

Recibido 7 de junio de 2024  
Aceptado 15 de julio de 2024  
www.unipaz.edu.co

## Contaminantes Emergentes en Salud Pública

### Emerging Pollutants in Public Health

Aura Mancipe<sup>a</sup>, Juan Ortega<sup>b</sup> y Natalia Santamaría<sup>†c</sup>

**Resumen:** Los contaminantes emergentes son sustancias químicas que se identifican y estudian debido a su presencia en el medio ambiente y su potencial impacto en la salud humana y en los ecosistemas. Estos compuestos incluyen productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, productos industriales, productos de limpieza, pesticidas y hormonas, entre otros. La preocupación por los contaminantes emergentes surge porque, a diferencia de los contaminantes tradicionales que han sido ampliamente regulados y controlados, estos compuestos han recibido menos atención y no están regulados de manera exhaustiva. Esto significa que pueden persistir en el medio ambiente y acumularse en el agua, el suelo y en organismos vivos, incluidos los humanos. Representan un desafío importante para la salud pública, dada su presencia en el entorno y su potencial impacto en la salud humana y en los ecosistemas.

**Palabras claves:** Contaminante, emergente, salud pública, control, medio ambiente.

**Abstract:** Emerging contaminants are chemical substances that are identified and studied due to their presence in the environment and their potential impact on human health and ecosystems. These compounds include pharmaceuticals, personal care products, industrial products, cleaning products, pesticides, and hormones, among others. Concern about emerging contaminants arises because, unlike traditional contaminants that have been widely regulated and controlled, these compounds have received less attention and are not exhaustively regulated. This means they can persist in the environment and accumulate in water, soil, and living organisms, including humans. They represent a significant challenge for public health, given their presence in the environment and their potential impact on human health and ecosystems.

**Key words:** Pollutant, emerging, public health, control, environment.

<sup>a</sup> Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ)  
<sup>b</sup> Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ)  
<sup>c</sup> Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ),  
<sup>†</sup>natalia.santamaria@unipaz.edu.co

## INTRODUCCIÓN

Los contaminantes emergentes (CE) son un grupo de sustancias químicas que han cobrado relevancia en el ámbito ambiental y de la salud pública debido a su creciente presencia en diversos compartimentos ambientales y su potencial para causar efectos adversos. Estos contaminantes, que incluyen productos farmacéuticos, hormonas, productos de cuidado personal y otros compuestos orgánicos, no están regulados en muchos contextos, lo que plantea serios desafíos para su

monitoreo y gestión (Hernández-Quiróz et al., 2019; Gerbaldo et al., 2020; Flórez et al., 2021, Sanabria, 2023). La falta de regulación se debe en parte a que muchos de estos compuestos no eran reconocidos previamente como contaminantes, a pesar de que su presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva (Hernández-Quiróz et al., 2019). La identificación y caracterización de los CE es fundamental para entender su impacto en los ecosistemas y la salud humana. Investigaciones recientes han demostrado que estos contaminantes pueden encontrarse en

concentraciones que varían desde nanogramos por litro (ng/L) hasta miligramos por litro (mg/L) en aguas residuales (Mojarro et al., 2021; Méndez & Barillas, 2017). Esto es preocupante, ya que incluso a bajas concentraciones, muchos CE han mostrado efectos fisiológicos adversos en organismos acuáticos y en la salud humana (Artos et al., 2021; Zacarías et al., 2017). Por ejemplo, los productos farmacéuticos, que constituyen una parte significativa de los CE, pueden inducir efectos hormonales disruptivos y contribuir a la resistencia a antibióticos en microorganismos (Cordeiro et al., 2020; Cartaxo et al., 2020).

La presencia de CE en cuerpos de agua, suelos y aire es un fenómeno global que ha sido documentado en diversas regiones del mundo. En América Latina, se han realizado estudios que revelan la contaminación de aguas superficiales y residuales con productos farmacéuticos y otros compuestos químicos (Flórez et al., 2021; Rangel et al., 2019). En Colombia, por ejemplo, se ha encontrado una variedad de productos farmacéuticos en aguas de consumo humano y residuales, lo que resalta la necesidad de implementar tecnologías de tratamiento efectivo para su remoción (Flórez et al., 2021; Rangel et al., 2019). La investigación sobre CE también ha llevado a la identificación de nuevas tecnologías de tratamiento, como el uso de microalgas y nanomateriales para la adsorción de estos contaminantes (Herrera et al., 2020; Correa et al., 2022).

