)
Ej.: Aldrín y Diclorvós
3. Clase II
Moderadamente peligrosos (DL50: 50-2000);
Ej.: Clordano
4. Clase III
Discretamente peligrosos (DL50: 500-4000)
Ej.: Malatión

Se han ilustrado estas categorías con ejemplos; sin embargo, en la medida en que se reúnan pruebas, un plaguicida puede cambiar de categoría según sea el caso.

La agricultura es el principal usuario de los plaguicidas. Se ha informado que la reducción en la producción de alimentos a partir de cultivos en los Estados Unidos es del orden del 30%, debido a enfermedades de las plantas, insectos y principalmente a las malas hierbas.

El uso de los insecticidas ha causado preocupación debido a que compuestos como el DDT son altamente persistentes y se concentran en los tejidos grasos de los animales. Se define la persistencia de un plaguicida como el tiempo necesario para que pierda al menos 95% de su actividad, bajo condiciones ambientales y tasas de aplicación normales. La pérdida de actividad es completa cuando el plaguicida se ha descompuesto (degradado) o bien se ha inactivado merced a procesos químicos o biológicos. Los productos químicos no persistentes permanecen en el ambiente de una a tres semanas, los de persistencia moderada de uno a dieciocho meses, y los persistentes pueden durar dos o más años. La mayoría de los hidrocarburos clorados se clasifican como compuestos persistentes.

Los fungicidas provocan una considerable inquietud, ya que algunos de ellos contienen metales pesados tóxicos. Los herbicidas no han causado tanta preocupación debido a que parecen ser relativamente no permanentes y no son utilizados con tanta frecuencia como los insecticidas o los fungicidas.

Los herbicidas y otros productos relacionados se pueden concebir como medios protectores de las plantas, incluyendo las hormonas para crecimiento. De este modo no sólo aparece los residuos de estas sustancias químicas en las cosechas destinadas al consumo alimenticio, sino que eventualmente también ejercen una influencia sobre el equilibrio biológico del ambiente, con menoscabo de la biocenosis.

Los plaguicidas no ofrecen soluciones fáciles. Ha habido y continuará habiendo tantos beneficios como peligros en su uso. El balance de los beneficios y peligros requiere de juicios responsables basados en la mayor evidencia científica existente.

Herbicidas

En esta nota se hace énfasis en los herbicidas, los cuales se definen como un producto capaz de alterar la fisiología de la planta durante un período suficientemente largo como para impedir su desarrollo normal o causar su muerte.

Los herbicidas incluyen un grupo vasto de sustancias con diferentes fórmulas y propiedades fisicoquímicas, que poseen un modo de actuar y unos mecanismos de acción que los caracteriza. El

modo de actuar está relacionado con la suma total de las respuestas anatómicas, fisiológicas y bioquímicas que constituyen la acción fitotóxica de un químico, así como su localización física y degradación molecular del herbicida en la planta. El mecanismo de acción se refiere al proceso fisiológico donde actúa el herbicida para causar la muerte de la planta.

Los síntomas más característicos de toxicidad causados por los herbicidas en las plantas son entre otros: Clorosis, necrosis, enanismo, reducción en la población del cultivo, encebollamiento y torcimiento.

Clasificación de los Herbicidas

Los herbicidas se pueden clasificar según el enfoque de estudio: fisiológico y químico.

De acuerdo con el proceso fisiológico afectado por influencia del herbicida se reconocen seis categorías.

- I. Herbicidas que afectan la fotosíntesis. Pertenecen a esta categoría tres grupos:
 - Grupo i:
Triazinas (Atrazina)
Ureas sustituidas (Diuron)
Uracilos (Bromacil)
 - Grupo ii:
Bipiridilos (Paraquat)
 - Grupo iii:
Triazoles (Amitrol)
- II. Herbicidas que afectan la respiración:
 - A. Fenoles (Dinoseb y Pentaclorofenol)
 - B. Nitritos (Ioxinil)
- III. Herbicidas que afectan las membranas celulares:
 - A. Propanil
- IV. Herbicidas que afectan la síntesis de los ácidos nucleicos y llamados hormonales:
 - A. Fenóxidos (2, 4-D)
 - B. Benzóico (Dicamba)
 - C. Derivados del ácido picolínico (Picloram)
- V. Herbicidas que afectan la germinación, la brotación y el crecimiento de las raíces y del coleóptilo.
 - Grupo i:
Tiocarbamatos (Vernolate)
Ditiocarbamatos (Metan y CDC)
 - Grupo ii:
Dinitroanilinas (Trifluralina)
 - Grupo iii:
Acetanilidas (Alaclor)
Amidas (CDA)
- VI. Herbicidas que afectan las proteínas:
 - Alifáticos (Dalapon)
 - Orgánicos no cíclicos y nitrogenados (Glifosato)

