

Riesgos y estrategias en el uso de plaguicidas

♦ Enrique Sánchez Salinas
Laura Ortiz Hernández

El término “plaguicida” se refiere a cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinada a prevenir, destruir o controlar alguna plaga. En él se incluyen los vectores o huéspedes intermediarios de enfermedades humanas y animales, así como las especies de plantas y animales indeseables que causan perjuicio o interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas y madera, o bien, que pueden administrarse a los animales para combatir cualquier organismo dentro o sobre sus cuerpos.¹

En los años treinta, las investigaciones enfocadas en el desarrollo de armas químicas dieron como resultado los plaguicidas sintéticos.² Durante la segunda guerra mundial, la industria de los plaguicidas tomó auge con el uso del DDT (diclorodifeniltricloroetano) para proteger a los soldados de los ectoparásitos. La explosión demográfica,

la creciente demanda de alimentos, la tecnificación agrícola y la necesidad de controlar nuevas y diversas plagas, han favorecido la fabricación y consumo de plaguicidas, entre los que destacan los organoclorados y organofosforados (POF). Aproximadamente mil sustancias químicas en más de cincuenta mil formulaciones o nombres comerciales son ampliamente usadas en todo el mundo como insecticidas, fungicidas, herbicidas rodenticidas y antimicrobianos.³

Los beneficios de los plaguicidas en el control de plagas y vectores de enfermedades, así como en el incremento de la producción agrícola, son innegables. También son ampliamente difundidos los beneficios “inmediatos e incontrovertibles”, que incluyen los incrementos en las cosechas y los rendimientos de la ganadería, la seguridad alimentaria, el avance en los indicadores de la salud humana, la calidad de vida y la longevidad, así como la disminución del trabajo físico y la energía utilizada. Además, se afirma que su uso contribuye

¹ A. M. Attia, “Risk assessment of occupational exposure to pesticides”, en Igor Linkov y Abou Bakr Ramadan (eds.), *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*, NATO Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences - Vol. 38, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2006, pp. 349-362.

² María José Gómez y José Luis Cáceres, “Toxicidad por insecticidas organofosforados en fumigadores de Campaña contra el Dengue, estado Aragua, Venezuela, año 2008”, *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, núm. 1, vol. 1, 2010, pp. 119-125.

³ Miguel Ángel Karam, Guadalupe Ramírez, Patricia Bustamante Montes y Juan Manuel Galván, “Plaguicidas y salud de la población”, *Ciencia ergo sum*, núm. 3, vol. 11, 2004, pp. 246-254.

♦ Profesores e investigadores, Centro de Investigación en Biotecnología, UAEM



a “evitar” la degradación ambiental. Estos beneficios interactúan en los ámbitos social, económico y ambiental, y en los niveles local, nacional y mundial, que integran conjuntamente una matriz compleja.⁴

Uso y secuelas

En el sector agropecuario en los países con una actividad agrícola importante y de manera particular en los países en vías de desarrollo, el consumo de plaguicidas ha aumentando en las últimas décadas.⁵ Se estima que en la actualidad aproximadamente el 85% de los plaguicidas utilizados en el mundo se usa en el sector agropecuario.⁶

En México, la aplicación intensiva de plaguicidas sintéticos se inició en 1948, con la introducción del DDT, y posteriormente se utilizaron otros plaguicidas organoclorados, diversos POF y carbamatos, lo cual estuvo relacionando con la adopción de

la “revolución verde” en México.⁷ A partir de esto, el modelo convencional de producción agrícola ha sido excesivamente dependiente de insumos de alto costo económico y ambiental.

