



# Presencia de los retardantes de flama bromados en México: una revisión

Olivares-Rubio, Hugo F.

Presencia de los retardantes de flama bromados en México: una revisión

CIENCIA *ergo-sum*, vol. 31, 2024 | e247

Ciencias Biológicas del Mar y Limnología

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Olivares-Rubio, H. F. (2024). Presencia de los retardantes de flama bromados en México: una revisión. *CIENCIA ergo-sum*, 31. <http://doi.org/10.30878/ces.v31n0a32>

# Presencia de los retardantes de flama bromados en México: una revisión

## Presence of brominated flame retardants in Mexico: a review

Hugo F. Olivares-Rubio

Universidad Nacional Autónoma de México, México

hugolivares@cmarl.unam.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-7082-4588>

Recepción: 13 de octubre de 2022

Aprobación: 23 de enero de 2023

### RESUMEN

Se discute la presencia de los retardantes de flama bromados en México y se propone un análisis de prospección. Mediante una revisión bibliográfica de 16 artículos de investigación científica, se reporta la presencia de estos compuestos en costas, suelos, vertederos, lagunas costeras y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, en los huevos del halcón aplomado y en la piel del tiburón ballena, así como también en la sangre de habitantes de algunos estados del país. Se desconoce la presencia de estos contaminantes en otros ambientes mexicanos y sus efectos en su biota. Se requieren más estudios para ampliar los conocimientos en este tema.

**PALABRAS CLAVE:** presencia, retardantes de flama bromados, México

### ABSTRACT

The presence of brominated flame retardants in Mexico is discussed and a prospective analysis is proposed. Through a bibliographic review of 16 scientific research articles, the presence of these compounds in coasts, soils, landfills, coastal lagoons and effluents from wastewater treatment plants, in the eggs of the aplomado falcon and in the skin of the whale shark has been reported. These compounds have also been found in the blood of Mexicans living in some states of the country. The presence of these contaminants in other Mexican environments and their effects on their biota are unknown. More studies are required to expand knowledge on this subject.

**KEYWORDS:** presence, brominated flame retardants, Mexico.

### INTRODUCCIÓN

La ecotoxicología estudia la presencia y los efectos de los contaminantes en la biósfera en sus diferentes niveles de organización (Zhou *et al.*, 2018). Para este fin, se apoya en diversas ciencias entre las que destacan la fisicoquímica, bioquímica, genética, citología, histología, fisiología, toxicología y ecología. Se consideran como contaminantes emergentes a aquellos agentes químicos de origen sintético o natural que comúnmente no son monitoreados en el ambiente, pero que tienen el potencial de impactar la salud de la vida silvestre y del ser humano (Geissen *et al.*, 2015), entre los que se encuentran los productos farmacológicos, de cuidado personal, plásticos y agentes plastificantes, así como de los retardantes de flama. Los conocimientos ecotoxicológicos sobre estos contaminantes se han visto incrementados en los años recientes. Sin embargo, en los países de economías emergentes, como México, los avances científicos en esta materia aún se encuentran en etapas iniciales; por lo anterior, el objetivo del artículo es exponer la presencia de los retardantes de flama bromados (RFB) en el territorio mexicano, en su vida silvestre y en mexicanos, así como proponer un análisis prospectivo en este tema.

---

\*AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

hugolivares@cmarl.unam.mx

## 1. LOS RETARDANTES DE FLAMA BROMADOS

Los retardantes de flama bromados son un conjunto de compuestos químicos altamente lipofílicos y bioacumulables usados como aditivos en una enorme cantidad de productos para reducir la inflamabilidad y retardar la ignición (Iqbal *et al.*, 2017; Pantelaki y Voutsas, 2019; Xiong *et al.*, 2019). Los RFB constituyen la mayor oferta del mercado comercial de los retardantes de flama debido a su baja degradación a altas temperaturas, así como su alta eficiencia y bajo costo (Birnbaum y Staskal, 2004). Los difeniles éteres polibromados (DEPB), bifenilos polibromados (BPB), el tetrabromobisfenol A (TBBFA) y los hexabromociclododecanos (HBCD) representan los principales grupos de RFB que han recibido un creciente interés por sus efectos tóxicos en la vida silvestre y el ser humano.

