

REGULACION E IMPLICACIONES DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS

Juan Manuel Adame-Rodríguez¹, G. Ramos-Alfano¹, Lidia Guadalupe Rivera-Morales¹ y Juan Antonio García-Salas²

Departamento de Microbiología e Inmuniología¹, Departamento de Zoología de Vertebrados², Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León (México)

E-mail: jadame@ccr.dsi.uanl.mx

Introducción

La contaminación es la introducción o el incremento anormal de sustancias que pueden ejercer un efecto dañino sobre los organismos en los ecosistemas, entre estas sustancias se encuentran compuestos orgánicos e inorgánicos existentes en la biosfera cuya concentración se altera por causas diversas, o productos sintéticos nuevos cuya estructura es diferente a los compuestos preexistentes en la naturaleza (1). Los contaminantes no sintéticos han estado presentes en la biosfera por mucho tiempo, por lo que existen microorganismos capaces de modificarlos o desintegrarlos químicamente (biodegradación) permitiendo que su efecto sea momentáneo y que exista la recuperación de los daños producidos. Por otra parte, los productos químicos sintetizados industrialmente son con frecuencia sustancias nuevas en la biosfera para los que no existen sistemas biológicos de modificación química, éstos



contaminantes se producen como consecuencia del desarrollo urbano e industrial, su naturaleza no ha implicado la creación de nuevas estructuras químicas no existentes en la biosfera, pero por su cantidad, concentración e incorporación a ecosistemas en los que no estaban presentes o se encontraban en menor cantidad, han generado graves problemas ambientales(2,3). Uno de los compuestos químicos provenientes de síntesis industrial son los *bifenilos policlorados* (BPC's), comúnmente llamados askareles o aroclors, se han utilizado desde los años treinta como líquidos aislantes y refrigerantes en transformadores y capacitores por sus cualidades químicas (4, 5).

Carcaterísticas de los BPC's

Debido a las propiedades dieléctricas, térmicas y lubricantes, se han empleado en diferentes sectores de la industria, algunas de las aplicaciones reportadas de acuerdo a su principal uso son: capacitores, refrigerantes, aceites en transformadores, plastificantes en resinas dieléctricas y en hules, papel copia sin carbón, fluidos hidráulicos, aceites lubricantes y de corte, líquidos para transferencia de calor, pigmentos para pinturas, selladores adhesivos, tintas de impresión, ceras para pisos y agentes desengrasantes entre otros (6).

En general, los BPC's son compuestos organoclorados que conforman una amplia gama de sustancias, desde líquidos aceitosos transparentes a amarillos hasta sólidos blancos, cristalinos y resinas duras. Tienen una elevada estabilidad química; no son hidrolizables; son resistentes al calor y a la oxidación características que le confieren una alta resistencia al envejecimiento. Las propiedades físicas, químicas y mecánicas se pueden modificar al mezclarlos con otros compuestos, asimismo, cuentan con un bajo grado de evaporación. El punto de inflamación es elevado por la presencia del cloro en sus moléculas; son insolubles en agua y solubles en compuestos orgánicos, poseen una baja presión de vapor y cuentan con una elevada constante dieléctrica (7,8)

La fórmula empírica de los BPC es $C_{12}H_{10}Cl_n$ con $n=1$ a 10, tienen una masa molecular relativa de 189 a 499 grs y una densidad de 1.2 a 1.6 grs/cm³. El punto de ebullición va desde los 320°C hasta 420°C, su presión de vapor oscila de 0.2 a 133×10^{-3} Pa. (9,10).

El grupo de los BPC consta de 209 congéneres diferentes y la mezcla de varios bifenilos con diferentes grados de cloración da como resultado un aroclor o askarel. El número y la posición de los átomos de cloro determinan las propiedades biológicas y el comportamiento ambiental de cada BPC, en base a lo anterior los BPC coplanares son considerados de alta toxicidad, agrupa a un 6% de los BPC conocidos (11,12). Los BPC están asociados con distintos tipos de cáncer, alteraciones inmunológicas dermatológicas y de otros tipos (13,14,15).

BPC's como factor de contaminación y riesgo en salud

La producción industrial de los bifenilos policlorados inició en los Estados Unidos, cuya industria llegó a sintetizar cerca de 630,000 toneladas antes de prohibir su producción. En la entonces Alemania Oriental se produjeron cerca de 300,000 toneladas de BPC's, algunos otros países fabricantes en el mundo fueron Japón, Francia, Reino Unido, Checoslovaquia, Italia y España, por lo tanto en el período de 1929 a 1977 se produjeron en todo el mundo alrededor de un millón 200 mil toneladas (16).