La clasificación química se hace teniendo en cuenta si los herbicidas son inorgánicos u orgánicos.

Dentro de los inorgánicos se utiliza una gran variedad de compuestos: Trióxido de arsénico, arsenito de sodio, arsenato de calcio, todos ellos no selectivos y que actúan en forma sistémica sobre la planta, sin embargo, últimamente han sido reemplazados por arsenicales orgánicos que son más selectivos y menos tóxicos a los mamíferos.

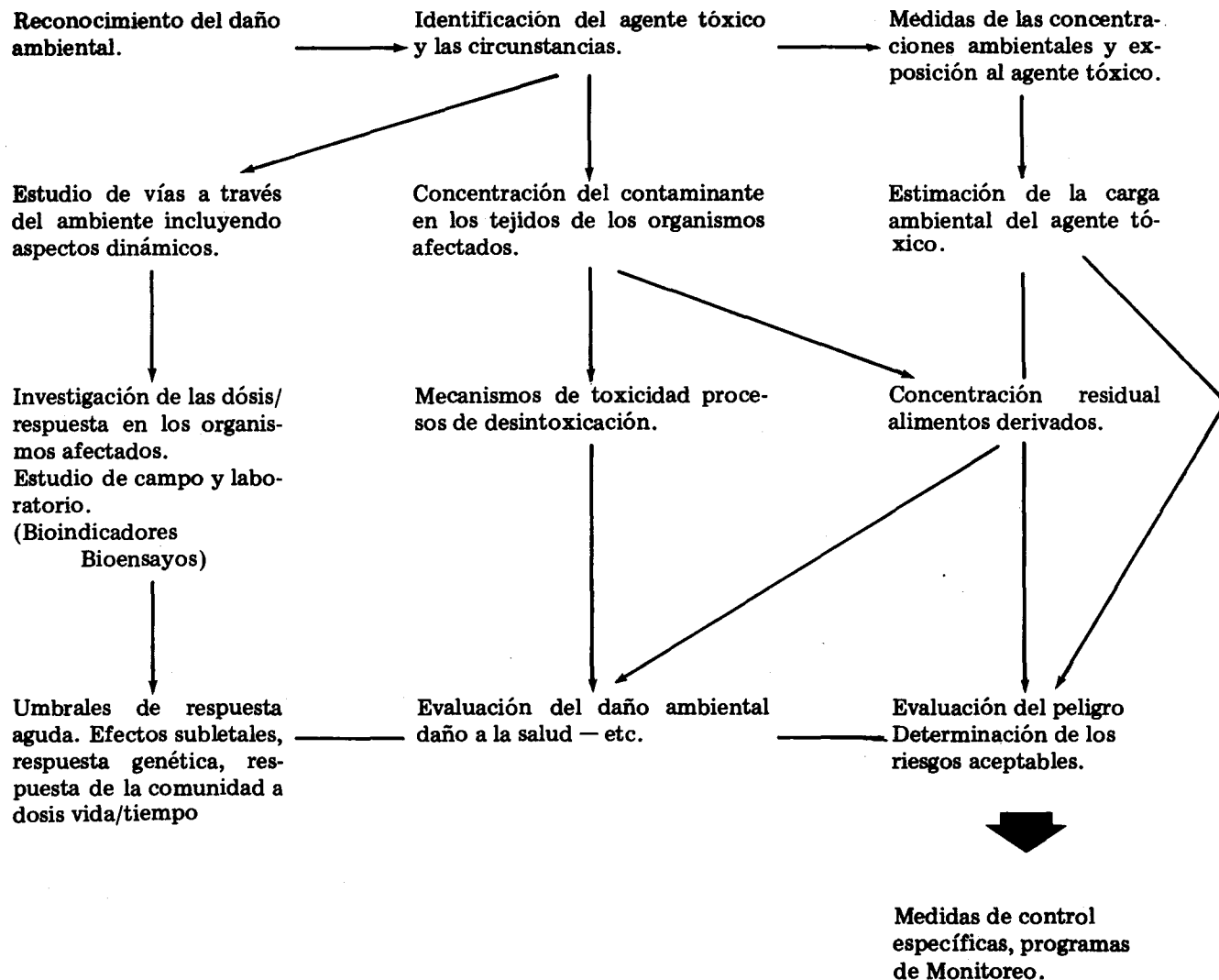


Figura 1. Etapas en la investigación y evaluación de la contaminación ambiental.

El clorato de sodio empleado para la destrucción de plantas perennes es un oxidante fuerte y su uso como herbicida es muy peligroso. Se acostumbra a mezclar con boratos y úreas sustituidas, ambas decrecen su combustibilidad incrementan su capacidad herbicida. Los compuestos de boro (bórax) son muy tóxicos a las plantas y persisten en el suelo por tiempo considerable.

La cianamida de calcio es un fertilizante defoliante y herbicida.

Dentro de los herbicidas orgánicos se destacan los siguientes grupos químicos:

- Ácidos cloroalifáticos (Dalapon)
- Ácidos clorofenoxi y clorobenzóicos (2, 4-D)
- Amidas (Propanil)
- Ureas (Diurun)
- Carbamatos (Metan)
- Triazinas (Simazida)
- Bipyridilos (Paracuat)
- Toluidinas (Dipropalin)
- Fenoles sustituidos (Donoseb)
- Misceláneos (Bromacil, glifosato)

Ácidos Cloroalifáticos: Las sales sódicas han sido usadas por muchos años en el tratamiento de suelos para controlar los pastos. Son de baja toxicidad para los animales y se degradan rápidamente en el suelo.

Clorofenoxiácidos: y sus derivados han sido utilizados en forma extensiva. Son más tóxicos para las plantas de hojas grandes que

para las herbáceas; característica que conduce a su gran consumo contra las malas hierbas que se encuentran a lo largo de autopistas, carreteras, vías férreas, línea de conducción eléctrica, así como en prados y jardines.

