Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México. 7223898475
RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.
http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/
Año: XIII Número: 2 Artículo no.:75 Período: 1 de enero del 2026 al 30 de abril del 2026

TÍTULO: El ABC de los contaminantes emergentes en la salud humana; guía rápida de comprensión en el siglo XXI.

AUTORES:

1. Dr. Martin Pablo Antonio Moreno-Pérez.
2. Dra. Yazmín Castillo Sánchez.
3. Dra. Ninfa Ramírez Durán.
4. Dr. Miguel Ángel Karam Calderón.

RESUMEN Los contaminantes emergentes (CE) son sustancias químicas, sintéticas o biológicas entre las que se encuentran productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, hormonas, esteroides, pesticidas, retardantes de flama, surfactantes, aditivos de combustibles, nanomateriales y compuestos industriales. Los CE han llamado la atención en la comunidad científica porque se han detectado en múltiples ambientes, generando preocupación por su potencial peligro para los seres humanos y los ecosistemas, debido a la evidencia de sus efectos tóxicos. La remoción y eliminación de los CE no es fácil comparada con los contaminantes tradicionales y sobre esta esencia se desarrolla el presente trabajo.

PALABRAS CLAVES: contaminantes emergentes, tóxico, bioacumulación, ambiente, salud.

TITLE: The ABCs of emerging contaminants in human health; a quick understanding guide in the 21st century.

AUTHORS:

1. PhD. Martin Pablo Antonio Moreno-Pérez.
2. PhD. Yazmín Castillo Sánchez.

3. PhD. Ninfa Ramírez Durán.

4. PhD. Miguel Ángel Karam Calderón.

ABSTRACT: Emerging contaminants (ECs) are chemical, synthetic, or biological substances that include pharmaceuticals, personal care products, hormones, steroids, pesticides, flame retardants, surfactants, fuel additives, nanomaterials, and industrial compounds. ECs have garnered attention in the scientific community because they have been detected in multiple environments, raising concerns about their potential danger to humans and ecosystems due to evidence of their toxic effects. The removal and elimination of ECs is not as easy as that of traditional contaminants, and this work focuses on this fundamental challenge.

KEY WORDS: emerging contaminants, toxic, bioaccumulation, environment, health.

INTRODUCCIÓN.

De acuerdo con Wang et al. (2020), antes del periodo de la revolución industrial, los microorganismos considerados patógenos como virus, bacterias y hongos fueron la principal preocupación como contaminantes debido a que implicaban una amenaza real a los ecosistemas, y consecuentemente, a la salud humana. Una vez establecida formalmente, la revolución industrial generó cambios en los patrones tradicionales de contaminación, debido a la introducción de nuevos contaminantes en el ambiente, como productos químicos derivados de procesos industriales, metales pesados y partículas contaminantes.

Autores como Matlin et al. (2022) y Steffen et al. (2015) mencionan, que en esta nueva época geológica donde la actividad humana es la principal fuerza de cambio en el planeta Tierra (denominado "antropoceno"), ha alterado drásticamente el sistema debido a la producción y liberación de múltiples productos químicos peligrosos de origen geogénico, que son descargados de manera constante al medio ambiente a través de múltiples actividades del hombre, derivados de la industria de la construcción, la minería, la agricultura y la producción de energía (Naidu et al., 2021), pero ¿qué papel juega la sociedad?

Comentado [JC1]: Sugerencia de cambio por lo que esta en amarillo

Se debe considerar, que las tendencias sociales impactan en el futuro de los contaminantes emergentes debido al consumo y la emisión de sustancias específicas demandadas por el mercado. De acuerdo con Bunke et al. (2019), las implicaciones de la sociedad como estilo de vida y factores medioambientales están directamente relacionados con el consumo y la emisión de sustancias específicas, consecuentemente es importante y recomendable establecer un seguimiento cuidadoso de la evolución de la sociedad para desarrollar estrategias adecuadas e identificar medidas de mitigación política, sociales o incluso técnicas para reducir la presión química, referente a los contaminantes emergentes, sobre los ecosistemas.

DESARROLLO.

¿Qué son los contaminantes emergentes?

Los contaminantes emergentes (CE), también llamados contaminantes de preocupación emergente, son compuestos de origen antropogénico; estas substancias químicas o sintéticas e incluso agentes biológicos de origen natural han llamado la atención porque se ha detectado su presencia en diversos ambientes, lo que ha generado preocupación en la comunidad científica debido a que pueden ser potencialmente peligrosos para los seres humanos y los ecosistemas (Wang et al., 2024), aunque notoriamente no se encuentran del todo regulados (Stefanakis and Becker, 2020; Teodosiu et al., 2018; Geissen et al., 2015).

