

Contaminantes emergentes

Apellidos, nombre	Pachés Giner Maria AV (mapacgi@upvnet.upv.es)
Departamento	Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

1 Resumen de las ideas clave

El término contaminante emergente hace referencia a una gran cantidad de productos químicos que se utilizan actualmente en la industria, la medicina, la agricultura, en el tratamiento de agua, etc., y que se liberan en el medio generando efectos negativos en los ecosistemas. El conocimiento que se tiene de ellos es escaso, aunque en los últimos años organismos como la OMS, la EPA y/o la Comisión Europea están impulsando su investigación.

Gran parte de estos contaminantes no pueden ser eliminados en las estaciones de tratamiento de agua y acaban siendo liberados al medio, donde pueden acumularse en sistemas acuáticos naturales y provocar daños a los seres vivos y a los ecosistemas. Estos compuestos son persistentes y bioacumulables de manera que pueden pasar a la cadena trófica y acabar afectando a todos los seres vivos.

Aunque es necesario seguir avanzando en el conocimiento sobre estos compuestos en el ambiente, sí existen evidencias de que tiene efectos tóxicos y han sido catalogados como cancerígenos, mutagénicos o incluso disruptores endocrinos.

2 Objetivos

Una vez que el alumno lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Definir que son los contaminantes emergentes
- Identificar y describir los principales tipos de contaminantes emergentes
- Enumerar y relacionar los principales efectos de estos contaminantes en el medio ambiente

3 Introducción

Los avances en ciencia y en tecnología han permitido que se sinteticen una gran variedad de compuestos químicos nuevos que dan respuestas a las diferentes necesidades que existen en la industria, el comercio, la agricultura, la alimentación, la medicina, etc. Estos compuestos son utilizados como aditivos industriales, plastificantes, plaguicidas, agentes tensoactivos, fármacos, etc., y como consecuencia de su uso generan un incremento en el número de sustancias que se liberan al medio a través de las aguas residuales o vertidos directos.

Estos nuevos productos poseen características químicas muy diversas (grupos funcionales, estructura química, etc.) y siguen complejas rutas de degradación que los convierten en potencialmente tóxicos para los ecosistemas y los organismos vivos.

Una de las peculiaridades de estos nuevos compuestos es que aparecen en el medio en bajas concentraciones (generalmente en partes por millón o partes por trillón) lo que dificulta su determinación analítica, puesto que los métodos disponibles de análisis para algunos de ellos son muy limitados. Esta dificultad a la hora de la determinación analítica condiciona los pocos conocimientos que se tiene de ellos y de sus efectos en el medio acuático. Además, no se suelen incluir en las redes de monitoreo de la calidad de las aguas

(superficiales continentales, marinas, subterráneas etc.). Sin embargo, el hecho de que las concentraciones en las que aparecen sean bajas no merma sus efectos negativos, puesto que su eliminación o transformación se ve compensada por la constante incorporación al medio ya que son muchísimos los compuestos o fuentes de contaminantes emergentes (Barceló et al., 2007).

La falta de conocimiento sobre estos compuestos es el principal motivo por el que la mayoría de ellos siguen sin estar regulados en muchos países, aunque son candidatos a regulaciones futuras. Sin embargo, estos contaminantes son de gran interés para la comunidad científica porque dadas sus propiedades fisicoquímicas (alta solubilidad en agua y poco biodegradable) y su baja tasa de eliminación en sistemas de tratamiento de aguas, son capaces de llegar a cualquier medio natural y representar un grave riesgo para el ecosistema.

4 Desarrollo

Para abordar el estudio de contaminantes emergentes vamos a seguir los siguientes pasos:

- Definir que son los contaminantes emergentes.
- Identificar y describir los principales tipos de contaminantes emergentes.
- Enumerar y relacionar las principales consecuencias de estos contaminantes en el medio ambiente.

4.1 ¿Qué son los contaminantes emergentes?

El término de contaminantes emergentes hace referencia a compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el medio ambiente no se considera significativa en términos de distribución y/o concentración, por lo que pasan inadvertidos; no obstante, ahora están siendo ampliamente detectados y tienen el potencial de acarrear un impacto ecológico negativo, así como efectos adversos sobre la salud.

La Comisión Europea los define como contaminantes previamente desconocidos o no reconocidos como tales cuya presencia en el medio no es necesariamente nueva, pero sí la preocupación por las posibles consecuencias de estos en el medio ambiente.

