

Concientifica



Más allá de lo visible: el creciente desafío de los contaminantes emergentes en el agua que usamos

Beyond the visible: the growing challenge of emerging contaminants in the water we use

Daniel Alejandro Vergara Solís*
Carlos Nek Hernández Martínez

Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México.

*Autor para la correspondencia:
ibtalejandrovergara@gmail.com

Resumen

Los Contaminantes Emergentes (CE) son un problema de reciente preocupación ya que existe conocimiento limitado sobre las afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas, principalmente la modificación a la calidad del agua. Durante décadas se investigaron diferentes tecnologías para eliminar o disminuir los contaminantes emergentes del agua, pero ahora, debido a su diversificación, altas cantidades y por su reciente identificación, las plantas de tratamiento de agua residual no logran su remoción completa.

Palabras clave: Contaminante emergente, agua residual, daño a la salud.

Summary

Emerging pollutants are a recent concern because the scientific community has limited knowledge of their effects on human health and ecosystems, mainly regarding water pollution. In the past few decades, various technologies have been investigated to eliminate or mitigate water pollution. However, current wastewater treatment plants do not achieve full removal of these pollutants.

Keywords: Emerging pollutant, wastewater, health damage.

¿Qué es un contaminante emergente?

Los contaminantes emergentes (CE) son sustancias y sus subproductos de composición orgánica que, ya sea en el aire, agua o suelo, se han identificado en los últimos años en diversas concentraciones, en múltiples sistemas ambientales del mundo. Son poco conocidos por la comunidad científica y, por lo tanto, están poco o nualmente normados. Muchos de estos contaminantes emergentes son sustancias o derivados de productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, hormonas, aditivos alimentarios, pesticidas, plastificantes, preservadores de madera, detergentes, desinfectantes, surfactantes, retardantes de flama entre otros compuestos más, todos procedentes de las actividades urbanas, agrícolas e industriales. La presencia y abundancia significativa de estas nuevas moléculas y partículas en los vertidos de aguas residuales son resultado de la inclusión de sustancias y aditivos en la variedad de sectores productivos y en los modernos estilos de vida (cotidianidad) de las personas, pues algunas especies de contaminantes emergentes como los medicamentos al no ser utilizados o al llegar a su fecha de caducidad son eliminados por el inodoro, junto con heces humanas, orina, actividades de

