

Pesticidas obsoletos en Colombia

Situación actual y alternativas de tratamiento y disposición

13

Nancy P. Sánchez M.

Estudiante Maestría. CIIA, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes

Manuel S. Rodríguez Susa

Profesor Asistente. CIIA, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes

Víctor Manuel Sarria M.

Profesor Asistente. Departamento de Química. Universidad de los Andes

PALABRAS CLAVES

Residuos peligrosos, pesticidas, AOP

KEYWORDS

Hazardous Wastes, pesticides, AOP

RESUMEN Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el país existen cerca de 500 toneladas de pesticidas obsoletos, ubicados en almacenes y en entierros ilegales en distintos lugares de Colombia aún sin identificar con exactitud. Dada la afectación que han causado y pueden llegar a causar a la población cercana a sus zonas de ubicación, por el riesgo que representan para el medio ambiente, por la oposición pública a los intentos de eliminación dentro del país y por el desconocimiento general sobre la magnitud de la problemática, estos materiales merecen especial interés en el ámbito ambiental nacional. Este artículo presenta una síntesis de la cuantificación, ubicación y posible manejo a estos materiales.

ABSTRACT According to the Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, there are about 500 ton of obsolete pesticides in Colombia, which are located in warehouses and illegal burials in different unknown places of the country. Because of these substances can produce negative effects in human health of nearest community to the places where they are, and they constitute an environmental risk, besides the general lack of information about this situation and the public opposition to the treatment attempts inside the country, this article presents a general overview about this problem, including alternatives of solution, based in the Colombian reality.

INTRODUCCIÓN

Los pesticidas químicos, sustancias generalmente tóxicas con estructuras complejas y estables, persistentes en el medio ambiente, que incluyen insecticidas, herbicidas y fungicidas, han sido utilizados por el hombre a lo largo de la historia con el fin de mantener la productividad de los cultivos, controlar plagas y erradicar vectores transmisores de enfermedades tales como la malaria, el tífus y la fiebre amarilla. Su uso ha traído entre otros beneficios el desarrollo de la agricultura y la protección de millones de vidas alrededor del mundo, principalmente en países tropicales azotados por la presencia de mosquitos tales como el *anopheles*, que de otra forma hubiesen generado grandes problemas de salud pública.

Sin embargo, junto con los beneficios atribuibles a estas sustancias, su uso puede generar residuos que contaminan suelos y fuentes de agua de manera persistente y, en algunos casos, la acumulación de cantidades considerables de estos compuestos que constituyen los llamados depósitos de pesticidas obsoletos o caducados; los cuales no pueden ser utilizados, bien sea por razones asociadas a la legislación o por la degradación que han sufrido en su estructura, y por lo tanto han debido ser almacenados hasta que sea posible realizar un proceso de tratamiento o disposición final.

En lo referente a la legislación, pesticidas que fueron utilizados de forma regular en un tipo de cultivo específico o en la lucha contra un vector determinado, se convirtieron en pesticidas obsoletos, debido a evidencia científica que les atribuye efectos adversos sobre especies animales e incluso sobre la salud humana, hasta llegar en algunos casos a ser catalogados como compuestos cancerígenos, teratogénicos y disruptores del sistema endocrino. La prohibición de su uso se estableció con cerca de veinte años de diferencia entre países como Estados Unidos y Colombia [1].

En el caso de pesticidas que por la degradación que han sufrido en su estructura no pueden ser utilizados y por tanto se consideran como obsoletos, la gran

mayoría de estos corresponden principalmente a sustancias que fueron adquiridas en épocas de bonanza de un determinado cultivo y que, debido entre otras razones a crisis en los mercados del producto, debieron ser almacenadas por largos periodos de tiempo, produciéndose su descomposición [2].

El problema de los pesticidas obsoletos en distintos lugares del mundo tiene un panorama similar. Se encuentran almacenados en grandes cantidades, en condiciones inadecuadas, en países en vías de desarrollo, principalmente tropicales, que los utilizaron para hacer frente a plagas perjudiciales para una de sus principales actividades económicas como la agricultura o en el desarrollo de campañas de salud pública tendientes a controlar vectores transmisores de enfermedades. Su disposición final puede tardar varios años, ya que la capacidad tecnológica de estos países no es suficiente para realizarla y, generalmente, no existen los recursos necesarios para acudir a países con infraestructura adecuada para su tratamiento, debido a los costos involucrados, los cuales incluyen el transporte con las condiciones requeridas para sustancias de este tipo catalogadas como peligrosas.