La preocupación por los CE no solo se limita a su presencia en el medio ambiente, sino que también se extiende a sus efectos sobre la salud humana. Estudios han demostrado que la exposición a estos contaminantes puede estar asociada con una variedad de problemas de salud, incluyendo trastornos endocrinos y efectos carcinogénicos (Sanabria, 2023; Franco -Zambrano et al., 2022). La investigación sobre los efectos de los CE es aún incipiente, y se requiere un enfoque multidisciplinario para abordar los riesgos que estos contaminantes representan. Esto incluye la necesidad de desarrollar métodos analíticos más

sensibles para detectar y cuantificar CE en el medio ambiente (Pionce-Acosta, 2023; Jacobo-Marín & León, 2021). Además, la regulación de los CE es un tema de debate en muchos países. La falta de legislación específica para estos contaminantes significa que a menudo no se les presta la atención adecuada en los programas de monitoreo ambiental (Cordeiro et al., 2020; Casso -Gaspar et al., 2022). Sin embargo, a medida que aumenta la evidencia sobre sus efectos adversos, se hace evidente la necesidad de establecer regulaciones que aborden la gestión de estos contaminantes y protejan tanto el medio ambiente como la salud pública (Casso-Gaspar et al., 2022; Álvarez-Gómez, 2023).

La implementación de un enfoque precautorio en la regulación de CE podría ser un paso importante hacia la mitigación de sus impactos (Casso-Gaspar et al., 2022). La investigación sobre los CE también ha revelado la complejidad de su comportamiento en el medio ambiente. Muchos de estos compuestos son altamente persistentes y pueden bioacumularse en organismos, lo que plantea riesgos adicionales para la cadena alimentaria y la salud humana (Álvarez-Gómez, 2023; Cordeiro et al., 2020). Por lo tanto, es crucial continuar investigando la presencia de estos contaminantes y su comportamiento, su toxicidad y las posibles soluciones para su remoción y control (Sanabria, 2023; Franco -Zambrano et al., 2022).

Los contaminantes emergentes representan un desafío significativo para la salud pública y el medio ambiente. Su creciente presencia en diversos compartimentos ambientales, combinada con la falta de regulación y la necesidad de métodos de tratamiento efectivos, subraya la importancia de la investigación continua en este campo. La colaboración entre científicos, reguladores y la comunidad es esencial para abordar los riesgos asociados con los CE y desarrollar estrategias efectivas para su gestión y mitigación (Hernández-Quiróz et al., 2019; Flórez et al., 2021; Sanabria, 2023).

La problemática de los contaminantes emergentes (CE) se ha intensificado en las últimas décadas, ya que su presencia en el medio ambiente no solo afecta la calidad del agua, sino que también plantea serios riesgos para la salud humana y la seguridad alimentaria. Estos compuestos, que incluyen productos farmacéuticos, hormonas y otros químicos industriales, no requieren estar presentes de manera constante en el ambiente para causar efectos negativos, dado que su alta tasa de transformación y remoción puede ser compensada por su introducción continua en el medio (Safwat et al., 2020; Ma, 2012). Esto significa que, aunque se implementen medidas de control, la persistencia de estos contaminantes en el ciclo del agua y su constante liberación a través de actividades humanas dificultan su erradicación efectiva (Khedkar & Ingole, 2017).

La contaminación de fuentes de agua potable es una de las preocupaciones más apremiantes asociadas con los CE. Estos contaminantes pueden infiltrarse en los acuíferos y cuerpos de agua superficiales, afectando no solo el suministro de agua potable, sino también los cultivos agrícolas irrigados con agua contaminada (Naeem, 2023; Nwokediegwu, 2024). La exposición a estos compuestos a través de la ingesta de alimentos y agua puede resultar en efectos adversos para la salud, incluyendo trastornos hormonales y otros problemas de salud a largo plazo (Dai et al., 2017). Además, los organismos acuáticos, como los peces, pueden acumular estos contaminantes en sus tejidos, lo que representa un riesgo adicional para los humanos que consumen estos productos del mar (Hyland et al., 2015). Los estudios han demostrado que los CE pueden bioacumularse en las cadenas tróficas, afectando a los organismos que los absorben directamente y a los depredadores en la parte superior de la cadena alimentaria, incluidos los humanos (Blaine et al., 2013). La investigación ha indicado que los ácidos perfluoroalquílicos (PFAA) pueden ser absorbidos por cultivos como lechugas y fresas irrigadas con agua reciclada, lo que plantea preocupaciones sobre la seguridad alimentaria (Blaine et al., 2014).