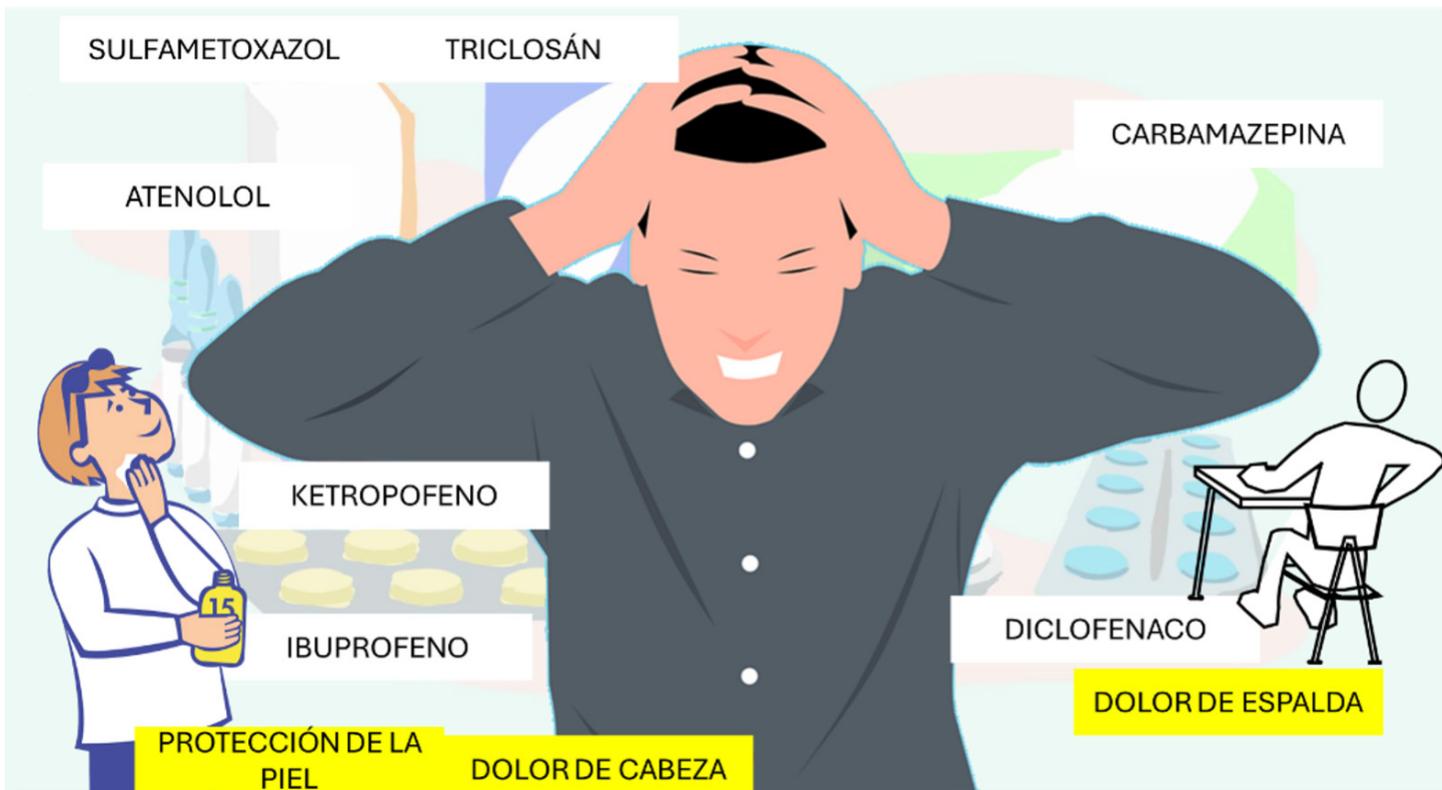


Figura 1. Contaminantes emergentes en productos de uso cotidiano.

baño, lavandería y limpieza, contribuyendo a la integración de contaminantes emergentes en el sistema de alcantarillado y posteriormente a los cuerpos de agua naturales [1,2].

Tan solo en México se han encontrado en diferentes matrices de agua los fármacos (figura 1): naproxeno, ibuprofeno, diclofenaco, triclosán, gemfibrozil, carbamazepina, ácido salicílico, acetaminofeno, atenolol, cafeína, clofibrato, y el antibiótico sulfametoxazol, así como las hormona estrona, 17 β -estradiol, 17 α -etinilestradiol y los plastificantes BPA, 4NP, DEHP, y BuBeP, entre muchos otros. Es el caso de Xochimilco, donde en las aguas superficiales de sus humedales se detectaron altas concentraciones de los plastificantes BPA (140 mg/L) y BuBeP (25 mg/L), triclosán (90 mg/L) y hormonas E1(13 mg/L) y E2 (2,2 mg/L) [2,3].

Una vez liberados al ambiente los contaminantes emergentes son sujetos a distintos procesos que contribuyen a su eliminación: biodegradación, degradación química o bien degradación fotoquímica; sin embargo, uno de los descubrimientos más alarmantes es que los derivados de algunos contaminantes son más persistentes que sus compuestos de origen [4].

Impactos al ambiente

El suelo y el agua son dos elementos que tienen una gran cantidad de contaminantes emergentes ya que ambos se utilizan mezclados con muchos elementos en diferentes actividades humanas: agricultura, industrias de manufactura y alimentarias y cuidado de la salud humana y animal, se han realizado estudios que demuestran que la presencia de estos contaminantes generan alteraciones en el desarrollo de varias especies de flora y fauna, causando desequilibrios hormonales, ocasionando carcinogénesis, intersexualidad e incluso disminución de la fertilidad [2].

Podemos exponer tres efectos que los contaminantes emergentes producen en suelos agrícolas por el riego con aguas residuales contaminadas: 1) inhibición de germinación de semillas y crecimiento del cultivo, 2) inhibición de actividad microbiana y 3) acumulación de antibióticos en biomasa del cultivo. Un caso reportado es la interacción de tetraciclina, un antibiótico utilizado para tratar infecciones en el tracto respiratorio, donde se observa que afecta significativamente la estructura celular en comunidades microbianas y sus actividades

metabólicas. Un segundo estudio realizado por Gómez A. (2017) reporta que la sustancia activa de la carbamazepina, un fármaco antiepiléptico ampliamente usado en psiquiatría, es acumulado en plantas de rábano en concentraciones de hasta 52 $\mu\text{g/g}$ después de haber sido expuestos a sólidos utilizados como abonos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual, lo cual demuestra la capacidad de bioacumulación del contaminante (Figura 2a), por ende al ser un producto agrícola de alto consumo (por la dieta cotidiana del mexicano promedio) puede ser introducido a la red trófica, llegando así a los humanos pudiendo generar efectos adversos a la salud. Tercero, dentro de la categoría de productos de cuidado personal y domésticos, se ha observado que el triclosán, un desinfectante usado en muchos cosméticos y detergentes que es capaz de inhibir el crecimiento de plantas de arroz y pepino (Figura 2b) [4].

