

PANORAMA ACTUAL DE LOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES

CURRENT PANORAMA OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS

Aracely García Cuan¹, David Rosado Porto², María José Salas Lalinde²

RESUMEN

Un grupo de sustancias de carácter antropogénico conocido como Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), tiene impacto negativo sobre el medioambiente y la salud. Sus principales efectos en humanos son: cáncer de testículo, cáncer de mamas, y otros; oligospermia, problemas en el desarrollo y aprendizaje, y alteraciones hormonales.

En el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, que entró en vigor el 17 de mayo de 2001, se establecieron medidas para eliminar la producción y uso de tóxicos persistentes y bioacumulables en los organismos entre los cuales están: aldrin, clordano, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno y Bifenilos Policlorados (PCBs).

El presente artículo tiene como objetivo describir el panorama actual de los COPs, con énfasis en los problemas ambientales y de salud asociados a la exposición, además de las medidas que se desarrollan a nivel mundial y nacional para su control y eliminación.

Palabras clave: Compuestos orgánicos, Ambiente, Sustancias tóxicas.

ABSTRACT

A group of anthropogenic substances known as Persistent Organic Pollutants (POPs), has a negative impact on the environment and health. Its main effects in humans are: testicular cancer, breast cancer, and others; oligospermia, problems in learning and development, and hormonal alterations.

In the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, which entered into force on May 17, 2001, measures were established to eliminate the production and use of persistent bioaccumulative toxics in organisms among which are: aldrin, chlordane, dieldrin, endrin, heptachlor, hexachlorobenzene, mirex, toxaphene, and polychlorinated biphenyls (PCBs).

This article aims to describe the current situation of POPs, with an emphasis on the environmental and health problems associated with exposure, as well as the measures that have been developed world wide and also at a national level for the control and elimination of POP.

Keywords: Organic compounds, Environment, Toxic substances.

Recibido: Abril 5 de 2012

Aceptado: Junio 5 de 2012

1 Bacterióloga, M.Sc. Centro de Investigaciones, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Libre Seccional Barranquilla. agarcia@unilibrebaq.edu.co

2 Microbiólogos, Centro de Investigaciones, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Libre Seccional Barranquilla.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas han conllevado a la generación de un grupo de sustancias cuyos efectos tienen un impacto negativo directo sobre el medioambiente y la salud de los seres humanos y demás especies del planeta Tierra. Los efectos de estas sustancias van desde alteraciones en el sistema endocrino, hasta la generación de teratomas y cánceres. Dichos compuestos presentan propiedades que hacen particularmente difícil su tratamiento por diferentes mecanismos, ya sean químicos, físicos o microbiológicos, por ser resistentes a la degradación; además son solubles en grasas y por consiguiente se acumulan en los tejidos de los seres vivos; y pueden viajar grandes distancias, características conferidas por su estructura molecular (1, 2).

En un esfuerzo de tratar esta problemática se ha firmado el Convenio de Estocolmo, mediante el cual se busca la eliminación de estos compuestos, detener su producción y comercio por parte de las naciones participantes, debido a la globalidad de la situación. La “docena sucia”, como se denomina a los 12 Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) que se pretenden eliminar en primera instancia, según lo acordado en el Convenio de Estocolmo, entre los cuales se incluyen a los bifenilos policlorados (PCBs), Aldrín, dieldrín, endrín, mirex, toxafeno o canfecloro, clordano, heptacloro, DDT, hexaclorobenceno (HCB), dioxinas y furanos (3).

Colombia también ha entrado en sintonía, tomando medidas y realizando acciones para controlar y reducir la cantidad de estas sustancias en el país, con el fin de cumplir con lo firmado en el Convenio de Estocolmo. Sin embargo, la “docena sucia” es solo la punta del *iceberg* del problema. Existen muchos productos de elevada persistencia, toxicidad

y/o bioacumulación dispersos por todo el planeta que, además de los “doce”, pueden considerarse COPs como, por ejemplo, los ftalatos, compuestos organometálicos y pentaclorofenol (utilizado para conservar la madera), entre otros.

EFECTO DE LOS COPs SOBRE EL MEDIOAMBIENTE

Muchos de los efectos causados por los COPs en el medioambiente se conocen desde hace más de medio siglo y, particularmente, con la publicación de la *Primavera silenciosa* de Carson (4) a principios de la década de los 60, que permitió que el conocimiento de estos riesgos alcanzara el dominio público. En dicho libro se centró la alarma sobre la familia de plaguicidas clorados (DDT, aldrín, dieldrín, endrín, etc.).