Las plantas leñosas pueden resultar afectadas, pero el resultado suele ser una defoliación temporal y no la muerte. Sin embargo, la defoliación reiterada puede acabar con un árbol al agotarse sus reservas nutritivas almacenadas.

Como se vio en la clasificación fisiológica de los herbicidas, los grupos fenoxi son activos debido a su capacidad de imitar a las hormonas de crecimiento vegetal. En consecuencia, tiene lugar un crecimiento anormalmente rápido que elimina la energía almacenada por la planta. Esta crece literalmente agotándose hasta morir.

Los dos fenoxiácidos más empleados son el 2,4-D y el 2, 4, 5-T. Ambos son sólidos cristalinos a temperatura ambiente, se convierten en derivados para aumentar la facilidad de su aplicación así como su eficacia.

La toxicidad de las 2, 4-D y 2, 4, 5-T es relativamente baja para los animales, pero la degradación fotoquímica, como lo demostró el autor en 1967 en un estudio de salud ocupacional, produce compuestos clorofenólicos altamente peligrosos y productores de una afección epidérmica conocida como cloracné.

La persistencia en los suelos es de una a cuatro semanas, pero ésta depende de las condiciones medio ambientales como tipo de suelo, humedad, temperatura, grado de aireación y fórmula del herbicida utilizado.

En términos generales la formulación se entiende por la forma sólida, líquida o gaseosa como viene preparado un producto químico para su uso práctico. En un herbicida formulado se distinguen tres componentes básicos:

- La sustancia o ingrediente activo: Es el compuesto que tiene actividad herbicida.
- El solvente o vehículo: Este material generalmente no tiene acción fitotóxica, puede ser sólido o líquido.
- El coadyuvante: Normalmente no fitotóxico, aumenta la acción o modifica las propiedades del ingrediente activo.

Por supuesto las formulaciones dependen de varios factores entre ellos:

- Las propiedades físicas y químicas del herbicida. El uso. El área donde va a usarse. La disponibilidad de materiales. Factores económicos. Factores ambientales.