Estos compuestos entran al medio ambiente a través de algunas fuentes y vías, tales como aguas residuales de tipo doméstico e industrial, las actividades agrícolas y ganaderas, los efluentes hospitalarios, los tanques sépticos, los residuos de las plantas de tratamiento y también por descargas directas al medio.

La Unión Europea tiene una lista de sustancias bajo vigilancia y se hacen estudios para definir cuál es su efecto y qué límite se deberían poner en vertidos y calidad de aguas. Cada año entran nuevos compuestos.

4.2 Tipo de contaminantes emergentes

El concepto de contaminante emergente incluye una gran variedad de compuestos originados por una diversidad de actividades humanas. A continuación, se describen los principales grupos.

4.2.1 Pesticidas o plaguicidas

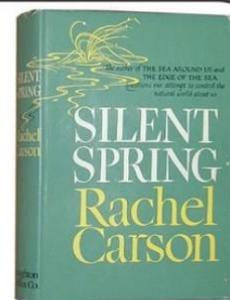
Los pesticidas o plaguicidas son sustancias destinadas a prevenir, destruir, o mitigar las plagas. Como han sido empleados desde hace muchas décadas, se han estudiado en profundidad y se conocen bastante bien las concentraciones y sus destinos en los sistemas acuáticos. Estos conocimientos han permitido que exista regulación sobre ellos. Sin embargo, en los últimos años se ha renovado su preocupación e interés no sobre ellos mismos, sino sobre sus productos de degradación (que fueron ignorados anteriormente) por que se ha comprobado que pueden ser incluso más tóxicos y aparecer en mayor concentración que los propios pesticidas.

De acuerdo con su estructura química, los plaguicidas se clasifican en diversas familias, que incluyen desde los compuestos organoclorados (DDT, Dieldrin, Heptacloro, Lindano), organofosforados (Fentión, Diazinón...), carbamatos y derivados de la urea.

El Aldrín, Dieldrín, Endrín, Clordano, Lindano, Toxafeno y DDT son pesticidas extremadamente tóxicos que aparecen en el Anexo A del Convenio de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes de 2001. Según este Convenio, los países firmantes deben prohibir o emprender las medidas jurídicas y administrativas necesarias para eliminar la producción, uso e importación de estas sustancias químicas. Estas sustancias orgánicas prohibidas son altamente persistentes en el medio, bioacumulables y poseen características de toxicidad capaces de ocasionar efectos adversos en el ambiente y en la salud, como cáncer y defectos congénitos en personas y animales.

La científica norteamericana Rachel Carson publicó en 1962 el libro *Primavera silenciosa* en el que denunciaba que el uso extendido del DDT era la causa de la desaparición de muchas especies de pájaros.

Carson fue duramente criticada...pero años más tarde la historia le dio la razón y el DDT fue totalmente prohibido.



Las principales fuentes de exposición en la población son los alimentos de origen vegetal o animal, y en menor grado el agua, el aire, la tierra y la fauna y flora contaminados. Se afirma que no hay segmento alguno de la población general exento de la exposición a estos compuestos y a sus potenciales efectos nocivos sobre la salud.

4.2.2 Productos farmacéuticos

Existen multitud de productos farmacéuticos de gran uso por parte de la población, por ejemplo: los analgésicos como el ibuprofeno, que es uno de los fármacos de mayor consumo y de los más utilizados en automedicación. Los fármacos para regular la tensión arterial son también muy utilizados, puesto que la hipertensión es la enfermedad cardiovascular más común en el mundo y, por último, los antibióticos que son de amplio uso, no solo contra microorganismos patógenos en humanos sino también en animales y en la preservación de alimentos. Estos tres grupos de fármacos, (analgésicos, antihipertensivos y antimicrobianos) son los más utilizados a escala mundial y acaban siendo descargados al medio acuático principalmente por el agua residual.

Por tanto, las plantas de tratamiento actúan como una puerta de entrada de estos productos a otros cuerpos de agua (porque muchos de estos compuestos no son realmente retenidos en sus procesos) y son transportados por el ciclo del agua en diferentes rutas. Según las propiedades fisicoquímicas de estos fármacos, sus metabolitos, productos de degradación, y las características de los suelos, estas sustancias pueden llegar a alcanzar las aguas subterráneas y contaminar los acuíferos o bien, quedar retenidas en el suelo y acumularse pudiendo afectar al ecosistema y a los humanos a través de la cadena trófica (Barceló y López, 2012). De cualquier forma, la presencia de estos productos y sus productos de degradación en los ecosistemas ha sido reconocida como una preocupación, sobre todo porque alguno de estos fármacos como el ibuprofeno ha sido identificado en aguas potables.