Algunas de las conclusiones de este trabajo que alertaron a la comunidad científica sobre el enfoque especial que requería esta nueva familia de contaminantes fueron: no resultaban tan eficaces para eliminar definitivamente las plagas; las pruebas del momento sobre animales de laboratorio no eran representativas de los daños reales en el ecosistema, algunas especies que no morían por envenenamiento directo o a través del agua o los alimentos, lo hacían por carencia de alimento, demostrando el papel indispensable de cada especie en la cadena trófica, así como de su función en un determinado ecosistema (incluyendo, por ejemplo, agentes de degradación de materia orgánica como los hongos, las bacterias o los gusanos de tierra); otros métodos de control biológico o tratamiento específico del problema demostraban ser más eficaces y más rentables económicamente a medio y largo plazo (4).

Desde la publicación de ese libro, se han elaborado

múltiples estudios que vienen a confirmar e incluso ampliar la dimensión de los efectos que los COPs causan en la naturaleza, así como la lista de compuestos responsables por dichos daños. Algunos de estos efectos incluyen: provocar la esterilidad, causar problemas para la reproducción, debilitamiento del sistema inmunológico y deformaciones de los fetos, entre otros. Estos efectos se han manifestado más drásticamente en las especies situadas en lo alto de las cadenas tróficas, por el efecto de bioacumulación, como por ejemplo en diversos mamíferos marinos, como las focas o delfines. También entre otras familias se han detectado descensos en la población y problemas reproductivos como es el caso de algunas aves rapaces y de ciertas especies de aves, peces marinos y anfibios; como lo demuestra un estudio llevado a cabo en la salamandra de cueva (*Proteus anguinus anguinus*), el cual reveló que las concentraciones en el anfibio y en los sedimentos del río aún permanecen altas luego de 30 años del cese de los vertimientos de estos contaminantes, hallándose concentraciones altas de PCB en los tejidos de los especímenes analizados, encontrándose que la distribución del contaminante en los tejidos es similar a otros vertebrados acuáticos, acumulándose en tejidos con una mayor proporción de lípidos (5).

Sin embargo, los efectos más alarmantes se han registrado en diferentes animales que pueblan el Ártico como consecuencia de la capacidad de los COPs de transportarse largas distancias y persistir en el medio. Así, por ejemplo, se ha registrado una alta mortandad en oseznos y la malformación de genitales en osos polares. Por otro lado se han cuantificado niveles de COPs en otro tipo de especies, que incluyen el zorro ártico y algunas marsopas, que se asocian a efectos en la capacidad reproductiva y en el sistema inmunológico, daños en el sistema nervioso y alteraciones en el comportamiento y/o hábito (6).

Otros efectos directos asociados al uso indiscriminado de algunos plaguicidas se refieren a la pérdida de numerosas especies de insectos que, no solo no dañan la producción agrícola, sino que desempeñan una función beneficiosa en el ecosistema. Así, por ejemplo, se ven amenazadas muchas especies como las abejas que polinizan una tercera parte de toda la comida que se consume junto con otras especies vegetales que integran los ecosistemas, los escarabajos femeninos que pueden ingerir varios cientos de pequeños insectos al día (4.000 a lo largo de su vida) que constituyen una importante herramienta de control biológico, o pequeñas avispas que incuban sus huevos dentro de una especie de gusano que daña algunos tipos de cultivos (7).

De igual forma diversas investigaciones recientes han seguido informando de diferentes impactos en la vida salvaje de estos compuestos. Un trabajo realizado sobre la densidad mineral ósea de la nutria sueca y la concentración de PCB y DDE, el cual halló una relación positiva entre elevadas concentraciones de PCB en músculo y variables alteradas en hueso cortical, indicando que las nutrias han sido afectadas por los PCB (8). También se han observado alteraciones en animales debido a la exposición COPs y otros compuestos contaminantes no incluidos en el listado inicial dado por las Naciones Unidas; como alteraciones evidenciadas en el pez *Cyprinus carpio* por la exposición combinada y única a PCBs y TBT (cloruro de tributil estaño), conllevando a cambios en la velocidad del nado, disminución en la profundidad de nado, cambio de las fases de actividad, afectaciones en el crecimiento corporal y alteraciones de la actividad de la enzima GST, observándose un efecto sinérgico sobre los peces cuando fueron expuestos a los contaminantes en conjunto (9).