En experiencias de laboratorio los ingredientes activos 2,4-D y 2, 4, 5-T han resultado ser teratógenos en animales experimentales. Las concentraciones empleadas fueron muy superiores a las que se encuentran en el ambiente, pero los resultados despertaron preocupación sobre la conveniencia de proseguir usando estas sustancias como herbicidas. Parte de las inquietudes son resultado del descubrimiento de una impureza en el 2, 4, 5-T. Esta impureza el TDD (Dioxina), se forma en pequeñas cantidades durante la síntesis del 2, 4, 5-T, a consecuencia de una reacción lateral. Se sabe que, es teratógeno y muy tóxico. La degradación del 2, 3, 7, 8-Tetracloro dibenzo-p-dioxina o TDD es muy lenta en el suelo, por consiguiente, se plantea la posibilidad de su acumulación en las cadenas tróficas, análogas a los hidrocarburos clorados persistentes como el DDT y los BPC (Bifenilos-policlorados).

Las mezclas de clorofenoxiacidos fueron muy utilizadas como agentes defoliantes en Vietnam. El "agente naranja" estaba constituido por una mezcla en partes iguales de 2, 4-D y 2, 4, 5-T. Los daños ocasionados a la vegetación han sido descritos por los biólogos de irreversibles en muchos casos.

Los Ácidos Clorobenzóicos (Dinoben). Son más persistentes que los clorofenoxiacidos y son por consiguiente muy útiles para controlar las plantas perennes de raíces profundas.

Amidas. La mayor parte de los compuestos desarrollados son las anilidas (derivados de la acetamida) tales como el Propanil. Todas funcionan como inhibidoras de la fotosíntesis y tienen bajas toxicidades frente a los mamíferos.

Ureas. Las más importantes corresponden a los derivados fenólicos tales como el Momecon y sus análogos. Algunas ureas son muy persistentes, pueden permanecer activas por varios años. Son de uso muy delicado puesto que pueden inutilizar los suelos por períodos largos.

Carbamatos. Estos herbicidas incluyen ésteres del ácido carbámico y tiocarbámico. Son inhibidores del crecimiento celular y de la fotosíntesis. Poseen baja toxicidad a los mamíferos.

Triazinas. Estos compuestos fueron sintetizados en 1855, pero como herbicidas solo se introdujeron en 1955. Inhiben la fotosíntesis, son muy útiles como herbicidas preemergentes y son muy persistentes.

La selectividad del herbicida en general se logra atendiendo a la época de aplicación y al estado de desarrollo del cultivo en el cual el principio activo no le es tóxico. La aplicación del herbicida se puede efectuar antes o después de la emergencia del cultivo o de las malezas (pre y post emergencia).

Bipiridilos. Los dos más conocidos son el Paracuat y el Diquat. Sus moléculas son iónicas, afectan el proceso fotosintético y por consiguiente no son selectivos a ningún cultivo. No afectan los troncos de los árboles ni ningún otro tejido vegetal que carezca de cloroplastos. La luz aumenta la velocidad con que se manifiesta la

fitotoxicidad. Otras importantes características son la resistencia a ser lavados por la lluvia o el agua de riego, y ser retenidos por las partículas del suelo volviéndose inactivos. Tienen aplicación pre y postemergente. Controlan muy bien las malezas anuales y perennes.

Toluidinas. Compuestos representantes de este grupo son la Diprolina y la Trifluralina. Ambos son herbicidas con baja toxicidad a los mamíferos y extremadamente persistentes, por esta razón se usan en sistemas de protección para períodos prolongados.

Misceláneos. Dentro de esta categoría se pueden mencionar el Dalapon y el contravertido Glifosato, ambos alifáticos, siendo el segundo un producto orgánico nitrogenado no cíclico. Las moléculas de estos herbicidas son muy sencillas y afectan las proteínas de las plantas destruyendo su estructura terciaria, causando su degradación a aminoácidos, los cuales posteriormente se degradan a amoníacos.