Este fenómeno de bioacumulación resalta la necesidad de una vigilancia continua y de estrategias efectivas para la gestión de estos contaminantes en el medio ambiente (Bayabil et al., 2022). La gestión de los CE en el agua potable y en la agricultura requiere un enfoque multifacético que incluya la implementación de tecnologías de tratamiento adecuadas y la regulación de su uso en la industria y la agricultura (Alqadami et al., 2016). Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, a menudo no eliminan completamente estos contaminantes, lo que permite que regresen al ciclo del agua y se introduzcan nuevamente en el medio ambiente (Khedkar & Ingole, 2017). Por lo tanto, es crucial desarrollar métodos de monitoreo más efectivos y tecnologías de eliminación que puedan abordar la complejidad de estos contaminantes emergentes (Capodaglio, 2018).

A través de esta revisión, se busca recopilar y analizar la investigación científica más reciente relacionada con los contaminantes emergentes, incluyendo estudios de laboratorio, investigaciones epidemiológicas y revisiones de expertos. Se pretende identificar los compuestos químicos y biológicos que están siendo reconocidos como contaminantes emergentes, así como comprender sus fuentes de emisión, rutas de exposición y posibles efectos adversos al examinar los métodos de detección utilizados. Se buscará evaluar la eficacia de estas técnicas y su aplicabilidad en la detección temprana y la gestión de riesgos asociados con estos contaminantes.

## MÉTODOS

Este estudio se enmarca en una revisión bibliográfica de carácter descriptivo. Este tipo de investigación consiste en la recopilación, análisis y síntesis de la información disponible en diversas fuentes bibliográficas sobre un tema específico. En este caso, el foco está puesto en los contaminantes emergentes en Colombia.

La revisión se llevó a cabo siguiendo una metodología estructurada que incluyó la selección de bases de datos clave, como Dialnet, Scielo, Google Scholar, EBSCO, Redalyc y Elsevier, en las que se realizaron búsquedas sistemáticas utilizando los términos clave "Contaminantes emergentes en Colombia". Los resultados obtenidos fueron filtrados de acuerdo con criterios específicos, como año de publicación, idioma, localización geográfica y tipo de documento. Posteriormente, se revisaron cuidadosamente los títulos y resúmenes de los documentos encontrados para determinar su relevancia con respecto a los objetivos y alcance de la investigación, seleccionando aquellos que cumplieron con estos criterios.

A continuación, se llevó a cabo un análisis crítico de los documentos seleccionados, extrayendo información relevante sobre los contaminantes emergentes, sus fuentes, impactos ambientales y medidas de mitigación.

Finalmente, el equipo de investigadores sintetizó la información recopilada y redactó el presente artículo. Las referencias bibliográficas se incluyen al final del documento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio de los contaminantes emergentes ha cobrado relevancia desde finales del siglo XX y principios del XXI, a medida que se han descubierto nuevas sustancias químicas en el medio ambiente y se ha comprendido mejor su impacto en la salud humana y el ecosistema. Kolodziej (2019) identifica y caracteriza una amplia gama de contaminantes emergentes, que incluyen productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, hormonas y productos químicos industriales. Este autor también analiza el comportamiento y el destino de estos contaminantes en diferentes sistemas ambientales, como cuerpos de agua superficiales, suelos, sedimentos y sistemas de tratamiento de aguas residuales (Rubio-Clemente et al., 2013).

En las décadas de 1960 y 1970, se identificaron compuestos químicos como los pesticidas organoclorados y los productos químicos perfluorados, que demostraron ser persistentes en el medio ambiente y capaces de bioacumularse en organismos vivos. Aunque estos contaminantes no se consideraron "emergentes" en ese momento, sentaron las bases para la comprensión de los riesgos asociados con sustancias químicas no degradables (Mojarro et al., 2021). La preocupación por estos contaminantes ha llevado a un mayor interés en la investigación sobre su comportamiento y efectos en el medio ambiente. A partir de la década de 1980, el desarrollo de tecnologías analíticas más sensibles, como la cromatografía de alta resolución y la espectrometría de masas, permitió la detección y cuantificación de una amplia gama de compuestos químicos en el medio ambiente. Esto facilitó la identificación de nuevos contaminantes y reveló que muchos de ellos no estaban adecuadamente monitoreados. Con el tiempo, se observará un aumento en el uso de productos químicos de consumo, como farmacéuticos y productos de cuidado personal, lo que generó preocupaciones sobre su posible impacto en la salud humana y el medio ambiente (Rubio-Clemente et al., 2013).