EFFECTO DE LOS COPs SOBRE LA SALUD

De forma general, los principales efectos que se asocian a los COPs en seres humanos, son diferentes tipos de cánceres (testículo, mamas, etc.), descenso en el número de espermatozoides en el espermato, problemas en el desarrollo y aprendizaje de niños y alteraciones en el sistema hormonal. Una de las principales causas de alarma frente a muchos de estos efectos es que a pesar de manifestarse durante la vida adulta en muchas ocasiones son causa de una exposición prenatal a niveles muy bajos que son traspasados por la madre a través de la placenta. Muchos de estos efectos se producen porque los COPs en cuestión actúan como disruptores endocrinos, alterando el sistema hormonal al actuar como las hormonas naturales (por ejemplo, sustituyéndolas o interfiriendo con su función) (10). Un estudio desarrollado en una población de personas evidenció que la expresión de los genes CYP19 y ESR2, se encuentra asociada a la exposición de congéneres de PCB similares a dioxinas, potencialmente anti-estrogénicos e inmunotóxicos, los cuales al contrario de ejercer un efecto anti-estrogénico, los resultados sugieren que estos congéneres regulan positivamente la síntesis de estrógenos, actuando a su vez como disruptores endocrinos (11). De forma similar en otros estudios la exposición a PCB se ha visto asociada a la alteración de la expresión de diferentes genes implicados en diversos procesos celulares, como la señalización celular, la cual se ha visto afectada por la alteración de moléculas como BCL2, ITGB1, las citoquinas IL1F7 y IL23A entre otros muchos genes claves en diferentes funciones celulares (12).

En la actualidad se han identificado al menos 51 compuestos químicos sintéticos que trastornan el sistema endocrino, y se considera que la presencia

de cualquier concentración de la sustancia durante las fases críticas de desarrollo del feto puede resultar en daños para el individuo, tal es el caso de los PCBs.

Dada la particularidad de que los COPs son capaces de producir efectos a niveles muy bajos, la pregunta se centra más bien en torno a qué efectos ya se están produciendo o se producirán en un futuro como consecuencia de la exposición inevitable de los individuos a estos compuestos a través del aire, el agua o los alimentos. Los resultados de estudios sugieren que la exposición a dieldrín se encuentra asociado al desarrollo de la patología neurodegenerativa conocida como enfermedad de Parkinson; hallándose que el dieldrín induce la muerte celular por apoptosis mediante la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), alteración de los niveles de dopamina, disfunción mitocondrial, agregación de proteínas y por medio de la activación de una serie de moléculas señalizadores de la muerte celular, las cuales incluyen la liberación del citocromo c, activación de la caspasa-9 y caspasa-3, la activación proteolítica de PKC δ y PARP y la activación de las JNK MAP kinasas, entre otros mecanismos (13).

Por otro lado, la acumulación de COPs en la sangre y tejidos grasos tenderá a ser mayor en personas cuya exposición sea más directa, mayor o prolongada en el tiempo como puede resultar en trabajadoras y trabajadores de industrias o actividades industriales que producen, manipulan o gestionan este tipo de productos (14). Un estudio sueco concluyó que los trabajadores/as de una planta de desmantelamiento de equipos electrónicos tenían hasta 70 veces más de los niveles considerados "normales" de PBDE (difeniléter polibromado) en la sangre (15).

EL CONVENIO DE ESTOCOLMO

El Convenio de Estocolmo sobre COPs entró en vigor el 17 de mayo de 2001. En él se establecen medidas para la eliminación de la producción y uso de sustancias químicas tóxicas, persistentes y bioacumulables en los organismos, que causan diversos efectos negativos en la salud humana y en el ambiente.

La entrada en vigor del Convenio de Estocolmo representa un avance en la lucha global contra la contaminación del planeta y una serie de retos y oportunidades para las organizaciones ciudadanas que promueven la protección de la salud y el medioambiente y la búsqueda de alternativas al uso de plaguicidas químicos.

Klaus Toepfer, secretario ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA), en febrero de 2004 dijo: “De todos los contaminantes que son emitidos en el medioambiente todos los años a causa de las actividades humanas, los COPs son los más peligrosos. Durante décadas estos productos químicos altamente tóxicos han matado y lesionado a personas y a la vida silvestre, induciendo el cáncer y dañando los sistemas nerviosos, reproductivos e inmunológicos. También han causado innumerables deformaciones congénitas”. Toepfer agregó que “Al comprometer a los gobiernos a eliminar la producción y emisión en el ambiente de estos productos químicos, el Convenio de Estocolmo aportará un gran beneficio a la salud humana y al medioambiente. También fortalecerá el alcance y la efectividad de la ley ambiental internacional” (16).