Las ventajas del BPC's como contaminantes graves se percibió a mediados de los años setentas (s.XX), cuando se confirmó su presencia en áreas tan remotas como las zonas polares, asimismo, fueron detectados en la cadena trófica al encontrarse en tejidos grasos de peces y aves, en éstos últimos se confirma que la presencia del contaminante principalmente es debido al fenómeno de la biomagnificación (17,18).

Diversas investigaciones habían tratado de demostrar la relación entre BPC's y problemas en la salud, y no fue sino hasta los incidentes de Yuso, Japón y Binghamton, USA cuando los efectos se magnificaron a partir de la información recabada por la EPA (Environmental Protection Agency en USA) (19). A raíz de estos sucesos se realizó un estudio extensivo que confirmó por una parte la capacidad de los BPC's de acumularse y depositarse en tejido orgánicos causando daños serios e irreversibles en la salud y en el organismo; asimismo, se observó que al someterlos a sobrecalentamiento se producían sustancias altamente tóxicas como las dioxinas y los benzofuranos policlorados (20, 21).

El ingreso de los BPC's en los cuerpos de agua se produce a través de fuentes diversas y por deslavado de la atmósfera o arrastrados por las precipitaciones (22).

La vía de llegada de éste contaminante a la atmósfera (aire) es por evaporación que se ve favorecida con las altas temperaturas. Los aroclors, se condensan en partículas de aerosol dispersándose ampliamente.(23).

En el suelo, los BPC's se acumulan en la capa de humus, desde donde se movilizan con dificultad, una vez reabsorbidos pueden moverse a través de la fase de vapor. Se produce muy poca degradación y su persistencia aumenta en relación directamente proporcional con el grado de cloración. Es la vía de entrada directa a las plantas, donde los efectos se pueden observar como reducción de la velocidad de división celular y de la capacidad fijadora de CO₂, lo cual resulta en inhibir el crecimiento en general. (24)

Se sabe que aproximadamente el 25% de los BPC's asimilados por el ser humano ingresa al organismo por inhalación y el 75% restante a través de productos alimenticios, siendo los de origen animal la fuente principal; donde el pescado aporta entre el 4-5%.(25)

Estudios de Anderson y cols. (26) reconocen los posibles riesgos generados por la exposición a los BPC's y son:

- Afectan el sistema respiratorio
- Son absorbidos a través de la piel
- Daños en el sistema reproductivo de adultos
- Irritación de ojos hasta quemarlos
- Los vapores irritan la nariz y garganta causando tos y hasta dificultades respiratorias
- Salpullido en piel similar al acné (cloracné)
- Daños al sistema nervioso
- Daños hepáticos y deficiencias del sistema enzimático

En general, los efectos toxicológicos de los BPC's en el ser humano aún no se reconocen en toda su magnitud, un ejemplo en el *Chemikaliengesetz*, Ley de productos químicos de Alemania, son clasificados como de baja toxicidad aún cuando se ha demostrado su potencial cancerígeno y teratogénico en modelos animales. El riesgo de intoxicación por inhalación es bajo debido a la baja presión de vapor de estas sustancias. En cambio, el contacto con la piel y la ingestión pueden tener consecuencias graves, siendo los puntos principales el hígado, y el sistema enzimático como se mencionó anteriormente. Los síntomas comunes de la intoxicación crónica son: náuseas, vómito, pérdida de peso, edemas y dolores en el vientre bajo. Cuando el hígado sufre lesiones severas el paciente entra en coma y puede llegar a producirse la muerte. (27).

Normatividad de los BPC's

Debido a la demanda comercial de los BPC's y a su inadecuado control de eliminación se ha provocado la contaminación de la atmósfera, el agua, el suelo y en general el medio ambiente (28). Para este problema se establecieron recomendaciones por parte de los países industrializados como la Organización para Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Comunidad Económica Europea (CEE) con el propósito de reglamentar el uso de los bifenilos policlorados (29).

EL Convenio de Basilea es un tratado ambiental global que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y estipula obligaciones a las partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente su disposición. Fue adoptado el 22 de Marzo de 1989 y entró en vigor el 5 de Mayo de 1992. El Convenio reconoce que la forma más efectiva de proteger la salud humana y el ambiente de daños producidos por los desechos se basa en la máxima reducción de su generación en cantidad y/o en peligrosidad. Los principios básicos del convenio son:

- El tránsito transfronterizo de desechos peligrosos debe ser reducido al mínimo consistente con su manejo ambientalmente apropiado
- Los desechos peligrosos deben ser tratados y dispuestos lo más cerca posible de la fuente de su generación
- Los desechos peligrosos debe ser reducidos y minimizados en su fuente

Para lograr estos principios, la Convención pretende a través de su Secretaría controlar los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos, monitorear y prevenir el tráfico ilícito, proveer asistencia en el manejo ambientalmente adecuado de los desechos, promover la cooperación entre las partes y desarrollar guías técnicas para el manejo de los desechos peligrosos (30).