Clasificación de los contaminantes emergentes.

La clasificación de los CE incluye una gran variedad de químicos, tanto sintéticos como naturales y que son considerados como potencialmente peligrosos, aunque aún no se tenga el suficiente conocimiento de su impacto; entre los CE se encuentran disruptores endocrinos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, hormonas, esteroides, pesticidas, retardantes de flama, substancias perfluoroalquiladas como aditivos industriales, surfactantes, aditivos de combustibles, nanomateriales y compuestos Industriales (Stefanakis and Becker, 2020; Sophia and Lima, 2018). La presencia de CE se debe a varios factores, siendo sin duda el más importante el crecimiento poblacional y la creciente preocupación por la salud que ha generado una demanda de químicos para cubrir esta demanda.

Productos farmacéuticos y de cuidado personal.

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés de Environmental Protection Agency), los CE son de creciente preocupación; entre estos se incluyen productos farmacéuticos y de cuidado personal, ya que son detectados con mayor frecuencia en aguas superficiales a bajas concentraciones, y consecuentemente existe la preocupación de que estos compuestos puedan afectar la vida acuática (USEPA, 2025).

Los CE de origen farmacéutico y de cuidado personal son productos químicos o de origen natural usados o prescritos en la medicina y en el área veterinaria. El mercado mundial de la fabricación de productos farmacéuticos es significativo, tan solo en el año 2022 se estimó en 516 480 millones de dólares con una tendencia que sugiere que la tasa anual de crecimiento será de más del 7.5% entre los años 2023 y 2030 (Grand View Research, 2025). Actualmente se conocen aproximadamente 4000 compuestos de productos farmacéuticos formulados en miles de preparaciones comerciales (Daughton, 2013). Su uso es significativo; se estima que el consumo medio per cápita anual es de 15 gramos, incluso llegando a alcanzar valores de hasta 150 g en países desarrollados (Zhang et al., 2008).

Los CE de origen farmacéutico, ya sean naturales o sintéticos, han sido prescritos para uso humano y veterinario para prevenir y tratar enfermedades en animales y humanos (WHO, 2012; Nyagah et al., 2020), entre los que se encuentran diversos tipos de antidepresivos, antibióticos, estimulantes, esteroides, analgésicos y antidiabéticos, entre otros (Schwartz et al., 2021; Turcios et al., 2021). Aunque los productos farmacéuticos se encuentran regulados en su prescripción al paciente, la liberación de estos compuestos en el ambiente no está reguladas (Anchique et al., 2021); investigaciones realizadas por Vasilachi et al. (2021) estiman que tres cuartas partes de las emisiones de contaminación son descargadas en el ambiente sin un pretratamiento.

Generalmente, una vez que el fármaco se ingiere de manera oral e ingresa al cuerpo ya sea humano o animal, hasta el 90% del fármaco no se metaboliza completamente, dependiendo de las características del

fármaco, y la sustancia activa es excretada (O'Flynn et al., 2021; Nyagah et al., 2020). Aproximadamente el 70% a través de la orina y el 30% a través de las heces (Abdel-Shafy and Mohamed-Mansour, 2013; Hassan et al., 2019). Algunos ejemplos de compuestos no metabolizados y excretados de fármacos del grupo de los antibióticos son la Amoxicilina (60%) y Eritromicina (25%); del grupo de loa betabloqueadores el Atenolol (90%); antiepilépticos como la Carbamazepina (3%); analgésicos como el Ibuprofeno (10%), antiinflamatorio como el Diclofenaco (15%), antiepilépticos como el Felbamato (40 - 50%), antihistamínicos como la Cetirizina (50%) y reguladores de lípidos en la sangre como el Bezafibrato (50%) (DWI, 2007).

Los productos farmacéuticos y sus metabolitos relacionados se encuentran sujetos a procesos como dilución, degradación y sorción basados en las características de hidrosolubilidad y biodegradación en combinación con las condiciones específicas ambientales (Stefanakis and Becker, 2020). Los productos farmacéuticos son los más frecuentemente encontrados en aguas superficiales y subterráneas (Lapworth et al., 2012), como los fármacos antiinflamatorios Diclofenaco, Ibuprofeno y Ketoprofeno; los antibióticos Eritromicina, Lincomicina, Sulfametoxazol y Triclosán; los analgésicos Paracetamol, Fenazona, Propifenazona y ácido acetilsalicílico; así como fármacos diversos como Carbamazepina y Primidona. Aunque también se han encontrado drogas con aplicaciones no médicas como anfetaminas, cannabinoides, cocaína y heroína (Castiglioni et al., 2008). Paradójicamente, los dos compuestos más comúnmente encontrados derivados del estilo de vida son la cafeína y nicotina (Loos et al., 2010).