El Dalapon es sistémico, se usa en pre y postemergencia, controla las gramíneas perennes. El Glifosato que deriva del aminoácido glisina (el más sencillo) es un herbicida no selectivo de uso postemergente, de acción sistémica, no deja residuos en el suelo debido a su fácil degradación por parte de los microorganismos presentes en el suelo que lo utilizan ávidamente para sus requerimientos energéticos, metabolizándolo hasta anhídrido carbónico, amoníaco y fosfatos; debido a su naturaleza polar forma complejos organometálicos con los elementos presentes en el suelo. Controla en dosis específicas la gran mayoría de las malezas, tanto monocotiledoneas (gramíneas) como dicotiledoneas (malezas de hojas anchas). Este herbicida interfiere en la biosíntesis de la fenilalanina.

Distribución y destino de los Herbicidas en el Ambiente

La distribución y persistencia de los herbicidas en el medio ambiente es una función compleja de variables físicas, químicas y biológicas. Los factores que contribuyen al destino de los herbicidas en el suelo, agua y aire son internos y externos. Los primeros están relacionados con la solubilidad, polaridad, volatilidad, distribución de cargas (fuerzas coulombicas), tamaño de la molécula y constante de disociación. Los extremos se refieren a movimientos de agua y aire, absorción, temperatura, pH, diferentes tipos de acciones biológicas y luz.

Bajo las condiciones del campo la desipación es muy rápida, sin embargo, si un herbicida es resistente a alguna o a todas las fuerzas que tienen efecto atenuante, éste será persistente por largo períodos. Entonces la distribución de los herbicidas en el aire o el agua puede ser medida mejor a escala global que en una local. Además, el transporte de herbicidas por los animales y plantas puede ser un factor determinante en la distribución geográfica de un compuesto en particular.

Suelos. En el caso de los suelos, el comportamiento de los herbicidas está determinado por los fenómenos de absorción. Por ejemplo, la inmovilización de un herbicida sobre la superficie de un suelo puede:

Retardar la degradación biológica a través de la separación espacial de sustratos (herbicidas y enzimas). Estimular la degradación microbiológica por concentración de enzimas y sustratos. Demorar la lixiviación del suelo y la volatilización. Presentar degradación catalítica de origen no biológico. Marcada influencia fitotóxica.

Aguas. En aguas, la contaminación de lagos, ríos y ambientes marinos suele ser atribuida a la aspersión de herbicidas, lluvias y movimiento de aguas en canales de riego, así como descarga de residuos procedentes de industrias que elaboran herbicidas.

A propósito de contaminación y sin detenernos en una definición técnica puede decirse: "Lo que hace que una sustancia se convierta en un contaminante es su concentración en cantidad excesiva, en un lugar indebido, y en un momento inoportuno".

La detección y seguimiento de herbicidas en el medio acuático es difícil debido a los efectos de dilución y fraccionamiento del