Dentro de la normatividad internacional en materia de BPC's, se ha acordado que cualquier fluido, aditamento o artículo que contenga 50 ppm o más de BPC's debe considerarse como residuo peligroso (RP) y disponerse de manera adecuada y segura (31).

Las normas oficiales mexicanas en materia ambiental, además de permitir a la autoridad establecer límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a diferentes medios, y condiciones para su verificación, desempeñan un papel fundamental en la generación de una atmósfera de certidumbre jurídica y una no menos importante función de promover el cambio tecnológico (32).

Es indispensable referirse a las NOM-052-ECOL-1993 cuando hablamos de RP ya que esta norma tiene por objetivo establecer las características de los RP, el listado de los mismos y los límites que hacen a un RP por su toxicidad al ambiente (33). Sin embargo, los BPC's a pesar de ser considerados dentro de la *Guía Norteamericana de Respuesta en caso de emergencia* como una sustancia de peligro bajo a moderado su potencial de daño es subestimado ya que tiene la propiedad de ser absorbido por piel (34). Por lo anterior, los BPC's han sido de los pocos RP que cuentan con una normatividad privilegiada en México, la NOM-133-SEMARNAT-2000, la cual establece las especificaciones para el uso, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, incineración, acondicionamiento y transporte de equipos, productos, materiales sólidos y fluidos que contienen o están contaminados con bifenilos policlorados. En dicha normatividad, se define a un RP-BPC como *todos aquellos residuos en cualquier estado físico que contengan BPC's en una concentración mayor de 50ppm o 100 ug/100 cm²* (35).

Las estrategias para resolver la problemática de los BPC's en México según Valle y Cruz (36) es:

- Elaborar un inventario nacional preciso de las existencias de BPC's concentrado, en operación y desecho.
- Prohibir el uso de cualquier equipo fabricado con BPC's e implantar un programa de reemplazo del equipo BPC's en operación.
- Controlar el manejo de equipo fabricado con BPC's durante el período de desincorporación y disposición final.
- Definir un programa calendarizado para disponer o eliminar todos los residuos existentes y los que se generan durante la desincorporación de equipos.
- Gestionar mecanismos eficientes para la disposición de residuos, considerando volúmenes programados.

Como resultado de los anterior, actualmente en México el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha establecido un método para la determinación y cuantificación de BPC's en aceites, además ya se encuentra en desarrollo de otras metodologías con la finalidad de proporcionar apoyo a industrias tanto públicas como privadas.

Manejo de los BPC's

El problema que conlleva el manejo de material contaminado por BPC's, ha provocado el desarrollo de una gran variedad de tecnologías para la eliminación o la reducción de concentraciones de dicho

material. Sin embargo, las empresas prestadoras de servicios deben cumplir con las disposiciones ambientales regidas por diferentes entes. En México, las empresas que prestan dicho servicio deben contar con la acreditación y autorización de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (37).

Cuando existe un riesgo potencial alto de exposición a los BPC's es recomendable aislar el equipo y optar por usar equipos nuevos con fluidos dieléctricos sustituidos o de diferente diseño, o bien, si la concentración del RP no es elevada, se pueden someter los equipos a procesos de retrorellenado o de detoxificación. Estos sistemas de tratamiento por lo general son móviles y adecuados para reclasificar el equipo en operación con un mínimo de interrupciones del servicio eléctrico (38).

La disposición final de los BPC's es uno de los aspectos más importantes, ya que implica contar con infraestructura tecnológica para la eliminación o descontaminación de BPC's. En general, los métodos de disposición final se pueden clasificar en procesos térmicos, procesos no térmicos y sitios de entierro. En México y de acuerdo a las leyes ambientales el confinamiento de los BPC's y sus residuos está prohibido (39).