En Colombia, el tema ha despertado especial interés en los últimos años debido a la polémica generada alrededor de la iniciativa de tratamiento mediante coprocesamiento de cerca de 17 toneladas de los pesticidas *Metil Paration* y *Toxafeno* provenientes del corregimiento de Caracolcito en el Cesar, en los hornos de la compañía cementera Holcim Colombia S.A. ubicada en Nobsa (Boyacá), a finales del año 2003. El coprocesamiento de estas sustancias por decisión del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial pretendía servir como prueba piloto para la posterior disposición mediante este método de cerca de 160 toneladas más, presentes en este corregimiento [3].

Sin embargo, la desinformación, el manejo político dado a la situación y la fuerte oposición de la población impidieron que se llevara a cabo el tratamiento,

por lo cual los habitantes del Cesar debieron continuar con los pesticidas en su territorio, hasta cuando finalmente estos materiales fueron enviados al exterior para su incineración [4].

Este tipo de situaciones ha llevado a ahondar sobre la realidad de los pesticidas obsoletos en Colombia, las condiciones de su almacenamiento, el conocimiento real que se tiene acerca de la magnitud del problema y las alternativas de solución que tiene el país, considerando las características de estos compuestos.

PANORAMA NACIONAL

En Colombia, según datos del Ministerio de el acuerdo internacional.

ALMACENES A CARGO DEL MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL

Este ministerio almacena en diferentes instalaciones a lo largo del país cerca de 200 toneladas de DDT

grado técnico (*Dicloro difenil tricloroetano* al 75%), pesticida organoclorado cuyo uso comenzó a nivel mundial en el año 1943 y alrededor del cual se han sostenido fuertes debates. Se ha comprobado su potencial de bioacumulación y magnificación a través de cadenas tróficas, su persistencia en el medio ambiente y sus efectos sobre la reproducción en algunas especies de aves, sin que se haya comprobado algún tipo de efecto cancerígeno o disruptor del sistema endocrino sobre humanos. Sin embargo, es una de las herramientas más eficaces en la lucha contra la malaria, enfermedad que causa la muerte de cerca de 2.7 millones de personas alrededor del mundo cada año [1,5].

Su uso fue prohibido en Estados Unidos en 1972. En Colombia, el ICA en 1986 restringió su uso a campañas de salud pública contra la malaria; hasta que en el año 1993, el entonces Ministerio de Salud prohibió su importación, formulación, producción,



Figura 1. DDT almacenado en bodegas del Ministerio de la Protección Social en Bogotá

comercialización y uso, fijando un año como plazo para el retiro definitivo de este producto. Sin embargo, ese mismo año, la entidad había adquirido una cantidad considerable de este producto que ante la prohibición debió ser almacenado [6].

Esta cantidad de DDT se encuentra acumulada en su mayoría en bodegas ubicadas en Bogotá y Honda en el departamento del Tolima, reportándose cantidades menores en Cartagena, Antioquia y Guainía.

En el año 2001, la Defensoría del Pueblo en su Resolución “Uso, almacenamiento y disposición inadecuado de plaguicidas” presenta el resultado de visitas realizadas a algunos de los sitios de almacenamiento de DDT reconocidos en el país. En estas visitas, llevadas a cabo en las bodegas de Honda y Bogotá, los funcionarios encontraron condiciones muy deficientes de almacenamiento, tales como exposición del pesticida a la lluvia, ventilación insuficiente, manipulación inadecuada por parte del personal encargado, residuos fuera de los recipientes, recipientes no apropiados como cajas de cartón rotas y, específicamente en el caso de Honda, la bodega se encuentra muy cerca de la planta de potabilización de agua del municipio. Los sitios de almacenamiento del pesticida en Cartagena, Antioquia y Guainía no fueron visitados, por lo que se desconoce su situación.

Mediante la resolución defensorial No 011 de 2001, esta institución ordenó al Ministerio de Salud tomar las medidas pertinentes para realizar el almacenamiento apropiado del DDT, incluyendo su reenvasado, etiquetado y adecuación de las instalaciones en cuanto a iluminación, ventilación y señalización. Actualmente, el pesticida depositado en las bodegas de Bogotá y Honda continúa allí, aunque ahora ubicado en canecas plásticas debidamente selladas y etiquetadas en condiciones adecuadas de almacenamiento, a la espera de recursos suficientes para su tratamiento o disposición final (Figura 1).