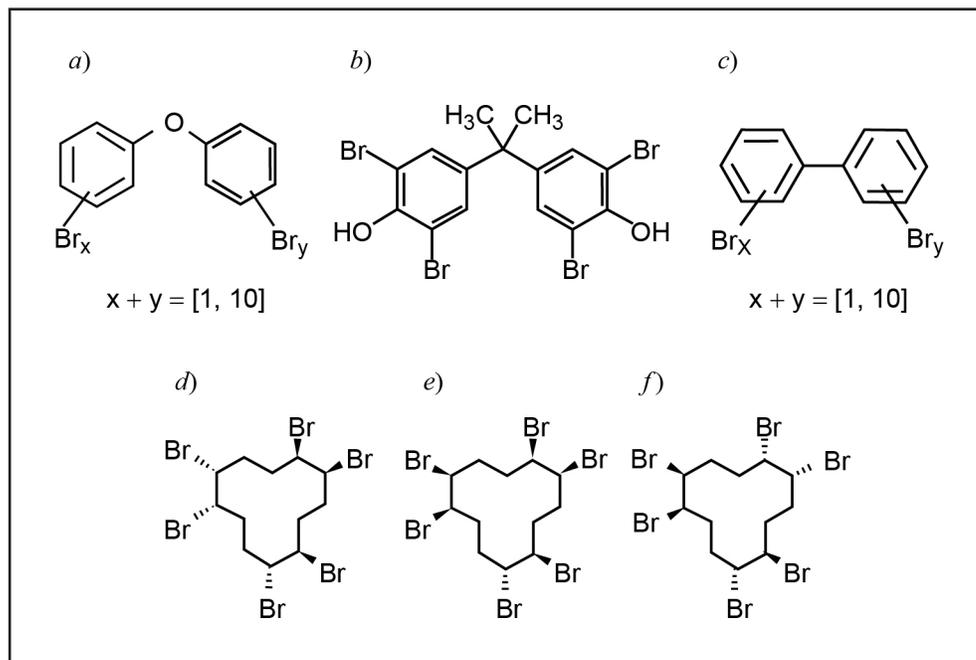


FIGURA 1

Estructura química de los principales retardantes de flama bromados

Fuente: Adaptado de De Wit, 2002 y Sanders *et al.*, 2013.

Nota: a) DEPb, b) TBBFA, c) BPb, d) α-HBCD, e) β-HBCD y f) γ-HBCD, donde, x y y representan el número de sustituciones con bromo que puede tomar uno u otro anillo aromático, x y y pueden tomar valores de 0 a 5; por lo tanto, la suma de x y y puede tomar valores dentro del intervalo cerrado de 1 a 10.

## 2. LOS RETARDANTES DE FLAMA BROMADOS EN EL AMBIENTE

Las principales fuentes de emisión de RFB en el ambiente son las fábricas productoras de estos compuestos, las de plásticos, las de electrodomésticos y las de polímeros retardantes de flama, así como las de la industria del reciclaje, las plantas de tratamiento de agua residuales (PTAR) e incineradores, y, en menor medida, la volatilización y la deposición atmosférica (Covaci *et al.*, 2006; Malkoske *et al.*, 2016; Iqbal *et al.*, 2017).

En la atmósfera los DEPb se encuentran distribuidos en partículas; además, el desmantelamiento, la quema de residuos y los procesos de reciclaje también están involucrados (Wu *et al.*, 2019). Se ha reportado la presencia del TBBPA en el aire de China (Covaci *et al.*, 2006; Malkoske *et al.*, 2016), así como de DEPb en diferentes muestras de aire alrededor del mundo y en la mayoría de los casos se encuentran de entre fracciones hasta no más de 10 pg/m<sup>3</sup> (Li *et al.*, 2011; 2012; Allen *et al.*, 2013).

Los suelos son altamente susceptibles de ser reservorios para los DEPB, los HBCD y el TBBFA debido a la deposición atmosférica y a la erosión; las concentraciones de estos compuestos varían de fracciones hasta varios miles de ng/g de suelo en peso seco y las mayores concentraciones se encuentran asociadas a regiones donde se fabrican y reciclan productos que contienen a estos RFB, así como a zonas urbanas e industriales (Covaci *et al.*, 2006; Malkoske *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2019). A pesar de las características fisicoquímicas de estas especies químicas, se ha demostrado que el TBBFA se biodegrada a través de cuatro vías: ruptura estructural oxidativa, O-metilación, ipsosustitución de tipo 2 y debromación reductiva (Sun *et al.*, 2014; McAvoy *et al.*, 2016).