4.2.3 Surfactantes

Los tensioactivos o surfactantes son productos químicos que ejercen su efecto en la superficie de contacto entre dos fases (interfase), mediante la modificación de su tensión superficial. Los surfactantes son ampliamente utilizados en el sector industrial para la fabricación de celulosa, pasta de papel, cemento, metalurgia, agricultura, textil, curtido, pinturas, lacas, detergentes, plásticos, gomas, barnices, y sobre todo en industria alimentaria. Estos compuestos actúan como espumantes, dispersantes, emulsionantes, detergentes, solubilizantes, humectantes, plastificantes y espesantes.

En función del carácter iónico de la molécula existen cuatro grandes grupos: *tensioactivos aniónicos* que son los más utilizados en detergentes en polvo para el lavado de ropa y en productos líquidos para uso en lavavajillas, detergentes sintéticos, etc. *Tensioactivos catiónicos*, son más difíciles de producir y más caros, pero aparecen en productos bactericidas o agentes antiestáticos. *Tensioactivos no iónicos* que son de menor toxicidad porque contienen estructuras de origen natural y por último los *tensioactivos anfotéricos* muy utilizados en champús para el cabello (Rios, 2014).

La problemática de estos compuestos es que pasan al ambiente directamente desde las plantas de tratamiento de aguas residuales, donde solamente son degradados parcialmente. Existen estudios que han evaluado la concentración de este tipo de productos en ríos, lagos y aguas costeras.

4.2.4 Retardantes de llama y fuego

Los retardantes de llama engloban una gran variedad de sustancias que se añaden a diferentes productos como muebles, plásticos, tejidos, pinturas, aparatos electrónicos

y transporte (aviones, trenes, etc.) para evitar o disminuir la propagación del fuego. El término retardante se refiere a la función que ejercen y no a una familia de compuestos químicos, pero entre ellos están los retardantes de llama bromados que son compuestos organobromados de amplio uso. La problemática de estos compuestos es que al no ser eliminados totalmente en las plantas de tratamiento presentan una gran ubicuidad en el medio ambiente. De hecho, se han detectado en una gran variedad de muestras de humanos y fauna silvestre (invertebrados acuáticos, peces, aves). Estos compuestos debido a su persistencia y biodisponibilidad pasan a la cadena trófica y tienen efectos en la salud, tales como la toxicidad sobre el comportamiento neurológico, disruptores endocrinos y, posiblemente cáncer.

4.2.5 Drogas ilícitas

Las drogas ilícitas como anfetaminas, cocaína y heroína forman parte también de los contaminantes emergentes. Después de su consumo, a través de la excreción, la saliva o el sudor, las drogas y sus metabolitos entran en las aguas residuales. El problema de estos compuestos es que tanto los precursores como sus productos de degradación son muy recalcitrantes, y la eliminación de estos en las aguas residuales precisa de tratamientos avanzados que no siempre se incluyen en las plantas de tratamiento por sus altos costes. De modo que, muchos de estos compuestos finalmente acaban siendo liberado a los cuerpos receptores pudiéndose estimar concentraciones de estos en las aguas potables. Aunque las concentraciones son bajas, (rango de nanogramos por litro), sus posibles efectos sobre la fauna y la salud humana no pueden ser ignorados.

4.2.6 Productos de cuidado personal

Los productos de cuidado personal que forman parte de los contaminantes emergentes son: perfumes, fragancias, cosméticos, fungicidas, agentes de protección solar y repelentes de insectos entre otros. Las principales características de todos ellos es que son de uso directo sobre el cuerpo humano y que en muchas ocasiones se utilizan en cantidades muy superiores a las recomendadas y, por tanto, se introducen en el medio ambiente en concentraciones elevadas. Además, la vía principal de entrada no son solamente las plantas de tratamiento de aguas residuales, sino que mucho de ellos se liberan directamente en las masas de agua continentales o marítimas o se volatilizan al aire.