ENTIERROS DE PESTICIDAS

Los pesticidas caducados u obsoletos que se encuentran enterrados en el territorio nacional, son excedentes de aquellos utilizados durante muchos años en cultivos que los requerían para mantener su productividad. Aunque no se tiene una estadística real sobre los entierros que pueden existir en Colombia, los descubrimientos realizados apuntan a que éstos provienen principalmente del cultivo de algodón y, por tanto, puede esperarse que se concentren principalmente en la zona norte de Colombia, especialmente en el departamento del Cesar.

Desde 1953, este departamento inició su actividad algodonera con cultivos ubicados principalmente en los municipios del Copey, más específicamente en el corregimiento de Caracolito, y en Codazzi, ciudad conocida como *la capital blanca de Colombia*. El uso de pesticidas en estos cultivos fue intensivo hasta principios de la década de los noventa, en la cual, entre otras razones, la aparición del gusano bellotero causó una crisis en el sector, disminuyendo el área sembrada y dejando excedentes de pesticidas sin utilidad [7].

En 1995 en Codazzi, luego que gran parte de los trescientos estudiantes del Instituto Técnico Agropecuario Antonio Galo Lafaurie presentaran síntomas de intoxicación por plaguicidas, se descubrieron más de setenta canecas de *Metil Paratión*, *Etil Paratión*, *Endosulfan*, *Arseniato de plomo* y *DDT* enterradas bajo las instalaciones del colegio [6].

El *Metil* y *Etil Paratión* son pesticidas organofosforados altamente tóxicos, alteran el funcionamiento normal del impulso nervioso al inhibir la colinesterasa, mientras que el *Endosulfan* es un compuesto organoclorado con un grado de toxicidad igualmente alto, cuyo uso fue restringido en 1993 únicamente a los cultivos de café y prohibido de manera definitiva en el país en el año 2001. Según empleados de la Federación Nacional de Algodoneros, entidad encargada del manejo de insumos para este sector, los restos de pesticidas empezaron a enterrarse desde 1963, en

terrenos del municipio de Codazzi, por lo que es de suponer que la crisis en el sector llevó a aumentar estos depósitos de manera significativa [7].

El hallazgo de este entierro llevó a CORPOCESAR a contratar un estudio para establecer otros lugares donde posiblemente se encontraban depósitos adicionales. La firma encargada señaló tres sitios más y realizó el diseño de un relleno para este tipo de sustancias. Sin embargo, los entierros permanecen en el lugar inicial, posiblemente causando contaminación a las aguas subterráneas y a las fuentes de agua superficial de la zona.

Además de los entierros hallados en Codazzi, se encontraron restos de diferentes pesticidas en terrenos pertenecientes a la Federación Nacional de Algodoneros ubicados en Cartagena, durante excavaciones realizadas por CORVIVIENDA en el proceso de construcción de vivienda de interés social. Se identificaron *Metil y Etil Paratión, Aldrín, Endrín, Dieldrín* y *DDT* entre otros [8].

Cabe mencionar que la acumulación de pesticidas obsoletos por parte del sector algodonero no se dio únicamente en forma de entierros; ya que como se mencionó de manera previa, los habitantes del corregimiento de Caracolito en el municipio del

Copey debieron convivir con cerca de 160 toneladas de *Metil Paration, Toxafeno* y *Fedemetil* durante siete años luego que éstas fueran trasladadas desde Barranquilla [9], al cumplir una orden impartida por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico a la Federación Nacional de Algodoneros. Después de siete años de almacenamiento inadecuado, en el que se sustrajeron varias canecas de estos compuestos, según lo constató la Defensoría del Pueblo, los pesticidas fueron reenvasados y enviados al exterior para su incineración.

ALTERNATIVAS DE GESTIÓN

Los pesticidas obsoletos son sustancias que no pueden ser utilizadas con el fin para el que fueron elaboradas, ni resultan aprovechables para ningún otro propósito; por lo que para las cerca de 500 toneladas de pesticidas caducados que se encuentran en Colombia deben buscarse alternativas tecnológicas adecuadas desde el punto de vista ambiental.