Los RFB han sido detectados en ambiente acuáticos, fuentes de agua potable y en las PTAR que pueden liberar PBDE, HBCD y TBBPA (Covaci *et al.*, 2006; Malkoske *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2019; Xiong *et al.*, 2019). Debido a su alta hidrofobicidad, los RFB tienden a encontrarse asociados a la materia particulada y solo una muy pequeña fracción se encuentra disuelta (Iqbal *et al.*, 2017). Las concentraciones ambientales de PBDE y HBCD en ríos y lagos se encuentran entre fracciones y miles de ng/L en los Estados Unidos de América, Canadá y Japón (Iqbal *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2019). Se ha demostrado la bioacumulación de estos contaminantes en varias especies de peces que incluyen a la perca vítrea, al corégono del lago, la lota (Law *et al.*, 2006), la carpa común, la carpa plateada, la trucha (Ding *et al.*, 2019) y el arenque (Gaion *et al.*, 2021). También, se han reportado eventos de biomagnificación, por ejemplo, en el arenque y en dos de sus depredadores, la foca gris y el ave arao común, así como en la cadena trófica del oso polar y en las cadenas tróficas del lago Winnipeg en Canadá (De Wit *et al.*, 2002; Covaci *et al.*, 2006).

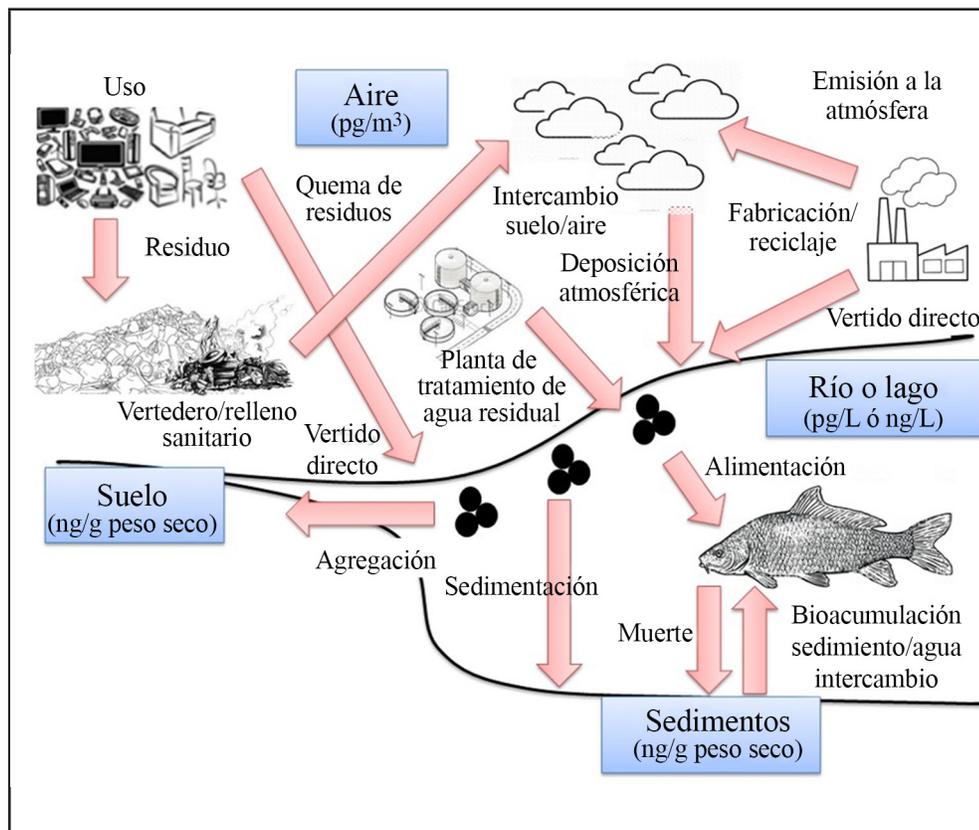


DIAGRAMA 1

Fuentes de retardantes de flama bromados al ambiente y sus principales procesos de transporte

Fuente: adaptado de Iqbal *et al.*, 2017: 35.