Productos de cuidado personal.

Respecto a los productos de cuidado personal mayormente detectados en agua se encuentran los filtros UV o protectores solares que incluyen la benzofenona y metoxicinamato de etilhexilo, el triclosán, que es un agente bactericida y fungicida utilizado en productos para el hogar como jabones y pastas de dientes, almizcles policíclicos como la galaxolida y el tonalide usados en fragancias, agentes limpiadores y ésteres de alquilo del ácido p-hidroxibenzoico, que se utiliza para inhibir el crecimiento de hongos y bacterias en

cosméticos, medicamentos y alimentos; así como en repelentes de insectos como el N,N-dietil-meta-toluamida que es el ingrediente activo más frecuente encontrado (Stefanakis and Becker, 2020).

Hormonas y esteroides.

Entre los CE que se incluyen en esta categoría se encuentran esteroides naturales como las hormonas sexuales androstenediona y la testosterona, estrógenos como la estrona, el estriol y la progesterona, así como la oxandrolona, nandrolona y el dietilestilbestrol utilizados como anticonceptivo (Stefanakis and Becker, 2020). Las hormonas y esteroides naturales y sintéticos han sido reportados como presentes en efluentes de aguas residuales (Lapworth et al., 2012).

Sustancias perfluoroalquiladas.

Las subtancias perfluoroalquiladas (PFAS, por sus siglas en inglés) son compuestos químicos de origen antropogénico, y son utilizados para la manufacturación de productos resistentes al calor, al agua, a la grasa, al aceite y a las manchas; se han fabricado y utilizado en industrias a nivel mundial desde el año 1940 (USEPA, 2025a; Stefanakis and Becker, 2020), que son reconocidas como sustancias tóxicas altamente persistentes en el medio ambiente y el cuerpo humano, no se degradan y pueden bioacumularse a través del tiempo (Nguyen et al., 2011).

Las PFAS pueden encontrarse en alimentos que han sido envasados en materiales que contiene PFAS, o bien procesados con equipo que utilizó PFAS, aunque también alimentos que han sido regados o cultivados con agua contaminada con PFAS; así como una gran variedad de productos domésticos utilizados día a día como productos de limpieza, pinturas, antiadherentes, teflón, telas repelentes de manchas y agua, ceras, espumas para combatir incendios; industrias y lugares de trabajo como fábricas o industrias de cromado, elaboración de productos electrónicos o recuperación de petróleo, así como también en caucho, plásticos, papel, envases, ropa, alfombras, cuero, textiles y revestimientos; también en agua potable frecuentemente asociadas a plantas de tratamiento de aguas residuales, y por supuesto, también en organismos vivos que

han bioacumulado PFAS, frecuentemente peces, animales y seres humanos (USEPA, 2025a). El impacto de los PFAS y sus efectos ecotoxicológicos aún no son claros (Clarke and Smith, 2011).

Nanomateriales.

De acuerdo con El-Kalliny et al. (2023), la nanotecnología es una de las áreas científicas que generan mayor pasión con una notoria evolución en la actualidad, la cual ha presentado nuevas oportunidades en las áreas de la alimentación, electrónica, medicina, química, energía e incluso el ejército, además de otros campos científicos (Souza et al., 2022; Saleh, 2020; Vlachogianni and Valavanidis, 2014).

Cuando se habla de nanomateriales, se hace referencia a materiales con escalas de 1-100nm, altamente conductivos, que poseen estabilidad térmica y baja permeabilidad (Stefanakis and Becker, 2020). Son utilizados en cosméticos para protección solar y en materiales para prótesis; su composición química puede incluir nanotubos, partículas de nano plata y nano oro y semiconductores, entre otros (Colvin, 2003).