Los datos sobre la cantidad de plaguicidas que se usa actualmente en el país reflejan una alta incertidumbre y deben tomarse con cautela. A principios del año 2000, los registros oficiales de consumo reportaban alrededor de cincuenta mil toneladas anuales de ingrediente activo. El valor actual del mercado se calcula que está entre cuatrocientos y seiscientos millones de dólares, no obstante es posible que este valor subestime la realidad.⁸

Cuando un plaguicida es aplicado a un cultivo agrícola, aproximadamente el 1% del compuesto químico alcanza al organismo blanco,⁹ mientras que el 99% restante es retenido en el follaje o se dispersa en el ambiente por volatilización, escorrentía y lixiviación.¹⁰ De esta manera, aun cuando

⁴ Jerry Cooper y Hans Dobson, “The benefits of pesticides to mankind and the environment”, *Crop Protection*, núm. 9, vol. 26, 2007, pp. 1337-1348.

⁵ Caristina Robaina Aguirre y Fermín J. Robaina Aguirre, “La epidemiología ocupacional en países en desarrollo”, *Revista Cubana de Medicina General Integral*, núm. 2, vol. 20, 2004, pp. 1-14.

⁶ Rafael Cervantes Morant, “Plaguicidas en Bolivia: sus implicaciones en la salud, agricultura y medio ambiente”, *Revista virtual REDESMA*, núm. 1, vol. 4, 2010, pp. 1-12, http://www.cebem.org/cmsfiles/articulos/REDESMA_09_art02.pdf, consultado en enero de 2011.

⁷ Término referido a un conjunto de tecnologías integradas por variedades de alto rendimiento, resultado del mejoramiento genético de tres cereales básicos (arroz, maíz y trigo), la mecanización de las prácticas agrícolas y el uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas). La “revolución verde” ha sido cuestionada desde las perspectivas ecológica y económica, así como la cultural e incluso la nutricional.

⁸ Lilia Albert, “Panorama de los plaguicidas en México”, *Revista de Toxicología en Línea*, núm. 8, octubre de 2005, pp. 1-17, <http://www.sertox.com.ar/retel/n08/01.pdf>, consultado en enero de 2011.

⁹ Se refiere a todo aquel organismo vivo (insecto, roedor, hongo, alga, ácaro, bacteria, entre otros) al que se dirige una sustancia química, con la finalidad de destruirlo o inhibir su crecimiento. Se espera que la especificidad del biocida no afecte al resto de los seres vivos y del ambiente en general. Véase David Pimentel, “Silent spring revisited: have things changed since 1962?”, *Pesticide Outlook*, núm. 13, 2002, pp. 205-206.

¹⁰ Wasim Aktar, Dwaipayan Sengupta y Ashim Chowdhury, “Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards”, *Interdisciplinary Toxicology*, núm. 1, vol. 2, 2009, pp. 1-12.

los plaguicidas se apliquen estrictamente, de conformidad con las prácticas agrícolas correctas, los residuos quedan en el suelo y el agua e ingresan en las cadenas tróficas.¹¹ Por otro lado, los plaguicidas que han sido utilizados para el control de parásitos del ganado se descargan en las zonas ganaderas como residuos líquidos con altas concentraciones de insecticidas, principalmente organofosforados.

En el caso del sector salud, el uso del DDT en México y en el mundo ha controlado o erradicado la enfermedad de Chagas, la peste bubónica, el dengue y la tripanosomiasis, entre otras. Sin embargo, la persistencia ambiental de su molécula, su capacidad de bioacumulación y la resistencia desarrollada por los organismos, obligaron a reemplazarlos por otros compuestos. Hoy en día, los POF son los biocidas más conocidos y utilizados en el ámbito doméstico, agrícola y veterinario,¹² y miles de productos se comercializan casi en to-

dos los países.¹³ Los POF constituyen un grupo muy eficiente y económico;¹⁴ sin embargo, a pesar de su alta toxicidad son menos persistentes en el ambiente que los organoclorados.¹⁵

Desde el punto de vista de las prácticas de uso y manejo de los plaguicidas, existen patrones de gran complejidad y con una amplia variedad de formas e intensidades de exposición. Pero es la población del sector agrícola la que corre un mayor riesgo, principalmente en países en vías de desarrollo, ya que ahí se consume el mayor porcentaje de los plaguicidas producidos en el mundo.¹⁶

En muchos trabajos se han reportado intoxicaciones agudas con plaguicidas (IAP) en seres humanos en diferentes lugares del mundo. Se calculan entre quinientos mil y un millón de IAP anuales, y entre cinco mil y veinte mil defunciones por esa causa.¹⁷ En México se reportan aproximadamente seis mil campesinos intoxicados por año.¹⁸

¹¹ Nicolás Olea y Mariana Fernández, "Plaguicidas persistentes", *Memorias Congreso Implementación del Convenio de Contaminantes Orgánicos Persistentes*, Madrid, 2001, pp. 1-18.