### 3. PRESENCIA AMBIENTAL DE LOS RETARDANTES DE FLAMA BROMADOS EN MÉXICO

Se detectaron DEPB mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas en los influentes y efluentes de dos PTAR en Ciudad Juárez (Chihuahua); sin embargo, los efluentes de las PTAR que poseían un tratamiento químico redujeron de manera notable las concentraciones de DEPB en comparación con la PTAR que solo contaba con un tratamiento físico (Rocha-Gutierrez y Lee, 2012; 2013). Se detectó que las mayores concentraciones de DEPB en las costas del noreste de Baja California, se encontraron en función de la profundidad de los sedimentos marinos más que en la distancia de la costa (Macías-Zamora *et al.*, 2016). La concentración de algunos DEPB se midió en el suelo en el Área Metropolitana de Monterrey (Nuevo León), en varias zonas agrícolas e industriales de la ciudad de San Luis Potosí (San Luis Potosí), donde se encontró que las concentraciones estuvieron en el intervalo de unos cuantos hasta varias decenas de  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de suelo (Orta-García *et al.*, 2016; Pérez-Vázquez *et al.*, 2015; 2016).

En el vertedero Bordo Poniente que se encuentra en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), se documentó la presencia de DEPB y HBCD en los lixiviados y en los lodos, mientras que el TBBFA no fue detectado (Gavilán-García *et al.*, 2017). Las mayores concentraciones de DEPB asociados a partículas suspendidas se encontraron en el aire del este y sureste de la ZMVM (Beristain-Montiel *et al.*, 2020). Valenzuela-Sánchez *et al.* (2018) reportaron la presencia de DEPB en cuatro lagunas costeras del noreste del estado de Yucatán (Ria Lagartos, Bocas de Dzilam, Laguna de Chelem y Ria Celestun), y se sugiere que la dispersión de estos contaminantes podría alcanzar a los cenotes de esta región.

### 4. PRESENCIA AMBIENTAL DE LOS RETARDANTES DE FLAMA BROMADOS EN LA VIDA SILVESTRE DE MÉXICO

Se midió el contenido de seis congéneres de DEPB en los huevos de los halcones aplomado (*Falco femoralis*), cuyos nidos se localizaron en Chihuahua (El Sueco y Tinaja Verde), y en Veracruz (Nautla y Alvarado). Los mayores contenidos de estos compuestos se hallaron en los huevos colectados en el estado de Veracruz con respecto a los de Chihuahua y las concentraciones de estos contaminantes no ponen en riesgo el éxito de la eclosión (Mora *et al.*, 2011). Se colectaron 12 biopsias de piel de tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en La Paz (Baja California Sur) y se documentó la presencia de DEPB, lo que demuestra la gran dispersión y bioacumulación de estos contaminantes a través de las redes tróficas en el medio marino mexicano (Fossi *et al.*, 2017).

### 5. PRESENCIA DE LOS RETARDANTES DE FLAMA BROMADOS EN MEXICANOS

La concentración de 10 congéneres de DEPB en el suero de niños mexico-americanos fue mayor que en niños mexicanos nacidos en Jalisco, Michoacán y Guanajuato (Eskenazi *et al.*, 2011). Se reportó una elevada presencia de cinco congéneres de DEPB en suero sanguíneo de niños de Ciudad Juárez (Chihuahua) y seis congéneres de DEPB en suero sanguíneo de niños de la Zona Metropolitana de Guadalajara (Jalisco); estos resultados son preocupantes, ya que son comparables con los más altos registrados a nivel mundial (Ochoa-Martinez *et al.*, 2016; Orta-García *et al.*, 2012; 2018). En el suero sanguíneo de habitantes de la Ciudad de México cuya edad se encontró en el intervalo de los 20 a 60 años, se documentó que la concentración de cinco congéneres de DEPB tuvo un promedio de 15.3 ng/g lípidos; este es un resultado alarmante, dado que es la mayor concentración respecto a habitantes de otras áreas del mundo (Orta-García *et al.*, 2014), al año de publicación de este estudio.