En 2016, la Red de laboratorios de referencia, centros de investigación y organizaciones relacionadas para el monitoreo de sustancias ambientales emergentes de la Comisión Europea (NORMAN) desarrollaron 1036 sustancias como contaminantes emergentes, distribuidas en diferentes clasificaciones. Entre estas se encuentran fármacos, sustancias perfluoroalquiladas, subproductos de desinfección, plaguicidas, productos de cuidado personal, antiespumantes, retardantes de llama, nanopartículas, anticorrosivos y plastificantes (Flórez et al., 2021). Posteriormente, el estudio del ciclo del plástico en el medio ambiente llevó a la inclusión de los microplásticos como parte de los contaminantes emergentes, destacando su creciente preocupación debido a su persistencia y efectos adversos en los ecosistemas (López-

Marcano, 2023). La investigación sobre contaminantes emergentes es crucial para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y regulación. La identificación de fuentes, la evaluación de riesgos y la implementación de tecnologías de tratamiento son esenciales para abordar los desafíos que presentan estos contaminantes en el medio ambiente y la salud pública (Cartaxo et al., 2020).

En Colombia, los contaminantes emergentes no han sido objeto de un estudio exhaustivo, en parte debido a la existencia de otras problemáticas más apremiantes y al escaso interés del gobierno en abordar esta creciente preocupación. Aunque la Resolución 2115 de 2007 regula la presencia de pesticidas en el agua, otros compuestos no están sujetos a regulación. En contraste, la normativa "REACH" (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas) de la Unión Europea ha incluido más de cien mil compuestos bajo el principio de precaución. En Colombia, no existe una normativa específica relacionada con el control de estos contaminantes.

Los estudios realizados en Colombia sobre contaminantes emergentes han identificado diversas sustancias en cuerpos de agua, predominando en aguas residuales y afluentes utilizados para el consumo humano. Entre los contaminantes encontrados se incluyen:

- **Farmacéuticos y Cuidado Personal.** Los productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP) son frecuentemente detectados en aguas residuales y cuerpos de agua, con compuestos como el triclosán y el metilparabeno en concentraciones significativas. Se ha documentado su presencia en aguas superficiales y subterráneas, generando preocupación por su persistencia y efectos en la salud humana y el medio ambiente (Flórez et al., 2021).

- **Plaguicidas.** La presencia de plaguicidas en ecosistemas de agua dulce indica un posible impacto en la biota del ecosistema. Se han encontrado compuestos como el ciproconazol en cuerpos de agua, lo que requiere estudios ecotoxicológicos para evaluar su efecto en la fauna acuática (Pinto & Villarreal, 2020).

- **Productos Industriales y Domésticos.** Esta categoría incluye tensoactivos, aditivos y disolventes que se encuentran en aguas residuales y que no son adecuadamente regulados. Estos compuestos pueden afectar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas (Sanabria, 2023).

- **Tensoactivos, Aditivos y Disolventes.** Estos compuestos son utilizados en productos de limpieza y cuidado personal, y su presencia en el agua puede afectar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas (Gerbardo et al., 2020).

- **Hidrocarburos Aromáticos.** Se han identificado hidrocarburos aromáticos en cuerpos de agua, provenientes de actividades industriales y urbanas. Estos compuestos son persistentes y pueden tener efectos tóxicos en organismos acuáticos (Zacarías et al., 2017).

- **Metales.** Los metales pesados son contaminantes emergentes que se encuentran en cuerpos de agua, a menudo como resultado de actividades mineras y urbanas. Estos metales pueden bioacumularse en organismos y causar efectos adversos en la salud (Sanabria, 2023).

- **Drogas Ilícitas.** La presencia de drogas ilícitas en cuerpos de agua ha sido documentada, lo que plantea preocupaciones sobre su impacto en la salud pública y el medio ambiente (Pérez et al., 2021).

- **Microplásticos.** Los microplásticos se han identificado como contaminantes emergentes en

cuerpos de agua, provenientes de la degradación de plásticos y productos de consumo. Su presencia plantea riesgos para la vida acuática y la salud humana (Chamero et al., 2020).

Los estudios sobre contaminantes emergentes en Colombia se ven influenciados por los métodos analíticos utilizados para su detección. Las técnicas más predominantes son la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), sin embargo, también se utilizan técnicas más avanzadas como la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), la cromatografía líquida de ultra alto rendimiento-espectrometría de masas en tándem (UHPLC-MS/MS) y la cromatografía líquida de ultra alto rendimiento con arreglo de diodos y detector de fluorescencia (UHPLC-DAD-FLD), las cuales permiten el análisis de estos compuestos hasta niveles traza.