Una alternativa válida, pero no definitiva para el problema de los pesticidas obsoletos, es su almacenamiento a largo plazo [10] de manera controlada, en lugares específicamente destinados para tal fin, cumpliendo con las especificaciones técnicas definidas

AÑO	PAÍS DE ORIGEN	PESTICIDA	CANTIDAD (TONELADAS)
1991	Níger	Dieldrín	60
1993	Uganda	Dieldrín	50
1993	Madagascar	Dieldrín	70
1994	Mozambique	DDT	160
1995	Tanzania	Mezclas	280
1996	Yemen	Mezclas	260
1998	Jamaica	Mezclas-DDT	8
1999	Nicaragua	Mezclas	437
1999	Honduras	Mezclas	103

Tabla 1. Referencias de la incineración y/o coprocesamiento de pesticidas obsoletos provenientes de África, América Central y el Caribe [10, 11].

por la FAO, hasta que el país cuente con los recursos necesarios, bien sea de tipo tecnológico o financiero, para realizar un tratamiento que conduzca a su eliminación definitiva. Esta alternativa, al igual que cualquier otra planteada, requiere de la realización de un inventario que detalle las cantidades reales, ubicación, estado y tipo de estas sustancias. Además, demanda la asignación de recursos suficientes para la adecuación, construcción y mantenimiento de los sitios de almacenamiento que, por las condiciones necesarias para este tipo de compuestos, pueden representar costos considerables.

Alternativas de tratamiento tendientes a la eliminación total de estas sustancias contemplan el uso de tecnologías tradicionales, tales como los procesos de destrucción térmica y tecnologías emergentes que incluyen tratamientos químicos orientados a su conversión en compuestos menos tóxicos, cuya posterior eliminación sea posible mediante métodos convencionales como los de tipo biológico.

Basados en el uso de tecnologías tradicionales, la eliminación de pesticidas ha sido realizada ampliamente mediante incineración. En este proceso se somete la sustancia a temperaturas superiores a los 700°C, dando como resultado sólidos incombustibles llamados cenizas y gases de chimenea como dióxido de carbono y agua. Aunque la eficiencia de eliminación en un proceso realizado en forma adecuada generalmente supera el 99%, atendiendo a las características químicas de la sustancia a tratar, pueden producirse gases y partículas con un grado de toxicidad incluso mayor al de la sustancia original.

La incineración de sustancias peligrosas puede efectuarse en equipos diseñados especialmente para este propósito o, de manera alternativa, pueden realizarse en coprocesamiento utilizando los hornos de la industria cementera y siderúrgica. Las experiencias internacionales de eliminación de pesticidas obsoletos mediante incineración hacen referencia principalmente a países africanos y centroamericanos, que mantienen en sus territorios grandes cantidades

de estas sustancias. La Tabla 1 presenta algunos antecedentes de la incineración y/o coprocesamiento de pesticidas caducados provenientes de África, América Central y el Caribe.

Los pesticidas obsoletos que se encuentran en Colombia, son en su mayoría de tipo organofosforado (*Etil y Metil paration*) y organoclorado (*DDT, Aldrín, Endrín, Endosulfan y Toxafeno*). La eliminación de los primeros mediante incineración es viable técnicamente y recomendable desde el punto de vista ambiental, ya que se trata de sustancias que aunque resultan altamente tóxicas para el ser humano, al ser sometidas a tratamiento térmico pueden convertirse en gases y cenizas inertes.

La incineración de los excedentes de pesticidas organoclorados requiere de un análisis más profundo, ya que el cloro contenido en estas sustancias puede conducir a la formación de dibenzodioxinas y dibenzofuranos policlorados durante el proceso de incineración [12]. Estos compuestos, conocidos como dioxinas y furanos, son altamente contaminantes y persistentes en el medio ambiente, pueden afectar la salud humana llegando a causar problemas reproductivos y alteraciones en el sistema inmunológico, por lo que incluso han llegado a considerarse como los peores contaminantes producidos de manera no intencional por el hombre. Sin embargo, la destrucción de los pesticidas de tipo organoclorado mediante incineración puede realizarse reduciendo la posibilidad de formación de dioxinas y furanos mediante la instalación en los equipos de incineración de mecanismos para el enfriamiento de los gases de salida, permitiendo modificar el rango de temperatura en el que típicamente se da la formación de estos compuestos.

Dado que el país no cuenta con incineradores para el tratamiento de las grandes cantidades de estas sustancias que existen en su territorio, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ha considerado como alternativa para realizar el proceso de eliminación en Colombia el uso del horno cementero de la Compañía Holcim Colombia S.A.