Este conjunto de hallazgos denota que los RFB se encuentran en el ambiente, en la vida silvestre y en el ser humano dentro del territorio mexicano.

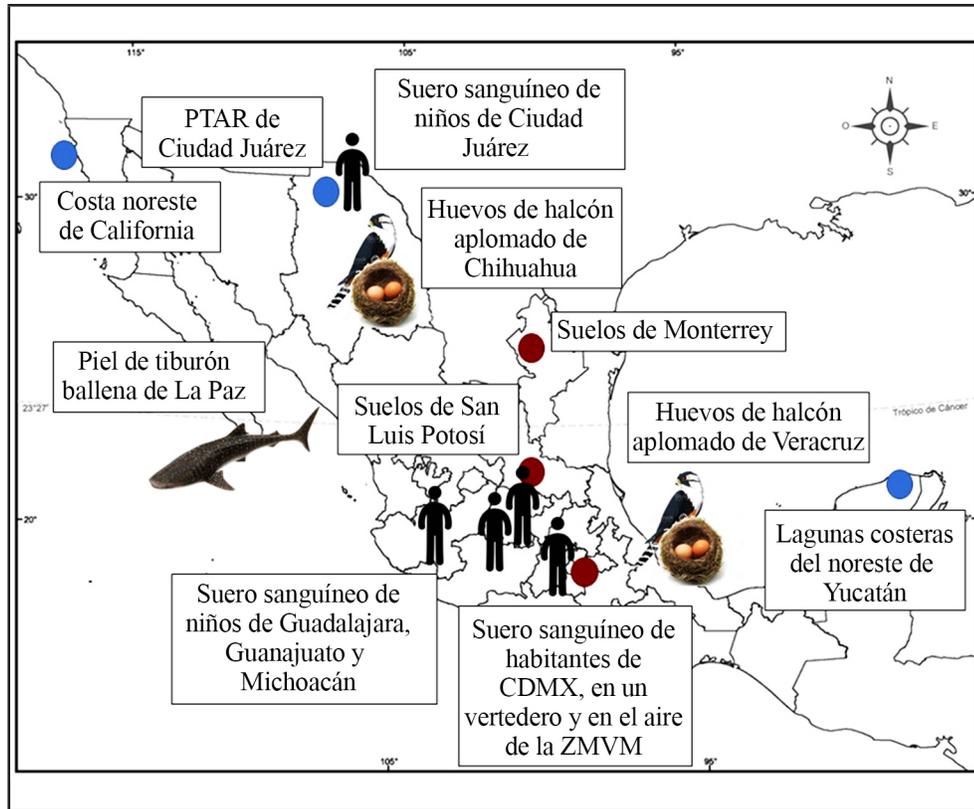


DIAGRAMA 2

Estudios de los retardantes de flama bromados en el ambiente, en la vida silvestres y en habitantes de México

Fuente: elaboración propia con imágenes de diferentes sitios de internet.<sup>[1]</sup>

Nota: PTAR, planta de tratamiento de aguas residuales; CDMX, Ciudad de México; ZMVM, Zona Metropolitana del Valle de México.

## PROSPECTIVA

A pesar de los hallazgos presentados en este artículo, aún se carece de información sobre las concentraciones de estos compuestos en ríos, lagos, mares, playas, e incluso cenotes, así como de los efectos tóxicos en peces y organismos acuáticos nativos de México. Los mamíferos y anfibios cuya distribución natural se encuentra en el territorio mexicano tampoco han sido estudiados en estos temas. Por otro lado, se requieren más estudios en los mexicanos para conocer si estos compuestos están relacionados con la obesidad que sufre la población de nuestro país, ya que se ha documentado que estos compuestos poseen propiedades obesogénicas (Grün, 2010). Para alcanzar este objetivo se requieren programas de biomonitorio sobre estos contaminantes en diferentes sectores de la población mexicana que involucren grandes periodos de tiempo. Asimismo, hace falta investigar la presencia y concentración de estos contaminantes en ambientes circundantes a las zonas industriales, vertederos, rellenos sanitarios y en instalaciones de reciclaje.