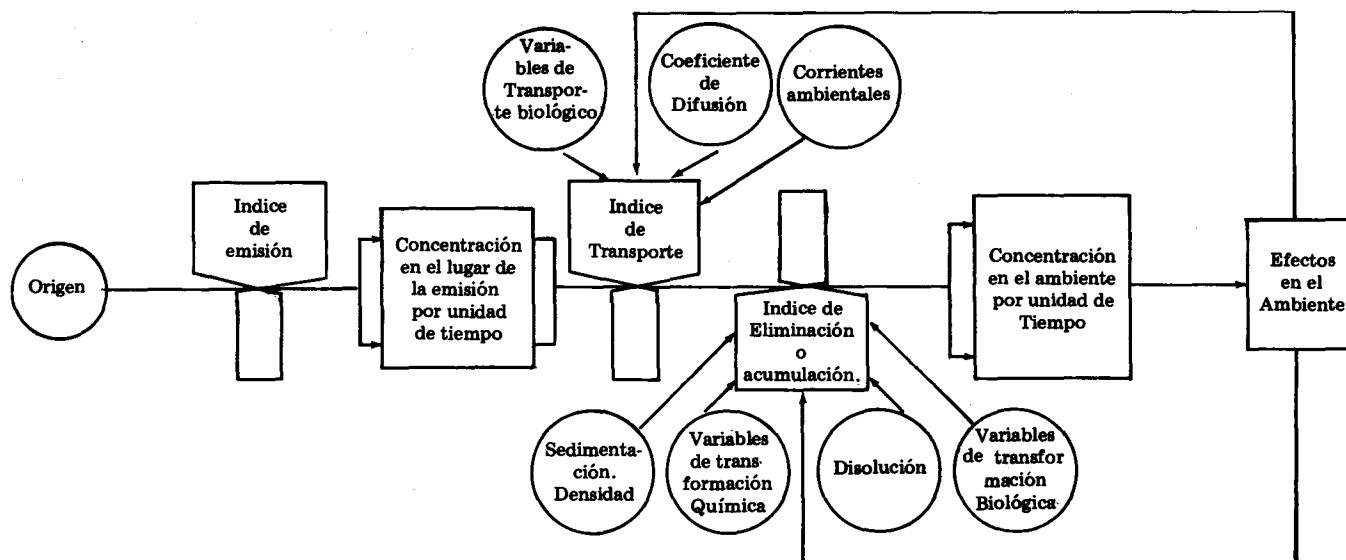


Figura 2. Trayectoria general seguida por los agentes contaminantes (De Hologate 1979).

producto en diferentes especies químicas que pueden, así como el producto inalterado, transferirse a la atmósfera, a la biota o a los sedimentos, siguiendo el ciclo hidrológico, sin olvidar que tanto los herbicidas como el agua reaccionan complejamente con las superficies del suelo dentro de los límites establecidos por las características fisicoquímicas del producto activo, el agua y las variables ambientales.

Como puede observarse la evaluación química, que de ser posible a esos microniveles de concentración, encuentra una difícil pero posible interpretación ambiental que evidentemente constituye un desafío para el investigador.

Aire. En el aire y mediante métodos cromatográficos (de separación selectiva) es posible detectar varios niveles de concentración de herbicidas. Es muy probable que solo se encuentren cantidades significativas de herbicidas en el aire en áreas muy próximas a los centros de aplicación. Por ejemplo, se ha estimado que después de una aspersión aérea se encuentra menos del 50 % del herbicida y una gran proporción como se deduce es transportada por corrientes aéreas que van a contaminar áreas vecinas no incluidas como objeto del herbicida, afectando de esta manera plantas, animales y ecosistemas.

Ecología

Debemos considerar ahora los aspectos ecológicos. Los herbicidas pueden influenciar las poblaciones microbiológicas en forma directa a través de los cambios en sus actividades metabólicas y fisiológicas, o indirectamente afectando las plantas, los animales y otros microorganismos. El consenso entre los investigadores es que los niveles de concentración en que los herbicidas llegan al suelo, en aplicaciones normales varían muy poco las estructuras de las comunidades microbiológicas. Solo cuando se aplican en cantidades importantes y a intervalos frecuentes pueden presentarse signos de cambios más o menos permanentes.

Las actividades microbiológicas evaluadas como indicadores de las respuestas a los herbicidas incluyen: Producción de dióxido de carbono, consumo de oxígeno, nitrificación y tasas de nodulación en leguminosas.

El estímulo o inhibición de cualquiera de estas características se debe registrar cuidadosamente con el objeto de ser interpretadas para ver si existe alguna relación entre experimento in vivo e in vitro, de otra parte, deben considerarse las condiciones in situ. Algunas de las dificultades más obvias son:

- Diferente respuesta microbiana del cultivo in vitro a la observada en un sistema tan heterogéneo como el suelo.
- En experiencias in vivo con columnas de suelo, éstas no reflejan las condiciones micro y macro climáticas, ni las activida-

des de crecimiento de las plantas y de las actividades de los animales.

- La distribución del herbicida en el suelo, los sistemas acuáticos, las plantas y los animales es diferente.
- La formación de altas zonas de concentración es más la regla que la excepción.
- La baja solubilidad de algunos herbicidas requiere el uso de solventes orgánicos, el efecto de estos compuestos pueden enmascarar la verdadera respuesta.
- Muchas veces las compañías manufactureras de las formulaciones de herbicidas no revelan la composición exacta en cuanto a agentes humectantes, rellenos y otras que de una u otra manera ejercen alguna actividad sobre las comunidades biológicas y hacen difícil desagregarlas de las del herbicida.

A pesar de los usos benéficos de los herbicidas existen importantes amenazas al hombre y a la vida silvestre. Algunos productos químicos de alta toxicidad y sus productos de degradación persisten en el ambiente por períodos considerables y pueden movilizarse en corrientes acuáticas, ríos y mares o ser transportadas por la atmósfera. Tal es la movilidad de algunos plaguicidas que no existe en el planeta un espacio libre, de al menos algún nivel de contaminación, incluyendo las zonas antárticas, situadas muy lejos de las áreas de aplicación.