Si las condiciones de proceso y equipo especificadas se cumplen, el uso del coprocesamiento puede ser una alternativa viable para la destrucción de los pesticidas obsoletos principalmente de tipo organofosforado. Los pesticidas organoclorados, podrían ser igualmente incinerados en este horno, atendiendo las precauciones de manejo relacionadas con sustancias de tipo sólido y dando puntual atención al cumplimiento de los límites de emisión de dioxinas y furanos. Sin embargo, teniendo en cuenta los riesgos ambientales asociados al proceso, la FAO recomienda que el uso de los hornos cementeros para este fin no se dé en forma continua y prolongada, sino que se efectúe de manera ocasional.

Además de los tratamientos térmicos que potencialmente puede generar sustancias altamente contaminantes, especialmente en el caso de los pesticidas organoclorados, existen tecnologías de tipo químico que pueden resultar útiles para la eliminación de los excedentes de pesticidas. Dentro de estas tecnologías se encuentran la hidrólisis alcalina y los procesos de oxidación avanzada conocidos como AOP, por sus siglas en inglés.

La hidrólisis ha sido aplicada a pesticidas organofosforados, logrando su destrucción. Sin embargo, el procedimiento implica la posible ocurrencia de reacciones violentas difícilmente controlables y la generación de sustancias que pueden ser altamente tóxicas, de manera tal que para la eliminación de pesticidas organofosforados se prefiere la incineración, que para este tipo de compuestos resulta ser efectiva y segura desde la perspectiva ambiental [13].

Los Procesos de Oxidación Avanzada (AOP), cuyo concepto fue establecido inicialmente en 1987 [14], son procesos químicos que combinan la acción oxidante de diversos agentes con el fin de potenciar su efecto individual en la destrucción de contaminantes orgánicos recalcitrantes tales como pesticidas, compuestos fenólicos, colorantes y PCB, entre otros. Estos agentes incluyen el peróxido de hidrógeno, ozono, radiación ultravioleta, ultrasonido, catalizadores metálicos como los iones férrico y ferroso y fotocatalizadores como el dióxido de titanio.

PROCESO	PESTICIDAS ESTUDIADOS	PRINCIPALES RESULTADOS	REF.
Fotocatálisis heterogénea	Herbicidas	Completa desaparición del compuesto después de 1 h de tratamiento. Rápida degradación del compuesto sin mineralización total (Triazinas). Grado de degradación dependiente del flujo de luz incidente.	15
	Sulfonilúrea y Fenilúrea		16
	Carbamatos y Tiocarbamatos		19
	Insecticidas organofosforados		20
	Pesticidas organoclorados		
Proceso Fenton y Foto-Fenton	S-triazinas	Degradación total tras 30 min. de reacción.	16 17 18
	Cloroacetanilida	Degradación total se puede dar en 30 s bajo relaciones molares adecuadas de $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ (Triazinas).	
	Clorofenoxiacetato	Longitudes de onda entre 300 y 400 nm.	
	Insecticidas organofosforados	Mineralización completa después de 120 min. en la mayoría de estudios.	
$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ O_3/UV	S-triazinas	Ineficientes en la degradación de pesticidas organoclorados como DDT y lindano.	15 16
	Insecticidas organofosforados	Remoción mayor al 90% después de 60 min. de tratamiento para la mayoría de compuestos.	
	Fenilúrea	A concentraciones mayores de 1000 mg/L, la aplicación de ozono como único agente resulta más eficiente que la combinaciones $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ y O_3/UV .	
	Pesticidas organoclorados		
UV / H_2O_2	Pesticidas organoclorados	Porcentajes de degradación mayores al 80% después de 40 min. de irradiación.	21 22
	Insecticidas organofosforados	Concentraciones finales no detectables en el caso de las triazinas.	
	S-triazinas	Parámetros más influyentes: concentración inicial de peróxido y pesticida en el medio.	

Tabla 2 Referencias de aplicabilidad de AOP en degradación de pesticidas

Los contaminantes orgánicos recalcitrantes, tales como los pesticidas, son sustancias con estructuras complejas, generalmente de alto peso molecular, que con frecuencia incluyen anillos bencénicos y halógenos, por lo cual presentan muy baja biodegradabilidad y resultan tóxicos para los microorganismos involucrados en los procesos de tipo biológico; además difícilmente pueden ser degradados por tratamientos químicos convencionales como la oxidación térmica y la oxidación mediante sustancias como el permanganato de potasio.