Nuestro país no cuenta con normatividad aplicable para los RFB a pesar del creciente problema toxicológico que representan. Una de las causas principales es que no se tienen inventarios adecuados para la emisión de residuos urbanos con presencia de estos contaminantes. En 2017 se emitió el Inventario de Generación de Residuos Electrónicos de México que reportó la generación de aproximadamente 1 053.57 kt de residuos eléctricos y electrónicos en 2015, de los cuales 117.55 kt correspondieron a la Ciudad de México, 82.07 kt para Jalisco y 58.6 kt para Baja California. Del total de los residuos eléctricos y electrónicos se estimó que

el 5.99% debe ser manejado como residuo peligroso y, entre los contaminantes considerados como tales, se reconoció a los DEPB. Se calcula que para 2026 los residuos electrónicos y eléctricos será de 1 353.71 kt (SEMARNAT, 2017).

## CONCLUSIONES

Esta revisión contribuye a la divulgación sobre los RFB y su presencia en México, además de ser una herramienta para que diversos sectores sociales demanden la instauración de programas de investigación para incrementar la información sobre su presencia y efectos, para formular estrategias para la vigilancia de su emisión mediante el establecimiento e implementación de normatividad y para monitorear sus concentraciones en diferentes matrices ambientales.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo financiero recibido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través de una beca de Estancia Posdoctoral de Continuidad por México 2022 y a los árbitros anónimos que con su experiencia y conocimientos contribuyeron a la mejora de este artículo.

## REFERENCIAS

- Allen, J. G., Sumner, A. L., Nishioka, M. G., Vallarino, J., Turner, D. J., Saltman, H. K., Spengler, J. D. (2013). Air concentrations of PBDEs on in-flight airplanes and assessment of flight crew inhalation exposure. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 23(4), 337-342. <https://doi.org/10.1038/jes.2012.62>
- Beristain-Montiel, E., Villalobos-Pietrini, R., Nuñez-Vilchis, A., Arias-Loaiza, G. E., Hernández-Paniagua, I. Y., & Amador-Muñoz, O. (2020). Polybrominated diphenyl ethers and organochloride pesticides in the organic matter of air suspended particles in Mexico valley: A diagnostic to evaluate public policies. *Environmental Pollution*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115637>
- Birnbaum, L. S., & Staskal, D. F. (2004). Brominated flame retardants: cause for concern?. *Environmental Health Perspectives*, 112(1), 9-17. <https://doi.org/10.1289/ehp.6559>
- Covaci, A., Gerecke, A. C., Law, R. J., Voorspoels, S., Kohler, M., Heeb, N. V., Leslie H., Allchin, C. R., De Boer, J. (2006). Hexabromocyclododecanes (HBCDs) in the environment and humans: a review. *Environmental Science & Technology*, 40(12), 3679-3688. <https://doi.org/10.1021/es0602492>
- De Wit, C. A. (2002). An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere*, 46(5), 583-624. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(01\)00225-9](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(01)00225-9)
- Ding, X., Liu, J., & Wen, W. (2019). Brominated flame retardants in edible fishes from Three Gorges reservoir, China. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(4), 46-65. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-04-03>
- Eskenazi, B., Fenster, L., Castorina, R., Marks, A. R., Sjödin, A., Rosas, L. G., Holland N., Garcia Guerra A., Lopez-Carillo L., & Bradman, A. (2011). A comparison of PBDE serum concentrations in Mexican and Mexican-American children living in California. *Environmental Health Perspectives*, 119(10), 1442-1448. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002874>
- Fossi, M. C., Bainsi, M., Panti, C., Galli, M., Jiménez, B., Muñoz-Arnanz, J., Marsili, L., Finoia M. G., & Ramírez-Macías, D. (2017). Are whale sharks exposed to persistent organic pollutants and plastic pollution in the Gulf of California (Mexico)? First ecotoxicological investigation using skin biopsies. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 199, 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2017.03.002>