De acuerdo con Wiesner et al. (2009), la información disponible sobre su posible toxicidad o los daños que pueden causar es aún limitada, considerando que estos materiales tienen una alta reactividad química y una alta actividad biológica, que pese a su tamaño, poseen una superficie activa relativamente grande, que podría penetrar en el cuerpo y las células con facilidad; sin embargo, los nanomateriales se consideran contaminantes ambientales emergentes. Los nanomateriales, como las nanopartículas, pueden llegar a alcanzar el interior celular, así como el citoplasma, las vesículas lipídicas, el núcleo o la membrana celular, y consecuentemente, pueden dañar el ADN (Singh et al., 2020; Cao et al., 2021). La exposición de los humanos a los nanomateriales puede ocurrir por inhalación**,** absorción cutánea, ingestión o inyección, siendo la inhalación la ruta de exposición humana más ampliamente reconocida, generalmente en las áreas de trabajo (USEPA, 2010).

Retardantes de flama.

Estos compuestos son muy abundantes, entre los que se encuentran los éteres de difenilo polibromados y el hexabromociclododecano (Salthammer, 2020), que se emplean con la finalidad de que en caso de que se

inicie el fuego, su combustión se ralentice; son bioacumulables y también se consideran disruptores endocrinos; se encuentran en muebles, poliuretano, poliestireno, espumas, plásticos, circuitos electrónicos, equipos eléctricos, entre otros materiales (Al-Omran and Harrad, 2017; Rahman et al., 2001).

En general, los retardantes de flama se adicionan a la manufacturación; eventualmente los retardantes de flama pueden transferirse al medio ambiente (Alaee et al, 2003). La evidencia de sus efectos adversos para la salud, su persistencia y su capacidad de bioacumulación han generado preocupación por la exposición humana (Noyes et al., 2010; Chevrier et al., 2010).

Pesticidas.

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), los Pesticidas son "*compuestos químicos utilizados para combatir pestes"* como las hierbas, los insectos, los roedores, los hongos, etc., para la USEPA, un pesticida es "*cualquier sustancia o mezcla de estas intencionadas para prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier peste*" (USEPA, 2025b); otra definición útil para pesticidas es "*sustancias químicas o biológicas o mezclas formuladas para prevenir, eliminar o controlar organismos peligrosos, "pestes" que comprometen la salud y bienestar de otros seres vivos* (European Commission, 2009).

Los pesticidas actualmente se utilizan en todo el mundo y se ha dado evidencia de persistencia en el ambiente, generalmente en regiones cercanas a una mayor actividad agrícola. Un ejemplo es la producción de arroz, que se ve afectada por ataques de hongos e insectos, y consecuentemente, se utilizan pesticidas para evitar pérdidas económicas; esto podría ocasionar que los pesticidas adicionados a los cultivos de arroz puedan bioacumularse en los tejidos de los peces (Rossi et al., 2020).

Compuestos Industriales.

Este tipo de compuestos son utilizados principalmente en los procesos industriales, que de acuerdo con la definición de Barro et al. (2009), los contaminantes industriales "*pueden considerarse, en sentido amplio, aquellos compuestos producidos, fabricados y emitidos por la industria, o que aparecen en el medio ambiente debido al desarrollo industrial"*. Son compuestos, que se utilizan ampliamente en la producción

de productos adhesivos, farmacéuticos, pesticidas, refrigerantes (Huang et al., 2014), y compuestos orgánicos volátiles, que son sustancias químicas como hidrocarburos no metánicos, orgánicos oxigenados, hidrocarburos halogenados y compuestos orgánicos que contienen nitrógeno y azufre que se encuentran en el aire y que han generado gran preocupación debido a su toxicidad y baja oxidación (Meng et al., 2024); como el tetracloruro de carbono que una vez liberado tiene un tiempo de vida de hasta 100 años y el 1,1,1-tricloroetano de hasta 6 años; este tiempo de vida hace que pueda transportarse durante largas distancias alcanzando múltiples ambientes (Huang et al., 2014).

Los compuestos industriales han dado evidencia de presentar riesgos significativos para la salud. Investigaciones realizadas por Zeng et al. (2013) encontraron que el aumento de los niveles de exposición a los trihalometanos (compuestos químicos volátiles que se generan durante el proceso de potabilización del agua) puede generar una disminución en la concentración total de esperma y la testosterona sérica.

Remoción o eliminación de contaminantes emergentes. ¿Qué tenemos que saber?

El planteamiento de remover o eliminar los CE surgió de la necesidad de disminuir estos compuestos, debido a la gran cantidad de compuestos xenobióticos liberados al ambiente. La remoción de los CE no es fácil y representa un gran reto comparada con los contaminantes tradicionales o convencionales. La remoción o eliminación de los CE se dificulta debido a que en su mayoría están compuestos de moléculas polares, que debido a factores medioambientales pueden influir en su estructura, forma y funcionalidad. En caso de que sean consumidos, absorbidos y posteriormente eliminados, pueden presentar cambios en su estructura química debido al proceso metabólico previo (Rivera-Utrilla et al., 2013).