4.2.7 Productos para el tratamiento de aguas

En los tratamientos de potabilización de las aguas se incluyen procesos químicos de desinfección para reducir el riesgo de infecciones patógenas que pueden suponer una amenaza para la salud humana. Sin embargo, estos tratamientos de desinfección conducen a la formación de subproductos que son indeseables, debido al potencial de toxicidad crónica. Estos subproductos se forman principalmente cuando los desinfectantes reaccionan con la materia orgánica, de origen natural, formando los trihalometanos. Estos aparecen cuando elementos de la familia de los halógenos (Cl, F, Br, I) reaccionan con materia orgánica dando lugar a productos cancerígenos. Un ejemplo de ellos es el cloro, que se utiliza ampliamente para la desinfección del agua, porque es barato y eficaz en la eliminación de microorganismos patógenos, y proporciona protección residual en los sistemas de distribución de agua (Nikolaou et al., 2004). Además, hay que tener presente que los contaminantes antropogénicos que tiene en su composición, bromuro y/o yoduro, son frecuentes en el agua. De modo

que, el uso de cloro utilizado como desinfectante en presencia de otros halógenos puede generar cloroformo, bromodiclorometano, clorodibromometano, bromoformo, etc. Estos compuestos se incorporan al cuerpo humano por ingesta directa de agua del grifo, por inhalación de los trihalometanos evaporados, por absorción dérmica, en el baño o ducha y también en las piscinas.

Algunos estudios epidemiológicos sugieren que existe una relación a entre la exposición a estos compuestos, con dificultades en el desarrollo embrionario, bajo peso al nacer, retraso del crecimiento intrauterino, defectos congénitos en el tubo neural, cardiovascular y aborto espontáneo.

En la siguiente tabla se resumen los principales usos de algunos de los más frecuentes contaminantes emergentes.

Contaminante	Uso
FTALATOS (BBP, DBP, DEHP)	Plastificantes de PVC principalmente, aunque también de celulosa, acetato de polivinilo y poliuretano. Componente de recubrimientos; insecticidas y repelentes; perfumes, esmalte de uñas, laca de pelo y otros cosméticos. Agente lubricante en textiles.
BISFENOL-A	Aglutinante, estabilizante, plastificante y endurecedor de productos plásticos, lacas, pinturas, colas, y materiales de relleno. Constituye la materia prima para la fabricación de pinturas y plásticos con resinas epoxi (presentes en las latas de conserva) y policarbonatos. Producto intermedio en la fabricación de fungicidas, antioxidantes, tintes, resinas fenoxi y de poliéster. Pirorretardantes.
P-NONIFENOL	Detergentes industriales. Espermicidas incorporados en los preservativos.
ESTIRENO	Fabricación de poliestireno y copolímeros de estireno. Fabricación de pinturas, lacas y barnices. Industria de papel, pasta de papel y tableros. Industria de polímeros.
AGROQUÍMICOS Chlordanos, Chlordecone, Trifenilestano, Toxafeno. Lindano, HCB. Linurón. Acetoclor y Alaclor. Maneb, Thiram, Metam y Zineb. Vinclocin. Atrazina. DDT. Tributilestaño	Fungicidas, insecticidas, moluscocidas, herbicidas, desinfectantes. Moluscocida utilizado como agente antiincrustante en barcos, boyas, muelles, etc. Biocidas en albañilería. Desinfectante. Biocida de sistemas de refrigeración, torres de refrigeración de plantas eléctricas, fábricas de papel y pasta, cerveceras, curtidos y fábricas textiles.
PCBs	Dieléctricos de transformadores y condensadores eléctricos. Fluidos hidráulicos de maquinaria. Líquidos de corte. Plastificante de pinturas, plásticos, selladores y papel Autocopiativo. También se forman como subproductos indeseados en varios procesos industriales y la incineración de residuos es una fuente importante.

Tabla 1. Principales Contaminantes Emergentes y su uso (Moreno y Núñez, 2012)

4.3 Consecuencias de los contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes que se distribuyen extensamente en el ambiente tienen múltiples efectos. Estos compuestos pueden ser cancerígenos, mutagénicos, teratogénico o actuar alterando el sistema endocrino de los organismos.

Las sustancias cancerígenas inducen o aumentan la incidencia de cáncer para aquellos organismos expuestos. Por ejemplo, los surfactantes no aniónicos del tipo alquilfenolpolietoxilado son cancerígenos (Gil et al., 2012). La acrilamida, que se utiliza industrialmente para producir plásticos y tintes también tiene efectos cancerígenos. Además, recientemente se ha estudiado la concentración tan elevada de este compuesto en productos alimentarios que han sido sometidos a procesos de fritura y horneado a temperatura superiores a 120°C (patatas fritas), y diversos estudios han concluido que el cáncer es el principal efecto tóxico de este compuesto (Sanz 2017).

Los contaminantes mutagénicos aumentan la frecuencia de mutación en las células y/o en los organismos. Se ha estudiado que los trihalometanos originados en los procesos de cloración, como el bromodiclorometano, clorodibromometano, bromoformo y tetracloruro de carbono son mutagénicos y pueden generar la aparición de tumores benignos o malignos, patologías relacionadas con el sistema inmune y efectos adversos en mujeres embarazadas (Nieuwenhuijsen et al., 2009).