En el tratamiento de pesticidas, los AOP representan una alternativa que puede conducir a la mineralización total del compuesto, o a la generación de cambios profundos en su estructura; con lo que se puede conseguir una disminución en su toxicidad, permitiendo una posterior degradación total mediante procesos, por ejemplo, de tipo biológico. Los Procesos de Oxidación Avanzada se basan principalmente en la generación de radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), especies transitorias e inestables, altamente reactivas y con un alto potencial de oxidoreducción, cuya reacción de oxidación es poco selectiva, con lo cual consiguen el ataque de diversas sustancias susceptibles de oxidación presentes en el medio de reacción [15].

Aunque estos procesos han sido estudiados principalmente en la degradación de pesticidas en bajas concentraciones (Tabla 2), podría ser posible su aplicación en la destrucción de excedentes de pesticidas caducados, tales como los que se encuentran en el país. Esta alternativa está siendo estudiada actualmente en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y en el Departamento de Química de la Universidad de los Andes, utilizando muestras de DDT obtenidas de las bodegas del Ministerio de la Protección Social.

Aunque se requiere una mayor evaluación, los resultados preliminares del estudio indican que algunos de los procesos de oxidación utilizados, especialmente aquellos que involucran el uso de luz ultravioleta, logran un nivel de degradación del DDT superior al

90%; lo cual, aunque no indica de manera definitiva que los pesticidas obsoletos presentes en Colombia puedan ser destruidos por este método de manera segura y eficaz, sí abre un camino hacia nuevos métodos de tratamiento que podrían dar solución a este problema en el país y sobre los cuales puede trabajar la universidad colombiana.

CONCLUSIONES

Los pesticidas obsoletos que se encuentran en Colombia ascienden a 500 toneladas según datos del gobierno nacional. Están constituidos principalmente por excedentes de sustancias organofosforadas y organocloradas, utilizadas tanto por entidades del gobierno como por cultivadores, especialmente de algodón.

Evidencias anteriores sugieren que los pesticidas caducados producto de la actividad agrícola se encuentran en la mayoría de los casos enterrados en lugares cercanos a las áreas de cultivo, que para el algodón corresponden principalmente al departamento del Cesar. Los pesticidas bajo responsabilidad del Ministerio de la Protección Social, si son conservados en las condiciones de almacenamiento actuales, no representan riesgos muy elevados para la salud humana, ni para el medio ambiente. Aunque su almacenamiento en condiciones técnicas controladas no constituye una solución definitiva al problema, provee un tiempo valioso e indispensable para la consecución de los recursos necesarios para una eliminación final y para el desarrollo de nuevas tecnologías apropiadas para su tratamiento.

Los entierros de pesticidas obsoletos, producto principalmente de la actividad algodonera en el país, sí constituyen un riesgo latente para la comunidad cercana a estas zonas y para el medio ambiente en general. No se conocen con exactitud los sitios de los entierros ni sus características, por lo que es muy probable que la salud de las personas que conviven con éstos sin saberlo, se esté viendo continuamente afectada por su presencia. Además, su vaporización y arrastre a las corrientes de agua constituye un potencial problema de contaminación muy importante.

La responsabilidad del daño causado por los entierros de pesticidas obsoletos debe recaer no sólo sobre el gobierno nacional, sino especialmente sobre los gremios agrícolas del país que históricamente han utilizado este tipo de productos y que en décadas pasadas realizaron un manejo inadecuado de los insumos agroquímicos, utilizados sin tomar las medidas necesarias.