- Gaion, A., Morgan, E., Collier, S., & Sartori, D. (2021). Bioaccumulation of different congeners of Poly-Brominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in muscle tissue of males and females of *Clupea harengus* from the North Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 30414-30421. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14347-x>
- Gavilán-García, I., Santos-Santos, E., Gavilán-García A., Beristain-Montiel, E., & González-González, L. A. (2017). Brominated Flame Retardants (BFRs) analysis in leachates and sludge from a landfill and wastewater plant in the metropolitan area of Mexico City. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 7(459), 2161-0525. <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000459>
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., Van der Ploeg, M., van de Zee S. E. A. T. M., & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Grün, F. (2010). Obesogens. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity*, 17(5), 453-459. <https://doi.org/10.1097/MED.0b013e32833ddea0>
- Iqbal, M., Syed, J. H., Katsoyiannis, A., Malik, R. N., Farooqi, A., Butt, A., Li, J., Zhang G., Cincinelli, A., & Jones, K. C. (2017). Legacy and emerging flame retardants (FRs) in the freshwater ecosystem: a review. *Environmental Research*, 152, 26-42. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.024>
- Law, K., Halldorson, T., Danell, R., Stern, G., Gewurtz, S., Alae, M., Marvin C., Whittle, M., & cTomy, G. (2006). Bioaccumulation and trophic transfer of some brominated flame retardants in a Lake Winnipeg (Canada) food web. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(8), 2177-2186. <https://doi.org/10.1897/05-500R.1>
- Li, X., Li, Y., Zhang, Q., Wang, P., Yang, H., Jiang, G., & Wei, F. (2011). Evaluation of atmospheric sources of PCDD/Fs, PCBs and PBDEs around a steel industrial complex in northeast China using passive air samplers. *Chemosphere*, 84(7), 957-963. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.004>
- Li, Y., Geng, D., Liu, F., Wang, T., Wang, P., Zhang, Q., & Jiang, G. (2012). Study of PCBs and PBDEs in King George Island, Antarctica, using PUF passive air sampling. *Atmospheric Environment*, 51, 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.01.034>
- Macías-Zamora, J. V., Ramírez-Álvarez, N., Hernández-Guzmán, F. A., & Mejía-Trejo, A. (2016). On the sources of PBDEs in coastal marine sediments off Baja California, Mexico. *Science of the Total Environment*, 57, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.142>
- McAvoy, D. C., Pittinger, C. A., & Willis, A.M. (2016). Biotransformation of tetrabromobisphenol A (TBBPA) in anaerobic digester sludge, soils, and freshwater sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 131, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.009>
- Malkoske, T., Tang, Y., Xu, W., Yu, S., & Wang, H. (2016). A review of the environmental distribution, fate, and control of tetrabromobisphenol A released from sources. *Science of the Total Environment*, 569, 1608-1617. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.062>
- Mora, M. A., Baxter, C., Sericano, J. L., Montoya, A. B., Gallardo, J. C., & Rodríguez-Salazar, J. R. (2011). PBDEs, PCBs, and DDE in eggs and their impacts on aplomado falcons (*Falco femoralis*) from Chihuahua and Veracruz, Mexico. *Environmental Pollution*, 159(12), 3433-3438. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.025>
- Ochoa-Martinez, A. C., Orta-Garcia, S. T., Rico-Escobar, E. M., Carrizales-Yañez, L., Del Campo, J. D. M., Pruneda-Alvarez, L. G., Ruiz-Vera T., Gonzalez-Palomo A. K., Piña-Lopez I. G., Torres-Dosal A., & Pérez-Maldonado, I. N. (2016). Exposure assessment to environmental chemicals in children from Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(4), 657-670. <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0273-9>