De acuerdo con Liu et al. (2020), los procesos para la eliminación y remoción de los CE generalmente implican tratamientos biológicos como implementar compostaje a partir de estiércol animal, fitorremediación utilizando microalgas y biorreactores de membrana utilizando bacterias; en contraste con los fisicoquímicos y físicos como la oxidación electroquímica, utilización de ozono, fotólisis, fotocatálisis, adsorción de superficies minerales, intercambio iónico, utilización de substratos como zeolita y carbón,

ambas utilizadas como material de adsorción y la utilización de membranas para filtrar los contaminantes, entre otras; sin embargo, todos los tratamientos anteriormente mencionados no son infalibles y ven afectada su eficiencia por múltiples factores ambientales, físicos y químicos e incluso de costos (Tasca et al., 2019; Xing et al., 2019; Zhang et al., 2019; Zhen et al., 2019).

CONCLUSIONES.

Ante este panorama ¿Cuál es la perspectiva de los CE para el siglo XXI?, eventualmente la preocupación por los CE va a ir en aumento, y factores como el mercado y el crecimiento poblacional van a incrementar su uso y posterior liberación al ambiente, así como estudios científicos que aporten más información sobre el impacto que generan en el ambiente y la salud humana.

Consecuentemente, ¿Qué medidas se deben tomar respecto a los CE en México? De acuerdo con Daughton (2013), la prevención de la contaminación es el primer paso, y la prevención se debe plantear como un sistema único e integral donde se requiere la colaboración entre científicos ambientales y profesionales de la salud, agencias federales y estatales involucradas en la protección del medio ambiente, así como la administración de la atención médica y la regulación de la venta y eliminación de fármacos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Abdel-Shafy, H.I., Mohamed-Mansour, M.S. (2013). Issue of pharmaceutical compounds in water and wastewater: Sources, impact, and elimination. Egyptian Journal of Chemistry, 5, (5– 6): 449–471. https://doi.org/10.21608/ejchem.2013.1123
2. Alaee, M., Arias, P., Sjödin, A., Bergman, A. (2003). An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release. Environment International, 29(6):683-9. https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00121-1
3. Al-Omran, L.S., Harrad, S. (2017). Influence of sampling approach on concentrations of legacy and “novel” brominated flame retardants in indoor dust. Chemosphere, 178, Pages 51-58. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.096

4. Anchique, Leonardo; Alcázar, Jackson J.; Ramos-Hernandez, Andrea; Méndez-López, Maximiliano; Mora, José R.; Rangel, Norma; Paz, José Luis & Márquez, Edgar (2021). Predicting the Adsorption of Amoxicillin and Ibuprofen on Chitosan and Graphene Oxide Materials: A Density Functional Theory Study. Polymers, 13: 1620. https://doi.org/10.3390/polym13101620
5. Barro, R., Regueiro, J., Llompart, M., García-Jares, C. (2009). Analysis of industrial contaminants in indoor air: Part 1. Volatile organic compounds, carbonyl compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls, Journal of Chromatography A, 1216, Issue 3, Pages 540-566, ISSN 0021-9673, https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.10.117.
6. Bunke, D., Moritz, S., Brack, W. *et al.* (2019). Developments in society and implications for emerging pollutants in the aquatic environment. Environmental Sciences Europe, 31, 32. https://doi.org/10.1186/s12302-019-0213-1
7. Cao J, Zaremba OT, Lei Q, Ploetz E, Wuttke S, Zhu W. (2021). Artificial Bioaugmentation of Biomacromolecules and Living Organisms for Biomedical Applications. ACS Nano, 23;15(3):3900-3926. https://doi:10.1021/acsnano.0c10144
8. Castiglioni, S., Zuccato, E., Chiabrando, C., Fanelli, R., & Bagnati, R. (2008). Mass spectrometric analysis of illicit drugs in wastewater and surface water. Mass Spectrometry Reviews, 27(4), 378–394. https://doi.org/10.1002/mas.20168
9. Chevrier, J., Harley, K.G., Bradman, A., Gharbi, M., Sjödin, A., Eskenazi, B. (2010). Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants and thyroid hormone during pregnancy. Environmental Health Perspectives, 118(10):1444-9. https://doi:10.1289/ehp.1001905
10. Clarke, B.O., Smith, S.R. (2011). Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. Environment International, 37(1), 226–247. https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.06.004