En dicho convenio se establece inicialmente la eliminación de la producción y el uso de las siguientes sustancias químicas: aldrín, clordano, dieldrina, en-

drina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno y PCBs.

SITUACIÓN DE LOS COPs EN COLOMBIA

Colombia no se encuentra exenta de esta problemática y para el año 2001 entró en vigor el Convenio de Estocolmo firmado por el gobierno nacional y ratificado mediante la ley 1196 del 5 de julio de 2008. Entre los compromisos adquiridos por los países que hacen convenio en nuestro país se deben establecer medidas de control a la producción, importación, exportación, uso y eliminación de estas sustancias; cada acción se hará dentro de las posibilidades de los países teniendo en cuenta sus capacidades nacionales.

Por ello, en los últimos años, se han desarrollado estudios y actividades que han permitido conocer y analizar la situación nacional de los COPs en una primera fase, determinándose: existencia de plaguicidas obsoletos en diferentes partes del país y zonas contaminadas por el enterramiento de estos; carencia de instalaciones apropiadas para eliminación de COPs y dificultades para acceder al uso de tecnologías menos contaminantes. Conjuntamente con la asesoría del proyecto CERI realizado con la cooperación técnica del gobierno de Canadá, se llevó a cabo el “Primer inventario nacional de PCBs”, oportunidad en la cual se identificó que la principal problemática del país en cuanto a la contaminación ambiental y de los suelos por PCBs, se presentaba por un almacenamiento inadecuado de equipos eléctricos y aceites que contienen PCBs como consecuencia de la falta de información de los riesgos asociados a esta práctica. En la mayoría de los casos, el almacenamiento se realiza a la intemperie, sin sistemas de contención, sin elementos para la atención de emergencias ni señalización o identificación.

Los adelantos logrados hasta la fecha por el estado colombiano para el cumplimiento del Convenio de Estocolmo son los siguientes:

- Inventario nacional de dioxinas y furanos (2004) (17).
- Evaluación de la capacidad institucional e infraestructura disponible y evaluación del marco regulativo para la gestión de COPs en Colombia (2005).
- Inventario preliminar de existencias de PCBs en el país (2006) (18).
- Inventario nacional de plaguicidas COPs (2006) (19).
- Diseño de la estrategia de divulgación y sensibilización de la comunidad sobre COPs y sus efectos sobre la salud y el ambiente (2006).
- Evaluación económica de los impactos sobre la salud (pública y ocupacional) asociados a los COPs (2006).
- Evaluación de las implicaciones sociales y económicas del uso y reducción de los COPs en Colombia (2006).
- Guía técnica de identificación, evaluación y manejo de sitios contaminados con COPs.

Actualmente el país se encuentra en el proceso de adopción del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo-PNA, el cual tiene como propósito la adopción de las medidas tendientes a reducir o eliminar las liberaciones de COPs a fin de proteger la salud humana y el medioambiente. El Plan Nacional de Aplicación se divide en cuatro planes de acción: plan para Plaguicidas, para PCBs, para Dioxinas y Furanos y plan de Acciones Transversales.

CONCLUSIÓN

Como resultado de una acelerada producción, uso y liberación de compuestos químicos orgánicos

sintéticos, durante los últimos 60 años, la humanidad y la vida silvestre están ahora luchando contra múltiples contaminantes ambientales. Medidas preventivas y correctivas son requeridas a todos los niveles, desde el individual hasta el global.

Desde hace dos décadas una serie de convenios internacionales han sido negociados para tratar los problemas ambientales del planeta. El Convenio de Estocolmo busca resolver un problema que es complicado, el cual abarca la política y la economía al igual que los recursos científicos y tecnológicos, y reconoce que la meta de erradicación total de los COPs solo puede ser lograda mediante la acción conjunta de todos los países del mundo.

Aunque estos químicos, en su mayoría fueron introducidos e inicialmente utilizados por los países industrializados, las consecuencias finales se han de sentir en todo el mundo y pueden afectar especialmente a las comunidades más pobres.