Las tecnologías de eliminación relacionadas con los procesos térmicos se basan en la reacción de oxidación a través de una combustión controlada. Los más utilizados son los incineradores de inyección líquida y los de horno rotatorio. Estos métodos de destrucción deben cumplir con ciertos requerimientos técnicos para limitar la emisión al medio ambiente de BPC's y de sus derivados. En lo que se refiere a procesos no térmicos, se pueden clasificar en físicos, químicos y biológicos con una gran variedad de tecnologías aplicables de acuerdo a la concentración o el tipo de material a tratar; la finalidad de esto es destruir o remover eficientemente los BPC's sin la generación de subproductos peligrosos, así como evitar cualquier reacción indeseable con los materiales (40).

El proceso más utilizado para el tratamiento de los BPC's o material contaminado por él es la deshalogenación química, en éste proceso el objetivo es retirar los halógenos de un componente químico volviéndolo menos peligroso, puede ser aplicada *in situ*. Hay dos variantes del método y son la deshalogenación química con glicolatos y el proceso de descomposición catalizado por bases (41,42).

Conclusiones

Sin duda las sustancias químicas sintéticas empleadas en la industria, y en particular los bifenilos policlorados (BPC's) son con asiduidad componentes desconocidos en el ambiente, para los que no se hallan medios biológicos de transformación química, éstos contaminantes se originan como resultado del avance industrial. Sus implicaciones son bastante perjudiciales para el ambiente y generan un alto riesgo en la salud del hombre. Por lo cual su control y manejo es sin lugar a dudas una de las pautas, que debe tipificarse en el contexto de la regulación legal de productos químicos en todos los países del orbe.

Resumen

Los bifenilos policlorados (BPC's) se han utilizado desde los años treinta como líquidos aislantes y refrigerantes en transformadores y capacitores por sus cualidades químicas. En general, los BPC's son compuestos organoclorados que conforman una amplia gama de sustancias, desde líquidos aceitosos, hasta sólidos blanco cristalinos y resinas duras. Se reconocen posibles riesgos generados por la exposición a los BPC's y que atañen a daños al sistema nervioso, lesiones hepáticas, deficiencias del sistema enzimático y perjuicios en el sistema reproductivo de adultos. Se sabe que aproximadamente el 25% de los BPC's asimilados por el ser humano ingresa al organismo por inhalación y el 75% restante a través de productos alimenticios, siendo los de origen animal la fuente principal; donde el pescado aporta entre el 4-5%. En general, los efectos toxicológicos de los BPC's en el ser humano aún no se reconocen en toda su magnitud

Palabras clave. Bifenilos policlorados, daños, salud ambiental, control

Abstract

Since the thirties, polychloro bifenilos (BPC's) have been used as liquid insulants and cooling solutions in transformers and capacitors because of their chemical qualities. In general, BPC are organochloro compounds that form a large type of sustancias such as oily liquids, crystalline white solids, and crude resins. It is known about possible risks produced by BPC explosion and it can cause damages to the nervous system, hepatic lesions, deficiency of enzymatic system and harms in adults' reproductive system. It is also known that about 25% of BPC are absorbed by human beings through inhalation and the other 75% through food products; animal products are the main source and fish gives between 4 and 5 %. In general, toxicological effects of BPC in human beings have not been recognized yet.

Key words: polychloro bifenilos, damages, health environment, control

Referencias

1. Vazquez-Yanes, C 1982. Deterioro ambiental; sus causas y efectos. Primera edición. Ed. CECSA. pp. 45-49
2. Turk, A, J Turk y JT Wittes 1988 Ecología, contaminación del medio ambiente. Primera edición. Ed. Interamericana. pp. 57-134
3. McGraw, MG 1987 The PCB problem: separating fact from fiction. Electrical World (197) 13
4. LeCref, H and PM Dillion 1988 Surviving our national nightmare of PCB. Electrical System Design. pag.40.
5. Carpenter DO 1998 Polychlorinated biphenyls and human health. Int J Occupational and Environmental Health. (11) IV 291-303.
6. Erickson, MD 1997 Analytical chemistry of PCB's. 2nd Ed. CRC Press Inc, FL, USA pag. 667
7. *Idem.*
8. Baird, C 1998 Environmental chemistry, 2nd Ed., Chapter 2: Toxic Organic Chemicals. Ed. Freeman.
9. *Idem.*
10. Moore, JW and EA Moore 1985. Environmental Chemistry. 2nd Ed. Academic Press. NY, USA.
11. Erickson MD. *Op. cit.*
12. Shain, W, B Bush and R Seegul. 1991 Neurotoxicity of polychlorinated biphenyls: Structure activity relationship of individual congeners. Toxicol Appl Pharmacol 111: 33-42.
13. EPA 1996 PCB's Cancer dose-response assessment and application to environmental mixtures. EPA/600/P-96/001F. Washington, DC, USA