En el caso del agua también hay indicios de potenciales afectaciones al ambiente y a la salud humana que son difíciles de predecir. Se tiene registro de la exposición de *Daphnia Magna* (pulga de agua ampliamente usada como bioindicador) a ácido acetil salicílico a concentraciones de 1.8 mg/L y estudios crónicos de toxicidad de Diclofenaco demostraron efectos histopatológicos (cambios microscópicos en los tejidos biológicos que resultan de enfermedades o lesiones).

Este tipo de daño se evalúa a través de técnicas que permiten observar y detectar anomalías en la estructura celular (en trucha arcoíris después de 28 días de exposición produciendo lesiones renales (que pueden ir desde muerte del tejido, inflamación, interferencia de la función normal del órgano o presencia de sangre) a 5 $\mu\text{g/L}$ y efectos subcelulares (pérdida de la integridad estructural de las células y afectación de la función celular, daño al ADN, mutaciones y aberraciones cromosómicas que afectan la viabilidad y función celular) a 1 $\mu\text{g/L}$ [5,8].

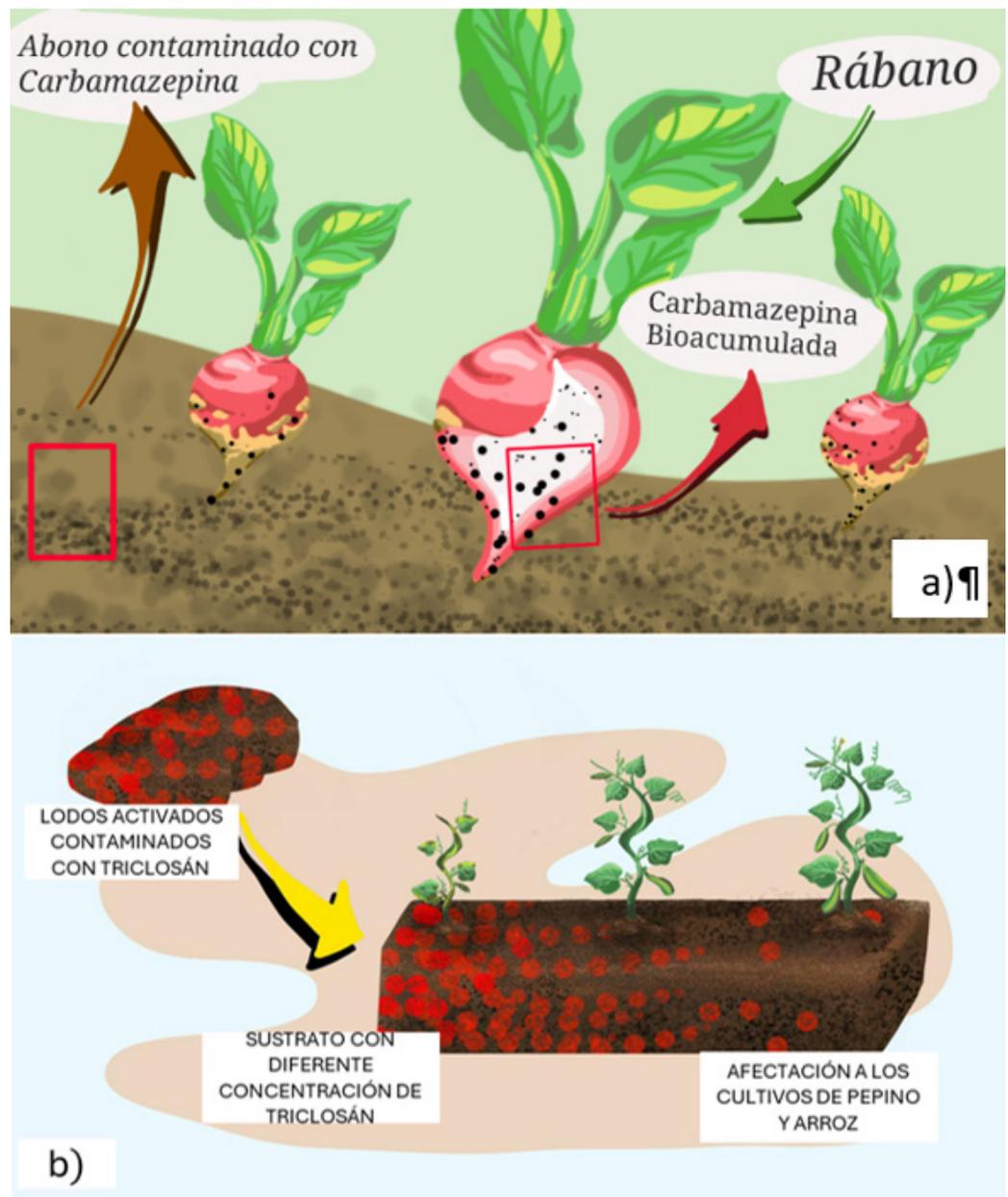


Figura 2. a) Carbamazepina (CBZ) en cultivos de rábano b) Afectación del crecimiento de plantas de pepino y expuestas a diferentes concentraciones de lodos activados que contenían Triclosán.

Agua Residual y Contaminantes Emergentes

Para combatir los problemas de contaminación del agua se han desarrollado diversas tecnologías durante cientos de años para mejorar la calidad de vida de campos y ciudades. Específicamente para remoción de contaminantes emergentes existe una clasificación ampliamente aceptada: Procesos convencionales y avanzados. Los procesos convencionales son, por ejemplo: filtración por membrana, procesos de oxidación Fenton, oxidación electroquímica, procesos de membrana foto-catalítica, ultrafiltración, y ozonización. Los procesos avanzados son procesos de oxidación avanzada, humedales artificiales, sistemas bioeléctricos y tratamientos enzimáticos. Aun así, las Plantas de Tratamiento de Agua Residual no pueden eliminar los contaminantes emergentes, por su bajísima biodegradabilidad, la alta complejidad en la estructura de los contaminantes, y porque están en el agua en concentraciones muy bajas [6]. Aunado a esto, debido a la naturaleza de estos contaminantes y que son tóxicos para los ecosistemas a muy bajas concentraciones, existen limitaciones en las técnicas de detección, monitoreo y registro que se han empleado para identificar a