La convención hace un llamado a la cooperación internacional para ayudar a los países en desarrollo a lidiar con la problemática de los COPs, lo cual es parte fundamental si se busca el éxito de este tratado. Los tratados ambientales solo pueden operar bajo la base de la solidaridad internacional. Debido a que problemáticas del tipo de los compuestos orgánicos persistentes no respetan fronteras y afectan cualquier parte del planeta, tratar con ellos significa que todo el mundo debe cuidar de los demás.

BIBLIOGRAFÍA

1. ZIV A. Biodegradación de compuestos orgánicos persistentes (COP): I. El caso de los Bifenilos Policlorados (PCB). Acta biol. 2009; 14:55-86.

2. Adeola F. Boon or Bane? The Environmental and Health Impacts of Persistent Organic Pollutants (POPs). *Human Ecology Review*. 2004; 11:1-9.
3. Secretariat of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. *Ridding the world of POPs: a guide to the Stockholm Convention on persistent organic pollutants* libro en Internet. Geneva; 2005 [citado 5 febrero 2012]. Disponible en: http://www.pops.int/documents/guidance/beg_guide.pdf
4. Carson R. *Primavera silenciosa*. Barcelona: Editorial Crítica S. L.; 2005.
5. Pezdirc M, Heath E. PCB accumulation and tissue distribution in cave salamander (*Proteus anguinus anguinus*, Amphibia, Urodela) in the polluted karstic hinterland of the Krupa River, Slovenia. *Chemosphere*. 2011; 84:987-993.
6. Geir W, Even H. Report from the AMAP Conference and Workshop Impacts of POPs and Mercury on Arctic Environments and Humans. *Norsk Polarinstitut*. 2003; 12:1-9.
7. Liess M, Brown C. Effects of pesticides in the field. EU & SETAC EUROPE Workshop., France: Le Croisic; 2003.
8. Roos A, Rigét F, Orberg J. Bone mineral density in Swedish otters (*Lutra lutra*) in relation to PCB and DDE concentrations. *Ecotoxicology And Environmental Safety*. 2010; 73:1063-107.
9. Schmidt K, Georg BO. Staaks, Stephan Pflugmacher. Impact of PCB mixture (Aroclor 1254) and TBT and a mixture of both on swimming behavior, body growth and enzymatic biotransformation activities (GST) of young carp (*Cyprinus carpio*). *Aquatic Toxicology*. 2005; 71:49-59.
10. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Banco Mundial; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Evaluación de los impactos a la salud (pública y ocupacional) asociados a los contaminantes orgánicos persistentes – COP. Colombia: Sanmartín Obregón & Cía.; 2007.
11. Warner J, Osuch J, Karmaus W. Common classification schemes for PCB congeners and the gene expression of CYP17, CYP19, ESR1 and ESR2. *Science of the Total Environment*. 2012; 414:81-89.
12. Dutta S, Mitra P, Ghosh S. Differential gene expression and a functional analysis of PCB-exposed children: Understanding disease and disorder development. *Environment International*. 2012; 40:143-154.
13. Kanthasamy A, Kitazawa M. Dieldrin-Induced Neurotoxicity: Relevance to Parkinson's Disease Pathogenesis. *NeuroToxicology*. 2005; 26:701-719.
14. Britta A, Athanassiadis I, Grandjean P, Weihe P, Bergman A. A retrospective time trend study of PBDEs and PCBs in human milk from the Faroe Islands. *Organohalogen Compounds*. 2004; 66:1-6.
15. Thuresson K. Occupational Exposure to Commercial Decabromodiphenyl Ether in Workers Manufacturing or Handling Flame-Retarded Rubber. *Environ. Sci. Technol*. 2005; 39:1980-1986.
16. Stockholm Convention [homepage on the Internet]. Châtelaine, Suiza: Stockholm Convention; c2008 [updated 2010 Aug 23; cited 2011 Aug 12]. Available from: <http://www.pops.int/documents/press/pr2-04SC.pdf>
17. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Banco Mundial; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Inventario nacional de fuentes y liberaciones de dioxinas y furanos en Colombia Línea Base 2002. Colombia: Sanmartín Obregón & Cía.; 2007.

18. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Banco Mundial; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Inventario preliminar de Compuestos Bifenilos Policlorados (PCB) existentes en Colombia. Colombia: Sanmartín Obregón & Cía.; 2007.
19. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Banco Mundial; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Consolidación del Inventario de Plaguicidas COP. Colombia: Sanmartín Obregón & Cía.; 2007.