¹² Darío Pose, Stella de Ben, Néstor Delfino y Mabel Burger, "Intoxicación aguda por organofosforados. Factores de riesgo", *Revista Médica del Uruguay*, núm. 1, vol. 16, 2000, pp. 5-13.

¹³ José Ramírez y Marina Lacasaña Navarro, "Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición", *Archivos de Prevención y Riesgos Laborales*, núm. 2, vol. 4, 2001, pp. 67-75.

¹⁴ Ana Juan García, Yolanda Picó y Guillermina Font, "Revisión de los métodos de determinación de residuos de plaguicidas organofosforados en alimentos", *Revista Toxicológica*, núm. 20, 2003, pp. 166-175.

¹⁵ María Antonia Pérez, Antonio Segura, Rosario García, Teresa Colinas, Mario Pérez, Antonio Vázquez y Hermilio Navarro, "Residuos de plaguicidas organofosforados en cabezuela de brócoli (*Brassica oleracea*) determinados por cromatografía de gases", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, núm. 2, vol. 25, 2009, pp. 103-110.

¹⁶ Anna Karim Hurtig, Miguel San Sebastián, Alejandro Soto, Angel Shingre, Diocles Zambrano y Walter Guerrero, "Pesticide use among farmers in the Amazon basin of Ecuador", *Archives of Environmental Health*, núm. 4, vol. 58, 2003, pp. 223-228.

¹⁷ Carmen Martínez Valenzuela y Sandra Gómez Arroyo, "Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, núm. 4, vol. 23, 2007, pp. 185-200.

¹⁸ *Informe de la situación del medio ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*, Semarnat, México DF, 2003, pp. 85-127.



Una exposición prolongada a dosis bajas de plaguicidas se ha relacionado con trastornos en el mediano y largo plazos, entre los que destaca el cáncer y las alteraciones reproductivas y del sistema nervioso.¹⁹ Pero la mayoría de los casos leves de intoxicación no son reportados porque las personas no acuden a los sistemas de salud.²⁰ La Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha señalado que el subregistro en América Latina es elevado: cincuenta casos no notificados por cada caso registrado.²¹

El uso indiscriminado de plaguicidas en todo el mundo ha producido efectos en la salud humana y en la vida silvestre,²² muchas veces de carácter irreversible.²³ En el sector ambiental, el uso generalizado de agroquímicos para controlar las plagas y proteger los cultivos ha sido asociado ampliamente con la contaminación de agua, suelo y alimentos; las altas concentraciones detectadas en muestras

ambientales son resultado de la aplicación continua de diversos compuestos químicos.²⁴

Por otro lado, los residuos líquidos y sólidos, así como los productos caducos, son almacenados o dispuestos a la intemperie de forma inadecuada, lo que ha propiciado la aparición de importantes cantidades de pasivos ambientales que, en la mayoría de los casos, no son reportados a la autoridad correspondiente.²⁵

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) estima que existen más de quinientas mil toneladas de plaguicidas obsoletos, acumulados principalmente en países en vías de desarrollo,²⁶ donde ya no son utilizables porque fueron prohibidos después de su importación a los países en los que hoy se almacenan. Esos plaguicidas son de mala calidad o simplemente han caducado, lo que conduce a malas condiciones de almacenamiento

¹⁹ Jinky Leilanie del Prado Lu, "Pesticide exposure, risk factors and health problems among cutflower farmers: a cross sectional study", *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, núm. 9, vol. 2, 2007, pp. 1-8.