Los elementos teratogénicos son sustancia que puede producir alteraciones en el feto durante su desarrollo. Se sabe que algunos fármacos utilizados en quimioterapia y algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos presentan estos efectos en los organismos.

Y por último los contaminantes emergentes también pueden alterar el sistema endocrino. Este sistema es el responsable de la síntesis de hormonas que son las biomoléculas encargadas de todas las funciones vitales en los seres vivos: crecimiento, reproducción y comportamiento. Cuando estos compuestos entran en los organismos vivos (por ejemplo, por la cadena trófica) pueden alterar la homeostasis hormonal porque son capaces de alterar la relación hormona-célula. Esta alteración puede ser debida a un bloqueo de la hormona, impidiendo que la hormona se una a su célula receptora, intensificando la respuesta o minimizándola. Por ejemplo, los insecticidas clorados como el DDT han causado efectos hormonales provocando adelgazamiento en la cáscara de huevo de diferentes especies, daños en la función reproductiva en el hombre y cambios de comportamiento en humanos (Colborn et al., 2002). El bisfenol A, utilizado en la fabricación de resinas epóxicas y plásticos policarbonatados, tienen actividad estrogénica (hormonas sexuales femeninas) pudiendo afectar el desarrollo reproductivo en mamíferos y aumentando el riesgo de cáncer de mama en humanos. Éste último también causa efectos secundarios feminizadores en hombres (García-Gomez, et al. 2011).

¿Sabes que tienen en común todos estos objetos?



5 Cierre

En los últimos años ha aumentado la preocupación por el efecto en el medio ambiente de una serie de compuestos, de los que no se tiene mucha información pero que se encuentran ampliamente distribuidos en los ecosistemas. Estos compuestos, acceden al ecosistema principalmente por las aguas residuales puesto que no pueden ser eliminados en los procesos de tratamiento convencionales y se van acumulando, aunque muchos otros son vertidos directamente a los sistemas acuáticos. Al conjunto de todos estos compuestos se les denomina contaminantes emergentes. En este artículo se han definido qué son estos compuestos y sus peculiaridades. También se han enumerado los distintos tipos de contaminantes que existen (pesticidas, plaguicidas, fármacos, surfactantes, retardantes de llama, drogas ilícitas, productos de higiene personal y productos para el tratamiento de aguas) y los efectos que pueden tener en la salud de los organismos vivos.

El conocimiento científico acerca de estos contaminantes, cómo y en qué se transforman, qué efecto tienen a corto y largo plazo, cómo se miden y monitorizan etc., es necesario para garantizar una calidad del medio ambiente sin efectos para la salud humana y los organismos.

6 Bibliografía

A.D, Nikolaou.; S.K, Golfopoulos.; T.D. Lekkas; et al. (2004). Factors Affecting the Formation of Organic By-Products During Water Chlorination: A Bench-Scale Study. *Water, Air, & Soil Pollution* 159, 357–371. <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000049189.61762.61>

D, Barceló.; M, López. (2012). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes.

C, García-Gómez.; P, Gortáres-Moroyoqui.; P, Droguí. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva*, 10:96-105.

Colborn, T.; (2002) Pesticides-how research has succeeded and failed to translate science into policy: endocrinological effects of wildlife. *Health Perspective*, 103:81-86.

D, Barceló.; M, López. (2007). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. En: Panel Científico- Técnico de seguimiento de la política de aguas. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC.

E, Moreno.; A, Núñez. (2012). Disruptores endocrinos, un posible riesgo tóxico en productos de consumo habitual. *Revista de la Universidad de Huelva*. <http://hdl.handle.net/10272/6143>

F, Ríos. (2014). Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales: biodegradabilidad, toxicidad y ozonización. Tesis Doctoral. Universidad de Granada Departamento de Ingeniería Química.

M.A, Sanz. (2017). Contaminantes emergentes y cadena alimentaria. Productos farmacéuticos, de cuidado personal y drogas de abuso. 2017. Colegio Oficial de Farmacéuticos de Zaragoza Z 1331-2017.

M.J, Gil.; A. M, Soto.; J.I, Usma.; O.D, Gutiérrez. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos *Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments Producción Limpia*, Vol.7, pp. 52-73

M, Nieuwenhuijsen.; J, Grellier.; R, Smith.; N, Iszatt.; J, Bennett.; N, Best. (2009). The epidemiology and possible mechanisms of disinfection by products in drinking water. *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 367, 4043-4076.