La recolección de muestras, especialmente de sedimentos costeros, es esencial para evaluar la acumulación de contaminantes emergentes en ecosistemas acuáticos y entender su impacto ambiental. Diversos estudios realizados en Colombia han identificado la presencia de estos compuestos en aguas superficiales, lo que genera creciente preocupación sobre la calidad del agua y los riesgos asociados a la exposición de la población.

A continuación, se profundizará en los hallazgos de estos estudios y se discutirá la necesidad de implementar medidas efectivas para el control y tratamiento de los contaminantes emergentes en el país.

- Estudios de Cromatografía. Los estudios sobre contaminantes emergentes en Colombia se ven influenciados por los métodos analíticos utilizados para su detección. Las técnicas más predominantes son la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Sin

embargo, existen técnicas más avanzadas, como la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), la cromatografía líquida de ultra alto rendimiento-espectrometría de masas en tándem (UHPLC-MS/MS) y la cromatografía líquida de ultra alto rendimiento con arreglo de diodos y detector de fluorescencia (UHPLC-DAD-FLD), que permiten el análisis de estos compuestos hasta niveles traza (Goodpaster et al., 2011).

- Cromatografía de Gases (GC). La cromatografía de gases es una técnica efectiva para la separación y análisis de compuestos volátiles, siendo utilizada en la detección de contaminantes emergentes en muestras ambientales (Mirasole et al., 2016).

- Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). La HPLC es ampliamente utilizada para el análisis de contaminantes en aguas, permitiendo la separación y cuantificación de compuestos en niveles muy bajos (Haneef et al., 2013).

- Cromatografía Líquida Acoplada a Espectrometría de Masas (LC-MS). Esta técnica combina la separación de compuestos con la detección altamente sensible de espectrometría de masas, siendo fundamental para la identificación de contaminantes emergentes en matrices complejas (Wang et al., 2013).

- Cromatografía Líquida de Ultra Alto Rendimiento-Espectrometría de Masas en Tándem (UHPLC-MS/MS).

La UHPLC-MS/MS ofrece una sensibilidad y selectividad excepcionales, permitiendo la detección de contaminantes en niveles traza, lo que es crucial para el monitoreo ambiental (Gosetti et al., 2015).

- Cromatografía Líquida de Ultra Alto Rendimiento con Arreglo de Diodos y Detector de Fluorescencia (UHPLC-DAD-FLD). Esta técnica se utiliza para el

análisis de compuestos que presentan fluorescencia, proporcionando información adicional sobre la naturaleza de los contaminantes (Wang et al., 2022).

- **Colecta de Sedimentos Costeros.** La recolección de sedimentos costeros es esencial para evaluar la acumulación de contaminantes emergentes en ecosistemas acuáticos, permitiendo un análisis más completo de su impacto ambiental.

Los estudios realizados en Colombia han identificado la presencia de contaminantes emergentes (CE) en aguas superficiales, particularmente en ciudades como Cali y Bogotá (Madera-Parra et al., 2018). Un estudio reciente en el departamento de Córdoba reportó la detección de compuestos como naproxeno, ibuprofeno, gemfibrozilo, cafeína y triclosán en muestras de agua de consumo humano, residual y superficial (Flórez et al., 2021). Estos hallazgos resaltan la creciente preocupación sobre la calidad del agua y los riesgos asociados a la exposición a estos contaminantes, que pueden tener efectos adversos en la salud pública y el medio ambiente (Sanabria, 2023; Artos et al., 2021).

La recolección de muestras se llevó a cabo siguiendo protocolos rigurosos, donde se utilizó un sistema de almacenamiento a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , seguido de liofilización y homogeneización mediante un tamiz de malla 200 (Peña-Álvarez & Castillo-Alanís, 2015). La extracción de los compuestos objetivo de las muestras de sedimentos se realizó mediante extracción líquida presurizada (PLE) utilizando un extractor de solventes acelerado, lo que permite una purificación eficiente de los extractos (Peña-Álvarez & Castillo-Alanís, 2015). Este enfoque metodológico es fundamental para asegurar la calidad y precisión en la detección de CE en muestras de agua (Peña-Álvarez & Castillo-Alanís, 2015).

La recolección de muestras se realizó entre agosto y octubre de 2019, utilizando botellas de vidrio ámbar de 1L, que fueron transportadas en

condiciones de cadena de frío hasta el laboratorio para su análisis (Peña-Álvarez & Castillo-Alanís, 2015). Sin embargo, se ha evidenciado que las plantas de tratamiento de agua en Colombia son ineficaces para eliminar estos contaminantes, resultando en una degradación mínima de los mismos (Sanabria, 2023; Artos et al., 2021). Esto plantea serias preocupaciones sobre la salud pública, ya que la exposición a estos compuestos puede estar relacionada con efectos adversos, incluyendo problemas endocrinos y toxicidad (Sanabria, 2023; Artos et al., 2021).