²⁰ Marianela Corriols, "Indicadores agrosanitarios de la exposición laboral agrícola a plaguicidas en Nicaragua", *Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología, Intranet CATIE*, núm. 60, 2001, pp. 82-92.

²¹ Pedro Cortés Genchi, Ascencio Villegas Arrizón, Guadalupe Aguilar Madrid, María del Pilar Paz Román, Mireya Maruris Reducindo y Cuauhtémoc Arturo Juárez Pérez, "Síntomas ocasionados por plaguicidas en trabajadores agrícolas", *Revista Médica IMSS*, 2008, núm. 2, vol. 46, pp. 145-152, http://edumed.imss.gob.mx:8080/srv_med_bus/portaPdf.jsp?art_cve=A121.pdf, consultado en febrero de 2011.

²² María Celina Recena, Eloísa Caldas, Darío Pires y Elenir Rose Pontes, "Pesticides exposure in Culturama, Brazil. Knowledge, attitudes, and practices", *Environmental Research*, núm. 102, 2006, pp. 230-236.

²³ Wagner Soares, W. Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida y Sueli Moro, "Rural work and risk factors associated with pesticide use in Minas Gerais, Brazil", *Cadernos de Saúde Pública*, núm. 4, vol. 19, 2003, pp. 1117-1127.

²⁴ Carlos Muñoz Piña y Sara Ávila Fonseca, "Los efectos de un impuesto ambiental a los plaguicidas en México", *Gaceta Ecológica*, núm. 74, 2005, pp. 43-53.

²⁵ Pasivos ambientales son aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que suponen una obligación de remediación. En esta definición se incluye la contaminación producida por una emergencia que tenga efectos potenciales a largo plazo.

²⁶ Susmita Dasgupta, Craig Meisner y David Wheeler, "Stockpiles of obsolete pesticides and cleanup priorities: a methodology and application for Tunisia", *Journal of Environmental Management*, núm. 4, vol. 91, 2010, pp. 824-830.

(como tambores corroídos), fugas, filtraciones al suelo y cuerpos de agua, y derrames accidentales.²⁷ Esta situación ha colocado a muchos países y sus poblaciones en graves riesgos ambientales que amenazan la salud humana y los ecosistemas terrestres y acuáticos expuestos.²⁸

En México existen plaguicidas obsoletos tanto líquidos como sólidos. Se cuenta con 551 registros de plaguicidas que ya han caducado, los cuales están distribuidos en veintinueve de los treinta y tres estados del país, y suman un total de 26 725.02 litros, 147 274 kg y 500 m³ de suelos altamente contaminados. Además, hay veintiocho informes de sitios contaminados con plaguicidas en quince estados de la república mexicana.²⁹ Adicionalmente, en el caso de los envases vacíos, algunos datos indican que el total de ellos puede ser de siete mil toneladas anuales en México, aproximadamente,³⁰ la mayoría de las cuales queda dispersa a cielo abierto, se quema o se deposita en los cauces de agua cercanos.

El suelo es lo más afectado, ya que recibe a los plaguicidas por diferentes vías, como aplicaciones directas, derrames accidentales e intencionales, disposición final, entre otros. En el suelo, los pla-

guicidas pueden experimentar diferentes procesos, según su naturaleza físico-química y las características del suelo mismo. Por ello, es muy importante conocer la interacción que existe entre los microorganismos, el plaguicida y el suelo, a través de la investigación científica que produzca los conocimientos necesarios para desarrollar tecnologías viables, de bajo costo y amigables con el ambiente, que puedan solucionar o mitigar los impactos ambientales ocasionados por la disposición de residuos o derrames accidentales de plaguicidas.

Perspectivas

Debido a los problemas propiciados por el uso extensivo de los plaguicidas, ha surgido la necesidad de desarrollar estrategias tecnológicas que permitan enfrentar los escenarios presentados. Como antes se mencionó, se pueden encontrar residuos de plaguicidas almacenados o en sitios contaminados en el agua y el suelo, para lo cual existen tecnologías de tratamiento de los residuos o bien de remediación de esos sitios. Dichas tecnologías deben garantizar la eliminación de los plaguicidas de una manera segura, eficiente y viable económicamente.