14. Swanson, GM, HO Rutcliffe and LJ Fischer 1995 Human exposure to polychlorinated biphenyls (PCBs): A crucial assessment of the evidence for adverse health effects. *Toxicol Pharmacol*: (21): 136-150
15. Goldey, ES, LS Kehn, C Lau, GL Rehnberg and KM Crofton 1995 Development exposure to polychlorinated biphenyls (Aroclor 1254) reduces circulating thyroid hormone concentrations and causes hearing deficits in rats. *Toxicology and Applied Pharmacology* (135) 77-88
16. Mastrantonio G. 2000 Compuestos organoclorados como contaminantes persistentes: el caso de las dioxinas y los bifenilos policlorados. *Revista mensual del Grupo Progeo SA, Regio, Italia*. Noviembre, Nota técnica No. 2. pp. 1-2
17. Swanson, GM, *et al*, *Op cit*.
18. Santamarta-Florez J. 2000. Por un futuro sin Contaminantes Orgánicos Persistentes. *Diario de Ecología Social* www.letra.org/ Editora María González. España.
19. Lanting, CI, S Patandin, V Fidler, N Weisglas-Kuperus, PJJ Sauer, ER Boersma and BCL Touwen 1988. Neurological condition in 42-months-old children in relation to pre and postnatal exposure to polychlorinated biphenyl and dioxins. *Early Human Development* (50) 283-92
20. Anderson, L.M., D Dixon, LE Beebe and HJ Issaq 1991. Long-term persistence of polychlorinated biphenyl congeners in blood and liver and elevation of liver aminopyrine demethylase activity after a single high dose of Aroclor 1254 to mice. *Environment Toxicology Chemistry*, 10:681-90
21. Dragnev, KH, LE Beebe, CR Jones, SD Fox, PE Thomas, RW Nims and RA Lubet 1994. Subchronic dietary exposure to Aroclor 1254 in rats: accumulation of PCBs in liver, blood, and adipose tissue and its relationship to induction of various hepatic drug-metabolizing enzymes. *Toxicology Applied Pharmacology*. Vol. 125 pp. 2245-48.
22. Díaz, AK, MV. Fernández, B Ludueña, V Maichtry, AL. Moret 2002 Efectos de los poluentes orgánicos persistentes sobre la reproducción. *Revista de la Sociedad Argentina de Endocrinología Ginecológica y Reproductiva*. Vol. IX-Número 2. pp. 30-41
23. *Idem*.
24. *Idem*.
25. *Idem*
26. Anderson L.M. *et al*, *Op. cit*.
27. Díaz, AK. *et al*, *Op. cit*.
28. Macdonald CR. And CD Metcalfe 1991. Concentration and distribution of PCB congeners in isolated Ontario Lakes contaminated by atmospheric deposition. *Can J Fish Aquat Sci* 48: 371-381.
29. Mastrantonio G *Op. cit*
30. United Nations. 1999. Basel Protocol on Liability and Compensation for Damage resulting from Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. Secretary General of the United Nations. Adopted at the Fifth Conference of Parties on 10 December 1999.

32. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (1988) Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988.

33. Norma Oficial Mexicana NOM-052-Ecol-1993. Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.(1993) Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993.

34. Ministerio de Transporte de Canadá, Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México 1996 Libro Guía de Respuesta de Emergencia Norteamericana GRENA96. No. de Guía 171: Sustancias (Peligro bajo a moderado).

35. Norma Oficial Mexicana NOM-133-ECOL-2000, Protección ambiental-Bifenilos policlorados (BPC's)-Especificaciones de manejo.(2001) Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de Diciembre de 2001.

36. Valle E. y MG Cruz 1997 Problemática de los bifenilos policlorados (BPC) en México. Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Septiembre-Octubre. México.

37. Norma Oficial Mexicana NOM-052-Ecol-1993, *Op. cit.*

38. Valle E. y MG Cruz, *Op. Cit*

39. Valle E. y MG Cruz *Op. Cit.*

40. US Department of Energy. 1993. Guidance on the management of polychlorinated biphenyls (PCB's) prepared by US Department of Energy. Office of Environmental Guidance RCRA/CERCLA Division, Washington D.C. report number EH-231

41. PCB mysteries at the EPA. From the Journal Sentinel. *Last Updated: Sept. 9, 2003.* September 10, 2003 editions of the Milwaukee Journal Sentinel

42. Electric Power Research Institute 1985. PCB disposal manual, prepared by SCS Engineers (for diminution of toxicity). Inc. Long Beach California report EPRI CS-4098, Electric Power Research Institute.