Los herbicidas siempre presentan sus efectos colaterales los cuales son difíciles de predecir debido a que todos son potencialmente peligrosos. Los herbicidas pueden perjudicar directamente organismos no involucrados en los objetivos de la aplicación, como ocurre cuando un animal come plantas tratadas o rociadas accidentalmente, y si a esta situación se aplica uno de los principios básicos de la ecología, de la cadena alimenticia, se comprenderá mucho mejor los alcances de estos eventos.

En todo caso la supervivencia del hombre dependerá de su habilidad para cambiar su ambiente sin causar efectos adversos que podrían llegar a serle autodestructivos.

¿Qué hacer?

En nuestro medio el uso de plaguicidas, incluidos los herbicidas se hace en forma masiva. Ello amerita la introducción del concepto de control integral que incluye aspectos tales como el conocimiento profundo de la botánica de los cultivos, de la biología y ecología del herbicida, de las condiciones ambientales favorables o no para la diseminación de las malas hierbas y para la resistencia de las plantas, etc.

Como áreas prioritarias de investigación en este campo pueden señalarse:

- Evaluación sistemática de los daños directos y secundarios del uso de herbicidas químicos.
- Mejorar el conocimiento de la biología y la ecología de los agentes dañinos dentro del contexto de los métodos de la dinámica de sistemas, con el fin de investigar las posibilidades de utilizar a sus enemigos naturales, ensayando, además, técnicas de control biológico.
- Estudios de diversificación de cultivos que fomenten la diversidad del agroecosistema sin causar reducción de la productividad.

Mientras la tan anhelada solución del control biológico de las plagas se alcanza, se continuarán utilizando los herbicidas y productos químicos sintéticos, por lo cual se hace necesaria la vigilancia y control. Un programa adecuado de investigación y evaluación de la contaminación ambiental que incluya las etapas visualizadas en el esquema de la (Fig. 1), debería constituir la base para las decisiones gubernamentales.

Es indispensable conocer la trayectoria general que siguen los contaminantes, desde su origen al punto final. En forma esquemática se presenta una visión simplificada (Fig. 2) de los diferentes eventos que se suceden en la evolución del alterógeno en el medio ambiente. Hay tres factores importantes que determinan el proceso:

- El índice de emisión de la fuente contaminante.
- El de transporte que caracteriza el ecosistema en cuestión.
- El de eliminación o acumulación del contaminante a lo largo de su camino.

El factor transporte depende del índice de difusión del contaminante y de otras variables ambientales, así como de las propiedades relativas al transporte de los organismos que el agente contaminante se encuentra en su camino. El índice de eliminación o acumulación depende de la velocidad de disolución o sedimentación y de las transformaciones químicas y biológicas que en conjunto determinan la dosis que llega a los organismos al final de la trayectoria. Los procesos que aquí se verifican llevarán el contaminante al lugar donde ejerce su efecto, o lo eliminará. Es fácil ver como este camino se repite a lo largo de una cadena alimentaria.

Como se puede colegir de las implicaciones dadas en un Programa de Investigación y Evaluación de la Contaminación Ambiental y de las trayectorias seguidas por un contaminante, la prevención de la contaminación y la alteración de los recursos naturales requieren de:

- Una tecnología básica. Consideraciones económicas. Ajuste del comportamiento social.

Sobresale en nuestro medio ambiente colombiano una necesidad de carácter perentorio: La organización y puesta a punto de un Ente investigativo que involucre los tres puntos enunciados anteriormente y que posea un soporte que se ha dado en llamar Laboratorio de Parametrización Ambiental que incluye no solamente la medida de los parámetros físicoquímicos sino también los sociales, económicos y de calidad de vida.

Actualmente el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional (IDEA) trabaja seriamente en esta posibilidad, a partir de las experiencias logradas en programas de asesoría ambiental, la participación al interior de un grupo de profesores especializados en diferentes campos ambientales que en asociación con sus Facultades tendrá la misión de encarar la solución de los problemas ambientales con un enfoque holista.