11. Colvin, V.L. (2003). The potential environmental impact of engineering nanomaterials. Nature Biotechnology, 21(10), 1166–1170. https://doi.org/10.1038/nbt875
12. Daughton, C.G. (2013). Pharmaceuticals in the environment: sources and their management. In: Petrovic M, Perez S, Barcelo D, editors. Analysis, removal, effects and risk of pharmaceuticals in the water cycle — occurrence and transformation in the environment. Elsevier; p. 37–69. [chapter 2].
13. DWI (2007). Drinking Water Inspectorate. Desk based review of current knowledge on pharmaceuticals in drinking water and estimation of potential levels. Final report prepared by Watts and Crane Associates for Drinking Water Inspectorate, Department for Environment, Food and Rural Affairs. https://www.dwi.gov.uk/
14. El-Kalliny, A.S., Abdel-Wahed, M.S., El-Zahhar, A.A., Hamza, I.A., Gad-Allah, T.A. (2023). Nanomaterials: a review of emerging contaminants with potential health or environmental impact. Discover Nano, 21;18(1):68. https://doi:10.1186/s11671-023-03787-8
15. European Commission. Pesticides (2009). Food Safety. Pesticides. Disponible en: https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides_en
16. Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., van de Zee, M. 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, Volume 3, Issue 1, Pages 57-65, ISSN 2095-6339. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002.
17. Grand View Research (2025). Market Analysis Report. Pharmaceutical Manufacturing Market Size, Share & Trends Analysis Report By Route of Administration, By Molecule Type, By Drug Development Type, By Sales Channel, By Age Group, By Formulation, By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/pharmaceutical-manufacturing-market

18. Hassan, S.S.M., Abdel-Shafy, H.I., Mansour, M.S.S. (2019). Removal of pharmaceutical compounds from urine via chemical coagulation by green synthesized ZnO-nanoparticles followed by microfiltration for safe reuse, Arabian Journal of Chemistry, 12, Issue 8, Pages 4074-4083. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.04.009

19. Huang, B., Lei, C., Wei, C., Zeng, G. (2014). Chlorinated volatile organic compounds (Cl-VOCs) in environment—sources, potential human health impacts, and current remediation technologies. Environment international, 71, 118-138. https://doi: 10.1016/j.envint.2014.06.013

20. Lapworth, D.J., Baran, N., Stuart, M.E., Ward, R.S. (2012). Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. Environmental Pollution, 163, 287–303. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.034

21. Liu, B., Zhang, S.G., Chang, C.C. (2020). Emerging pollutants-Part II: Treatment. Water Environment Research, 91(10):1390-1401. https://doi:10.2175/106143013X13698672323308

22. Loos, R., Locoro, G., Comero, S., Contini, S., Schwesig, D., Werres, F., Balsaa, P., Gans, O., Weiss, S., Blaha, L., Bolchi, M., Gawlik, B.M. (2010). Pan-European survey on the occurrence of selected polar organic persistent pollutants in ground water. Water Research, 44(14):4115-26. https://doi: 10.1016/j.watres.2010.05.032.

23. Matlin, S.A., Cornell, S.E., Krief, A., et al. (2022). Chemistry must respond to the crisis of transgression of planetary boundaries. Chemical Science, 13: 11710–11720.

24. Meng, L., Gao, S., Zhang, S., Che, X., Jiao, Z., Ren, Y., Wang, C. (2024). Identification of atmospheric emerging contaminants from industrial emissions: A case study of halogenated hydrocarbons emitted by the pharmaceutical industry, Environment International, 192, 109027, ISSN 0160-4120, https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109027

25. Naidu, R., Biswas, B., Willett, I.R., et al. (2021). Chemical pollution: A growing peril and potential catastrophic risk to humanity. Environment International, 156: 106616.

26. Nguyen, V. T., Reinhard, M., Karina, G.Y.H. (2011). Occurrence and source characterization of perfluorochemicals in an urban watershed. Chemosphere, 82(9), 1277–1285. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.12.030

27. Noyes, P.D., Kelly, S.M., Mitchelmore, C.L., Stapleton, H.M. (2010). Characterizing the in vitro hepatic biotransformation of the flame retardant BDE 99 by common carp. Aquatic Toxicology, 15;97(2):142-50. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.12.013

28. Nyagah, M. N., Nyagah, D. M., Njagi, A. (2020). Pharmaceutical Waste: Overview, Management, and Impact of Improper Disposal. Preprints.