²⁷ Binod Shah y Bhupendra Devkota, "Obsolete pesticides: their environmental and human health hazards", *The Journal of Agriculture and Environment*, vol. 10, 2009, pp. 51-56.

²⁸ Kåre Helge Karstensen, Nguyen Khac Kinh, Le Bich Thang, Pham Hung Viet, Nguyen Dinh Tuan, Doan Thi Toi, Nguyen Hoang Hung, Tao Man Quan, Luong Duy Hanh y Doan Huu Thang, "Environmentally sound destruction of obsolete pesticides in developing countries using cement kilns", *Environmental Science & Policy*, núm. 6, vol. 9, 2006, pp. 577-586.

²⁹ Francisco Giner de los Ríos Díez Canedo, *Estudio: Precisión del inventario de plaguicidas obsoletos y sitios contaminados con estos*, tercera entrega, DONACIÓN TF-053710. Actividades de habilitación para ayudar a México a cumplir con el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, junio de 2007, http://siscop.ine.gob.mx/descargas/gt/informe_final/informe_final_plaguicidas.pdf, consultado en febrero de 2011.

³⁰ Lilia Albert, "Panorama de...", *op. cit.*, p. 3.



Existen métodos físico-químicos recomendados para la eliminación de residuos de plaguicidas, incluidos aquellos que han caducado, los cuales incluyen la incineración a altas temperaturas en hornos especiales o la hidrólisis alcalina. No obstante, este tipo de tratamientos produce más contaminación ambiental,³¹ además de que no es viable en los países en desarrollo debido a los costos económicos y a la infraestructura requerida.³²

De manera paralela, se han desarrollado sistemas biológicos para degradar residuos y dar tratamiento a sitios contaminados con plaguicidas.³³ Su fundamento teórico está respaldado en el hecho de que en la naturaleza existen bacterias y organismos eucarióticos que han desarrollado la capacidad de crecer en presencia de plaguicidas. Esta situación incrementa los procesos de mediación microbiana, como mineralización, fijación de nitrógeno, amonificación y almacenamiento de carbono, lo que contribuye a mantener el equilibrio general dinámico de los ecosistemas.³⁴ Con base en estos procesos, los microorganismos aislados con capacidad para degradar compuestos xenobióticos tienen poten-

cial para utilizarse en la biodegradación de otros compuestos para los que no se conozca ningún sistema microbiano que lo haga.³⁵

Los microorganismos son los sistemas biológicos más atractivos para los procesos de biodegradación y remediación, ya que producen diversos tipos de enzimas como consecuencia de su actividad metabólica o en respuesta a las condiciones de estrés ambiental. Los hongos y bacterias se consideran como los microorganismos productores de enzimas extracelulares por excelencia, los cuales excretan ligninasas, lacasas, peroxidasas, polifenoloxidasas y esterases que degradan compuestos persistentes en el ambiente. Es por ello que los métodos biológicos son potencialmente más eficientes y pueden llegar a completar la mineralización de los contaminantes, a diferencia de los métodos de tratamiento químicos y físicos.

Sin embargo, el éxito de los métodos biológicos depende de la eficacia de los microorganismos y de la estabilidad de sus enzimas degradativas en los ambientes contaminados.³⁶ El primer paso para su utilización en la biorremediación es la identi-

³¹ Laura Ortiz Hernández, *Biodegradación de plaguicidas organofosforados por nuevas bacterias aisladas del suelo*, tesis de Doctorado en Biotecnología, UAEM, Cuernavaca, 2002.

³² Kåre Helge Karstensen *et al.*, "Environmentally...", *loc. cit.*

³³ Thomas Moens, Mario Araya, Rony Swennen y Dirk de Waele, "Enhanced biodegradation of nematicides alter repetitive applications and its effects on root and yield parameters in comercial banana plantations", *Biology and Fertility of Soils*, núm. 6, vol. 39, 2004, pp. 407-414.