La literatura también sugiere la necesidad de implementar tratamientos alternativos para la degradación de estos compuestos, con el fin de minimizar su impacto en la salud humana y el medio ambiente (Sanabria, 2023; Herrera et al., 2020). La investigación en tecnologías innovadoras y enfoques de gestión ambiental es crucial para abordar la problemática de los CE en el agua y garantizar la seguridad del suministro de agua potable en Colombia (Sanabria, 2023; Herrera et al., 2020).

## CONCLUSIONES

En Colombia, la regulación y el monitoreo de los contaminantes emergentes aún se encuentran en desarrollo, lo que significa que muchos de estos compuestos pueden pasar desapercibidos y no ser controlados adecuadamente. Algunos contaminantes emergentes son altamente persistentes en el medio ambiente y pueden bioacumularse a lo largo de la cadena alimentaria, lo que aumenta su potencial impacto en la salud humana y ambiental a largo plazo.

Dada la naturaleza dinámica de los contaminantes emergentes y su potencial para causar daños irreversibles, es crucial implementar medidas preventivas para controlar su liberación al medio ambiente. Esto implica desarrollar tecnologías de tratamiento avanzadas y promover prácticas agrícolas y de gestión de residuos más sostenibles.

La investigación científica requiere tiempo, financiamiento y adecuación de recursos, y dado los numerosos problemas ambientales y de salud pública que enfrenta el mundo, los recursos disponibles pueden no ser suficientes para abordar los contaminantes emergentes con la misma prioridad que otros contaminantes bien conocidos y regulados, como los contaminantes orgánicos persistentes (COPs) y los metales pesados.

Controlar los contaminantes emergentes es esencial para proteger la salud pública, preservar la biodiversidad y garantizar la sostenibilidad ambiental a largo plazo. Esto requiere una combinación de regulaciones más estrictas, monitoreo efectivo, investigación científica continua y cooperación internacional.

## REFERENCIAS

- Alqadami, A., Naushad, M., Abdalla, M., Khan, M., & AlOthman, Z. (2016). Adsorptive removal of toxic dye using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-tsc nanocomposite: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 61(11), 3806-3813. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.6b00446>
- Álvarez-Gómez, Y. (2023). Avaliação do uso da radiação uv e ozônio na degradação do metilparabeno. *Revista De Ciencias Ambientales*, 57(2), 1-17. <https://doi.org/10.15359/rca.57-2.7>
- Artos, M., Sosa, D., Ruíz-Barzola, O., & Barcos-Arias, M. (2021). Presencia de productos farmacéuticos en el agua y su impacto en el ambiente. *Bionatura*, 6(1), 1618-1627. <https://doi.org/10.21931/rb/2021.06.01.27>
- Bayabil, H., Teshome, F., & Li, Y. (2022). Emerging contaminants in soil and water. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.873499>
- Blaine, A., Rich, C., Hundal, L., Lau, C., Mills, M., Harris, K., ... & Higgins, C. (2013). Uptake of perfluoroalkyl acids into edible crops via land applied biosolids: field and greenhouse studies. *Environmental Science & Technology*, 47(24), 14062-14069. <https://doi.org/10.1021/es403094q>
- Blaine, A., Rich, C., Sedlako, E., Hyland, K., Stushnoff, C., Dickenson, E., ... & Higgins, C. (2014). Perfluoroalkyl acid uptake in lettuce (*Lactuca sativa*) and strawberry (*Fragaria ananassa*) irrigated with reclaimed water. *Environmental Science & Technology*, 48(24), 14361-14368. <https://doi.org/10.1021/es504150h>
- Capodaglio, A. (2018). Could eb irradiation be the simplest solution for removing emerging contaminants from water and wastewater?. *Water Practice & Technology*, 13(1), 172-183. <https://doi.org/10.2166/wpt.2018.027>
- Cartaxo, A., Albuquerque, M., Silva, M., Rodrigues, R., Ramos, R., Sátiro, J., ... & Leite, V. (2020). Contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento. *Brazilian Journal of Development*, 6(8), 61814-61827. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-559>
- Casso-Gaspar, J., Acevedo-Sandoval, O., & Martínez-Hernández, S. (2022). Contaminación del suelo por microplásticos: panorama actual. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del Icbi*, 10(19), 55-60. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.9188>
- Cordeiro, L., Filho, N., Valderrama, L., Leite, O., Miskalo, B., & Consolin, M. (2020). Análise de hormônios em águas residuárias e naturais, derivada da extração com ponteiras descartáveis e detecção por hplc-fl. *Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais*, 12(1), 520-530. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.001.0042>
- Correa, H., Fernández, M., & Montes, M. (2022). Síntesis de un material esférico híbrido entre una organoarcilla y alginato para la adsorción de omeprazol. *Ajea*, (15). <https://doi.org/10.33414/ajea.1095.2022>
- Dai, D., Raskin, L., & Xi, C. (2017). The effect of interactions between a bacterial strain isolated from drinking water and a pathogen surrogate on biofilms formation diverged under static flow

- conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 123(6), 1614-1627. <https://doi.org/10.1111/jam.13596>
- Flórez, J., Méndez, D., Núñez, S., Enamorado-Montes, G., & Negrete, J. (2021). Productos farmacéuticos y de cuidado personal presentes en aguas superficiales, de consumo humano y residuales en el departamento de córdoba, colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 12(2), 179-197. <https://doi.org/10.22490/21456453.4231>
- Franco-Zambrano, B., Sánchez, L., & Ruiz-Reyes, E. (2022). Determinación simultánea de antiinflamatorios no esteroideos en agua para consumo humano mediante hplc-dad. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 6(10 Edición especial febrero), 15-30. <https://doi.org/10.46296/yc.v6i10edespfeb.0151>
- Gerbaldo, M., Crivello, M., Mendieta, S., & Elías, V. (2020). Estudio de la actividad catalítica de la ferrita de cobalto en la degradación de diclofenac sódico. *Ajea*, (5). <https://doi.org/10.33414/ajea.5.728.2020>
- Goodpaster, A., Ramadas, E., & Kennedy, M. (2011). Potential effect of diaper and cotton ball contamination on nmr- and lc/ms-based metabonomics studies of urine from newborn babies. *Analytical Chemistry*, 83(3), 896-902. <https://doi.org/10.1021/ac102572b>
- Gosetti, F., Mazzucco, E., Gennaro, M., & Marengo, E. (2015). Contaminants in water: non-target uhplc/ms analysis. *Environmental Chemistry Letters*, 14(1), 51-65. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0527-1>
- Haneef, J., Shaharyar, M., Husain, A., Rashid, M., Mishra, R., Siddique, N., ... & Pal, M. (2013). Analytical methods for the detection of undeclared synthetic drugs in traditional herbal medicines as adulterants. *Drug Testing and Analysis*, 5(8), 607-613. <https://doi.org/10.1002/dta.1482>
- Hernández-Quiróz, M., Ruiz-Meza, D., Rojo-Callejas, F., & León-Hill, C. (2019). Determinación de la distribución de contaminantes emergentes en agua intersticial en sedimentos de humedal mediante la optimización y validación de un método analítico. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 35(2), 407-419. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.12>
- Herrera, J., Granados, M., & Rubio, D. (2020). Breve revisión del uso de microalgas para la remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales. *Gestión Y Ambiente*, 23(1). <https://doi.org/10.15446/ga.v23n1.84034>
- Hyland, K., Blaine, A., & Higgins, C. (2015). Accumulation of contaminants of emerging concern in food crops—part 2: plant distribution. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(10), 2222-2230. <https://doi.org/10.1002/etc.3068>
- Jacobo-Marín, D. and León, G. (2021). Contaminantes emergentes en el agua: regulación en méxico, principio precautorio y perspectiva comparada. *Revista De Derecho Ambiental*, 15, 51. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2021.57414>
- Khedkar, S. and Ingole, N. (2017). Control of emerging contaminants in drinking water by using suitable methods. *losr Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology*, 11(06), 66-71. <https://doi.org/10.9790/2402-1106026671>
- Ma, Y. (2012). Assessment and removal of emerging water contaminants. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 02(07). <https://doi.org/10.4172/2161-0525.s2-003>
- Madera-Parra, C., Jiménez-Bambague, E., Toro-Vélez, A., Lara-Borrero, J., Bedoya-Ríos, D., & Duque-Pardo, V. (2018). Estudio exploratorio de la presencia de microcontaminantes en el ciclo urbano del agua en colombia: caso de estudio santiago de cali. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 34(3), 475-487. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.03.10>
- Méndez, C. and Barillas, S. (2017). Determinación preliminar de triclosán por espectroscopia uv-vis en aguas residuales de la ciudad de guatemala. *Ciencia Tecnológica Y Salud*, 4(1), 87-130. <https://doi.org/10.36829/63cts.v4i1.168>
- Mirasole, C., Carro, M., Tanwar, S., & Magi, E. (2016). Liquid chromatography–tandem mass