29. O'Flynn, D., Lawler, J., Yusuf, A., Parle-McDermott, A., Harold, D., McCloughlin, T., Holland, L., Regan, F., White, B. (2021). A review of pharmaceutical occurrence and pathways in the aquatic environment in the context of a changing climate and the COVID-19 pandemic. Analytical Methods, 7;13(5):575-594. https://doi:10.1039/d0ay02098b

30. OMS. Organización Mundial de la Salud. (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Plaguicidas uso [en línea]. Disponible en https://www.fao.org/faostat/es/#data/RP/visualize

31. Rahman, F., Langford, K.H., Scrimshaw, M. D., Lester, J.N. (2001). Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants. The Science of the Total Environment, 275(1-3), 1–17. https://doi:10.1016/S0048-9697(01)00852-X PMID:11482396

32. Rivera-Utrilla, J., Sánchez-Polo, M., Ferro-García, M.Á., Prados-Joya, G., Ocampo-Pérez, R. (2013). Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. Chemosphere, 93(7):1268-87. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.059

33. Rossi, A.S., Fantón, N., Michlig, M.P., Repetti, M.R., Cazenave, J. (2020). Fish inhabiting rice fields: Bioaccumulation, oxidative stress and neurotoxic effects after pesticides application, Ecological Indicators, 113, 106186. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106186

34. Saleh, T.A. (2020). Trends in the sample preparation and analysis of nanomaterials as environmental contaminants. Trends in Environmental Analytical Chemistry, 28: e00101. https://doi.org/10.1016/j.teac.2020.e00101

35. Salthammer, T. (2020). Emerging indoor pollutants. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 224, 113423. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113423

36. Schwartz, H., Marushka, L., Chan, H.M., Batal, M., Sadik, T., Ing, A., Fediuk, K., Tikhonov, C. (2021). Pharmaceuticals in source waters of 95 First Nations in Canada. Canadian Journal of Public Health, 112(Suppl 1):133-153. https://doi.org/10.17269/s41997-021-00499-3

37. Singh, A., Gautam , P.K., Verma, A., Singh, V., Shivapriya, P.M., Shivalkar, S., Sahoo, A.K., Samanta, S.K. (2020). Green synthesis of metallic nanoparticles as effective alternatives to treat antibiotics resistant bacterial infections: A review. Biotechnology Reports, 31;25:e00427. https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00427

38. Sophia, A.C., Lima, EC. (2018). Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. Ecotoxicology and Environmental Safety, 15;150:1-17. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.026

39. Souza, Reinaldo R.; Gonçalves, Inês M.; Rodrigues, Raquel O.; Minas, Graça; Miranda, J.M.; Moreira, António L.N.; Lima, Rui; Coutinho, Gonçalo; Pereira, J.E.; Moita, Ana S. (2022). Recent advances on the thermal properties and applications of nanofluids: from nanomedicine to renewable energies. Applied Thermal Engineering, 201:117725. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117725

40. Stefanakis, A.I., Becker, J.A. (2020). A Review of Emerging Contaminants in Water: Classification, Sources, and Potential Risks. In I. Management Association (Ed.), *Waste Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 177-202). IGI Global Scientific Publishing. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1210-4.ch008

41. Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science, 347: 1259855.

42. Tasca, A.L., Puccini, M., Clematis, D., Panizza, M. (2019). Electrochemical removal of Terbuthylazine:Boron-Doped Diamond anode coupled with solid polymer electrolyte. Environmental Pollution, 251:285-291. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.134

43. Teodosiu, C., Gilca, A.F., Barjoveanu, G., Fiore, S. (2018). Emerging pollutants removal through advanced drinking water treatment: A review on processes and environmental performances assessment. Journal of Cleaner Production, 197, Part 1, Pages 1210-1221, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.247

44. Turcios, A.E., Hielscher, M., Duarte, B., Fonseca, V.F., Caçador, I., Papenbrock, J. (2021). Screening of Emerging Pollutants (EPs) in Estuarine Water and Phytoremediation Capacity of *Tripolium pannonicum* under Controlled Conditions. International Journal of Environmental Research and Public Health, 22;18(3):943. https://doi.org/10.3390/ijerph18030943

45. USEPA (2025). Environmental Protection Agency. Contaminants of Emerging Concern including Pharmaceuticals and Personal Care Products. Disponible en: https://www.epa.gov/wqc/contaminants-emerging-concern-including-pharmaceuticals-and-personal-care-products

46. USEPA (2025a). Environmental Protection Agency. Información básica sobre PFAS. Disponible en: https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-pfas