La primera tarea a desarrollar en el camino de solución al problema de los pesticidas obsoletos en Colombia es la realización de un inventario completo de estas sustancias en el país, en términos de cantidad, ubicación, estado y tipo. Una vez éste se haya efectuado, será posible la toma de decisiones basadas en datos reales respecto a las vías de tratamiento y disposición de estas sustancias. Las alternativas de solución a la problemática de los pesticidas obsoletos en el país incluyen un almacenamiento controlado a largo plazo, coprocesamiento en hornos cementeros dentro del país, incineración y/o coprocesamiento en el exterior y aplicación de tecnologías de tipo químico como la hidrólisis y los procesos de oxidación avanzada. La selección de cualquiera de estas alternativas no debe obedecer únicamente a razones económicas, sino que debe estudiarse para cada uno de los tipos de plaguicidas y debe sustentarse en sus características fisicoquímicas, teniendo siempre en cuenta el desempeño ambiental de las distintas tecnologías, para de esta manera evitar que los subproductos del tratamiento resulten incluso más tóxicos y contaminantes que la sustancia original.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Gordon Edwards. 5 mayo de 2005.
<http://www.junkscience.com>
- [2] FAO.
Directrices provisionales para evitar existencias de plaguicidas caducados.
1996.
- [3] A. Caribello,
“Tóxicos una ‘papa caliente’”
En *EL TIEMPO*. Bogotá. Febrero 25 de 2004. Sección Academia.
- [4] “Revive temor por tema de tóxicos”.
En *Semanario Boyacá 7 Días*. Julio 13 de 2004. Sección Actualidad.
- [5] J. Beard,
“DDT and human health”.
En *Science of the Total Environment*. Vol. 355, pp. 78-89. 2006.
- [6] Defensoría del Pueblo. Resolución defensorial 011
“Uso, almacenamiento y disposición inadecuado de plaguicidas”.
2001.
- [7] H. Rodríguez.
“La Maldición del oro blanco”.
En *Revista CROMOS*. Bogotá. N° 4.217. Noviembre 30 de 1999.
- [8] CEPIS.
“Tecnologías existentes y desarrolladas en Colombia para el manejo de residuos: Pilas, lubricantes, baterías y envases de plaguicidas”.
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsare/e/congreso/colombia.pdf>.
18 mayo de 2005.
- [9] “Se reabre polémica por destrucción de tóxicos obsoletos”.
En *Semanario Boyacá 7 días*. Enero 16 de 2004. Sección Actualidad Pag 8.
- [10] FAO.
Eliminación de grandes cantidades de plaguicidas en desuso en los países en desarrollo
- Colección FAO: Eliminación de Plaguicidas. 1996.

- [11] UNEP.
Evaluación regional sobre sustancias tóxicas persistentes. Informe regional de América Central y el Caribe.
Diciembre 2002.
- [12] Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte.
Long-range air transport of dioxin from North American sources to ecologically vulnerable receptors in Nunavut, Arctic Canada.
2000
- [13] R. Batstone.
The safe disposal of hazardous wastes: The special needs and problems of developing countries.
World Bank. Reporte Técnico 93. 1989.
- [14] W. Glaze
"Drinking-water treatment with ozone".
En *Environmental Science and Technology*. Vol. 21, pp. 224-230. 1987.
- [15] Red CYTED VIII-G.
Eliminación de contaminantes por fotocatálisis heterogénea.
Buenos Aires: Miguel A. Blesa. 2001.
- [16] S. Chiron and A. Fernández-Alba
"Pesticide chemical oxidation: State of the art".
En *Water Research*. Vol 34 (2), pp. 366-377. 2000.
- [17] J. Pignatello and Y. Sun
"Complete oxidation of metolachlor and methyl parathion in water by the photoassisted Fenton reaction".
En *Water Research*. Vol 29 (8), pp. 1837-1844. 1995.
- [18] P. Huston and J. Pignatello
"Degradation of selected pesticide active ingredients and commercial formulations in water by the photo-assisted Fenton reaction".
En *Water Research*. Vol 33 (5), pp. 1238-1246. 1999.
- [19] A. Zaleska, J. Hupka, A. Silowiecki, M. Wierowski and M. Biziuk
"Destruction of chlorinated pesticides in TiO_2 -enhanced photochemical process".
En *International Journal of Photoenergy*. Vol 1 (1), pp. 73-78. 1999.
- [20] A. Zaleska, J. Hupka, M. Wierowski and M. Biziuk
"Photocatalytic degradation of lindane, p,p'-DDT and methoxychlor in an aqueous environment".
En *Journal of photochemistry and photobiology A: chemistry*. Vol 135, pp. 213-220. 2000.
- [21] O. Legrini, E. Oliveros and A. Braun
"Photochemical process for water treatment".
En *Chem Review*. Vol 93, pp. 671-698. 1993.
- [22] E. Kowaiska, M. Janczarek, J. Hupka, and M. Gryniewicz
" H_2O_2 /UV enhanced degradation of pesticides in wastewater".
En *Water Science and Technology*. Vol 49 (4), pp. 261-266. 2001.