- spectrometry and passive sampling: powerful tools for the determination of emerging pollutants in water for human consumption. *Biological Mass Spectrometry*, 51(9), 814-820. <https://doi.org/10.1002/jms.3813>
- Mojarro, J., Picazo, F., Ramirez, M., López, K., & Navarrete, B. (2021). Degradación fotocatalítica de tetraciclina-antibiótico bajo irradiación de luz ultravioleta mediante nanoarquitectura jerárquica de tio2 soportada. *Revista De Ciencias Tecnológicas*, 4(4), 274-286. <https://doi.org/10.37636/recit.v44274286>
- Naeem, M. (2023). Editorial: emerging contaminants and their effect on agricultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1296252>
- Nwokediegwu, Z. (2024). Review of emerging contaminants in water: usa and african perspectives. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 350-360. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.11.1.0073>
- Peña-Álvarez, A. and Castillo-Alanís, A. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (mefs-cg-em). *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(1), 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.05.003>
- Pionce-Acosta, D. (2023). Impacto ambiental de los desechos hospitalarios del cantón jipijapa. *593 Digital Publisher Ceit*, 8(5), 434-448. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.5.1990>
- Rangel, B., Oliveira, A., Arellano, V., & González, C. (2019). Nanomateriales celulósicos para la adsorción de contaminantes emergentes. *Tecnura*, 23(62), 13-20. <https://doi.org/10.14483/22487638.15451>
- Safwat, N., Ayad, M., & Farouk, M. (2020). Development of an eco-friendly reversed-phase hplc method for the simultaneous determination of three emerging contaminants in water samples. *Archives of Pharmaceutical Sciences Ain Shams University*, 0(0), 79-91. <https://doi.org/10.21608/aps.2020.2001.1025>
- Sanabria, H. (2023). Impacto de los contaminantes emergentes en el entorno acuático y los tratamientos para el control y remoción en los cuerpos hídricos. *revisión literaria. Ingeniería Y Competitividad*, 25(3). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.12551>
- Wang, L., Zhu, H., Ma, C., & Yan, Y. (2013). Hplc determination of chlorophenols in water with separation by ionic liquids [bmim]bf4 aqueous two-phase solvent sublation. *Asian Journal of Chemistry*, 25(4), 2129-2134. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.13358>
- Wang, Q., Yang, Z., Wu, X., & Peng, Y. (2022). Quantitative analysis of industrial solid waste based on terahertz spectroscopy. *Photonics*, 9(3), 184. <https://doi.org/10.3390/photonics9030184>
- Zacarías, V., Machuca, M., Soto, J., Equihua, J., Vallejo-Cardona, A., Calvillo, M., ... & González, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de morelia, michoacán, México. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 33(2), 221-235. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.02.04>
- Rojas Vásquez, D. A. (2021). Evaluación de encapsulados para el control de contaminantes emergentes en aguas.
- Roldán Pérez, G. (2021). La calidad del agua en Colombia: causas del deterioro y medidas de mitigación.
- Sanabria, H. A. M., & Montagut, J. C. (2023). Impacto de los contaminantes emergentes en el entorno acuático y los tratamientos para el control y remoción en los cuerpos hídricos. *Revisión literaria. Ingeniería y Competitividad*, 25(3).
- Serna-Galvis, E. A., Botero-Coy, A. M., Martínez-Pachón, D., Moncayo-Lasso, A., Ibáñez, M., Hernández, F., & Torres-Palma, R. A. (2019). Degradation of seventeen contaminants of emerging concern in municipal wastewater effluents by sonochemical advanced oxidation processes. *Water Research*, 154, 349-360. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.045>

- Trujillo Cenizario, S. L., & Valverde Rodríguez, C. A. (2021). Evaluación de contaminantes emergentes, generación y afectación en especies marinas.
- Viloria Soto, M. F., & Madera Lopez, D. (2020). Contaminantes emergentes en diferentes matrices de aguas y tratamientos alternativos para su eliminación.
- Vista de Una mirada hacia los contaminantes emergentes “microplásticos” en Colombia. (s. f.).<https://acofipapers.org/index.php/eiei/articloe/view/2509/1800>
- Zapata García, N. I. (2021). Evaluación de la concentración del contaminante emergente