47. USEPA (2010). Environmental Protection Agency. Contaminantes emergentes: nanomateriales. Disponible en: https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/documents/emerging_contaminants_nanomaterials.pdf

48. USEPA (2025b). Environmental Protection Agency. What is a Pesticide? [online] Disponible en: https://www.epa.gov/minimum-risk-pesticides/what-pesticide

49. Vasilachi, I.C., Asiminicesei, D.M., Fertu, D.I., Gavrilescu, M. (2021). Occurrence and Fate of Emerging Pollutants in Water Environment and Options for Their Removal. *Water*, *13*(2), 181. https://doi.org/10.3390/w13020181

50. Vlachogianni, T., Valavanidis, A. (2014). Nanomaterials: environmental pollution, ecological risks and adverse health effects. Nano Science and Nano Technology An Indian Journal, 8:208–226.

51. Wang, Z., Walker, G.W., Muir, D.C.G., et al. (2020). Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories. Environ. Sci. Technol. 54: 2575–2584.

52. Wang, Fang; Xiang, Leilei; Sze-Yin Leung, Kelvin; …, Wu, Fengchang; Yu, Gang; Tiedje, James M. (2024). Emerging contaminants: A One Health perspective. The Innovation, Volume 5, Issue 4, 100612, ISSN 2666-6758, https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100612

53. WHO (2012). World Health Organization. Pharmaceuticals in Drinking Water. https://www.who.int/publications/i/item/9789241502085

54. Wiesner, M.R., Lowry, G.V., Jones, K.L., Hochella, M.F. Jr, Di Giulio, R.T., Casman, E., Bernhardt, E.S. (2009). Decreasing uncertainties in assessing environmental exposure, risk, and ecological implications of nanomaterials. Environmental Science & Technology, 1;43(17):6458-62. https://doi.org/10.1021/es803621k

55. Xing, J., Liang, H., Xu, S., Chuah, C.J., Luo, X., Wang, T., Wang, J., Li, G., Snyder, S.A. (2019). Organic matter removal and membrane fouling mitigation during algae-rich surface water treatment by powdered activated carbon adsorption pretreatment: Enhanced by UV and UV/chlorine oxidation. Water Research, 1;159:283-293. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.017

56. Zeng, Q., Li, M., Xie, S.H., Gu, L J., Yue, J., Cao, W.C., Zheng, D., Liu, A.L., Li, Y.F., Lu, W.Q. (2013). Baseline blood trihalomethanes, semen parameters and serum total testosterone: a cross-sectional study in China. Environment international, *54*, 134-140. https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.01.016

57. Zhang, Peng; Tan, Xiaofei; Liu, Yunguo; Zeng, Guangming; Yin, Zhihong; Ye, Shujing; Zeng, Zhiwei (2019). Microwave-assisted chemical modification method for surface regulation of biochar and its application for estrogen removal. Process Safety and Environment Protection 128: 329–341. https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.06.009

58. Zhang, Y., Geißen, S.U., Gal, C. (2008). Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. Chemosphere, 73(8), 1151–1161. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.07.086

59. Zhen, Guangyin; Pan, Yang; Lu, Xueqin; Li, Yu-You; Zhang, Zhongyi; Niu, Chengxin; Kumar, Gopalakrishnan; Kobayashi, Takuro; Zhao, Youcai; Xu, Kaiqin (2019). Anaerobic membrane bioreactor towards biowaste biorefinery and chemical energy harvest: Recent progress, membrane fouling and future perspectives. Renewable Sustainable Energy Reviews, 115: 109392. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109392

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **Martín Pablo Antonio Moreno-Pérez.** Doctor en Ciencias Biologías (Biotecnología). Profesor-Investigador de tiempo completo, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Correo electrónico: saieto@hotmail.com Autor de correspondencia.
2. **Yazmín Castillo Sánchez.** Doctora en Ciencias Pedagógicas. Profesora-Investigadora de tiempo completo, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Correo electrónico: ycastillos@uaemex.mx
3. **Ninfa Ramírez Durán.** Doctora en Ciencias Biológicas. Profesora-Investigadora de tiempo completo, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Correo electrónico: nramirezd@uaemex.mx
4. **Miguel Ángel Karam Calderón.** Doctor en Ciencias Sociales. Profesor-Investigador de tiempo completo, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Correo electrónico: makaramc@uaemex.mx

RECIBIDO: 17 de octubre del 2025. **APROBADO:** 13 de noviembre del 2025.