- Orta-García, S. T., León-Moreno, L. C., González-Vega, C., Dominguez-Cortinas, G., Espinosa-Reyes, G., & Pérez-Maldonado, I. N. (2012). Assessment of the levels of polybrominated diphenyl ethers in blood samples from Guadalajara, Jalisco, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(4), 925-929. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0727-3>
- Orta-García, S., Pérez-Vázquez, F., González-Vega, C., Varela-Silva, J. A., Hernández-González, L., & Pérez-Maldonado, I. (2014). Concentrations of persistent organic pollutants (POPs) in human blood samples from Mexico City, Mexico. *Science of the Total Environment*, 472, 496-501. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.059>
- Orta-García, S. T., Ochoa-Martínez, A. C., Carrizalez-Yañez, L., Varela-Silva, J. A., Pérez-Vázquez, F. J., Pruneda-Álvarez, L. G., Torres-Dosal A., Guzmán-Mar J. L., & Pérez-Maldonado, I. N. (2016). Persistent organic pollutants and heavy metal concentrations in soil from the Metropolitan Area of Monterrey, Nuevo Leon, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(3), 452-463. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0239-3>
- Orta-García, S. T., Ochoa-Martínez, Á. C., Varela-Silva, J. A., & Pérez-Maldonado, I. N. (2018). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) levels in blood samples from children living in the metropolitan area of Guadalajara, Jalisco, Mexico. *International Journal of Environmental Health Research*, 28(1), 90-101. <https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1429578>
- Pantelaki, I., & Voutsas, D. (2019). Organophosphate flame retardants (OPFRs): A review on analytical methods and occurrence in wastewater and aquatic environment. *Science of the Total Environment*, 649, 247-263. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.286>
- Pérez-Vázquez, F. J., Flores-Ramírez, R., Ochoa-Martínez, A. C., Orta-García, S. T., Hernández-Castro, B., Carrizalez-Yañez, L., & Pérez-Maldonado, I. N. (2015). Concentrations of persistent organic pollutants (POPs) and heavy metals in soil from San Luis Potosí, México. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1), 4119. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4119-5>
- Pérez-Vázquez, F. J., Orta-García, S. T., Ochoa-Martínez, Á. C., Pruneda-Álvarez, L. G., Ruiz-Vera, T., Jiménez-Avalos, J. A., González-Palomo, A. K., & Pérez-Maldonado, I. N. (2016). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) concentration in soil from San Luis Potosi, Mexico: levels and ecological and human health risk characterization. *International Journal of Environmental Health Research*, 26(3), 239-253.
- Rocha-Gutierrez, B., & Lee, W. Y. (2012). Determination and comparison of polybrominated diphenyl ethers in primary, secondary, and tertiary wastewater treatment plants. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92(13), 1518-1531. <https://doi.org/10.1080/03067319.2011.585713>
- Rocha-Gutierrez, B., & Lee, W. Y. (2013). Investigation of polybrominated diphenyl ethers in wastewater treatment plants along the US and Mexico border: a trans-boundary study. *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(1), 1398. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1398-8>
- Sanders, J. M., Knudsen, G. A., & Birnbaum, L. S. (2013). The fate of  $\beta$ -hexabromocyclododecane in female C57BL/6 mice. *Toxicological Sciences*, 134(2), 251-257. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kft121>
- SEMARNAT (2017). *Inventario de generación de residuos electrónicos en México. Escala nacional y estatal para Jalisco, Baja California y Ciudad de México. Resumen ejecutivo extendido [Año Base 2015]*. México. [https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/resumen\\_ejecutivo\\_inventario\\_raee\\_final\\_1.pdf](https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/resumen_ejecutivo_inventario_raee_final_1.pdf)
- Sun, F., Kolvenbach, B. A., Nastold, P., Jiang, B., Ji, R., & Corvini, P. F. X. (2014). Degradation and metabolism of tetrabromobisphenol A (TBBPA) in submerged soil and soil-plant systems. *Environmental Science & Technology*, 48(24), 14291-14299. <https://doi.org/10.1021/es503383h>

- Valenzuela-Sánchez, I. S., Gold-Bouchot, G., Hernández-Núñez, E., Barrientos-Medina, R. C., Garza-Gisholt, E., & Zapata-Pérez, O. (2018). Brominated flame retardants in sediments of four coastal lagoons of Yucatan, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 101(2), 160-165. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2347-z>
- Xiong, P., Yan, X., Zhu, Q., Qu, G., Shi, J., Liao, C., & Jiang, G. (2019). A review of environmental occurrence, fate, and toxicity of novel brominated flame retardants. *Environmental Science & Technology*, 53(23), 13551-13569. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03159>
- Zhou, H., Xiang, N., Xie, J., & Diao, X. (2018). Ecotoxicology: the history and present direction. In: B. Fath (Ed.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 415-423). Elsevier.

## NOTA

- [1] Disponible en <https://es.123rf.com>, <https://www.istockphoto.com>, <https://www.shutterstock.com>, <https://www.mexi-codesconocido.com.mx>, y <https://www.pngegg.com>

## CC BY-NC-ND