³⁴ Martina S. Girvan, Juliet Bullimore, Andrew S. Ball, Jules N. Pretty, y A. Mark Osborn, "Responses of active bacterial and fungal communities in soils under winter wheat to different fertilizer and pesticide regimens", *Applied and Environmental Microbiology*, núm. 5, vol. 70, 2004, pp. 2692-2701.

³⁵ Brajesh K. Singh y Allan Walker, "Microbial degradation of organophosphorus compounds", *FEMS Microbiology Reviews*, núm. 3, vol. 30, 2006, pp. 428-471.

³⁶ Laura Ortiz Hernández, Michelle Monterrosas Brisson, Gustavo Yáñez Ocampo y Enrique Sánchez Salinas, "Biodegradation of methyl-parathion by bacteria isolated of agricultural soil", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, núm. 3, vol. 17, 2001, pp. 147-155.

ficación de cultivos individuales o consorcios microbianos responsables de las transformaciones químicas (oxidación, reducción e hidrólisis) que ocurren en los plaguicidas,³⁷ que incluye además la caracterización bioquímica de las enzimas involucradas en el proceso. La biotransformación microbiana de una molécula puede dar origen a una estructura química menos peligrosa o más accesible al ataque enzimático y, en el mejor de los casos, a su mineralización.

Opciones seguras

El uso de plaguicidas es importante por los beneficios que se pueden obtener de ellos, especialmente relacionados con la necesidad de satisfacer la demanda de alimentos para los más de seis mil quinientos millones de habitantes del planeta. No obstante, es necesario establecer un punto de equilibrio entre los beneficios y los riesgos asociados con el uso de los plaguicidas, de manera que se sustenten las condiciones más idóneas posibles para promover la salud pública y la protección del ambiente. De manera específica, resulta necesario promover opciones más seguras que supongan tan-

to el uso racional de productos químicos, como su reemplazo, y proponer el cambio del paradigma de desarrollo que han creado estos problemas.

Existen directrices internacionales en las que México participa, como el Convenio de Rotterdam, aplicable al manejo de ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos. Si bien es cierto que este código de la FAO es un instrumento normativo de adopción voluntaria para la distribución, manipulación y uso efectivo de los plaguicidas, constituye un conjunto de principios para garantizar su manejo adecuado.³⁸

La dependencia hacia los plaguicidas es el resultado de una coevolución de factores biológicos y sociales, la cual se mantiene hoy en día debido a las demandas del mercado de alimentos, la seguridad productiva que los agricultores encuentran en el uso de plaguicidas y una gran industria de agroquímicos.³⁹ Esta situación plantea la reducción del uso de plaguicidas como un objetivo socialmente complejo y como un gran desafío político. Reducir el uso de los plaguicidas podría disminuir significativamente los impactos ambientales y de salud pública que dicha actividad ha tenido.⁴⁰

³⁷ J. Grimsley, V. Rastogi y J. Wild, "Biological detoxification of organophosphorus neurotoxins", en S. K. Sikdar y R. L. Irvine (eds.), *Biorremediation: Principle and Practice. Biodegradation Technology Developments*, Technomic Pub., Washington DC, 1998, pp. 557-613.

³⁸ Cyndia Azucena González Arias, María de Lourdes Robledo Marengo, Irma Martha Medina Díaz, Jesús Bernardino Velázquez Fernández, Manuel Iván Girón Pérez, Betzabet Quintanilla Vega, Patricia Ostrosky Wegman, Norma Elena Pérez Herrera y Aurora Elizabeth Rojas García, "Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, núm. 3, vol. 26, 2010, pp. 221-228.

³⁹ Stephen Sherwood, Donald Cole y Myriam Paredes, "Reducción de riesgos asociados con los fungicidas: técnicamente fácil, socialmente complejo", en E. N. Fernández-Northcote (ed.), *Memorias del Taller Internacional Complementando la Resistencia al Tizón (Phytophthora infestans) en los Andes*, GILB-Centro Internacional de la Papa, Cochabamba, 2002, pp. 93-109.

⁴⁰ David Pimentel, "Silent spring revisited...", *loc. cit.*