los contaminantes de aguas residuales, pues se encuentran en concentraciones menores a los límites de detección de las pruebas más empleadas, si bien es cierto que los métodos actuales detectan ciertas clases de CE, no cubren todo el rango. Los métodos de muestreo y análisis ambiental para los tipos de contaminantes emergentes más actuales, tales como los nanomateriales, microplásticos y líquidos iónicos, están en sus etapas iniciales de desarrollo o, en muchos casos, son escasos o casi inexistentes [1].

Resistencia Bacteriana

Hay un efecto muy curioso que ocurre cuando un grupo muy especial de contaminantes emergentes: los antibióticos, se encuentran en lugares donde no deberían estar presentes. La actividad principal de un antibiótico es que, a cierta concentración, inhibirá el crecimiento bacteriano, sea cual sea el mecanismo mole-

cular diseñado para atacar al microorganismo. Dentro del cuerpo humano la sustancia activa de un medicamento satura las vías sanguíneas y es como se pone en contacto con las bacterias patógenas. Esto tiene una desventaja, el resto de sustancia activa que no se utiliza, se descarga en las heces y orina. Sumado a que muchos antibióticos se han usado indiscriminadamente, sin receta o en dosis superiores a las recomendadas, esta actividad genera que se sumen a las aguas residuales que entran a las plantas de tratamiento de agua. Una vez ahí, la molécula puede mantenerse estable, sin degradarse, y llegar a un tanque de lodos activados, esencialmente un consorcio bacteriano que degrada la materia orgánica que sigue soluble en el agua [7]. Este contacto antibiótico-bacteria, a concentraciones mínimas, permite que la bacteria la consuma como alimento, se acostumbre a la sustancia activa y desarrolle mecanismos para degradarla. En estos sistemas, habitualmente se recupera el lodo activado y se incinera, y podríamos decir que se controla este efecto de resistencia bacteriana. Sin embargo, las bacterias y otros microorganismos que pueden generar esta habilidad no solo están en el módulo de lodos activados, y podrían llegar a colarse en diferentes subprocesos de un tratamiento de agua residual desde las tuberías de entrada hasta su liberación en cuerpos de agua 'limpios' [6].

Conclusiones

La contaminación del agua es un problema global y las sociedades más vulnerables están enfrentando los peores resultados de consumir agua contaminada. Actualmente se consume dos veces la cantidad de agua que hace unas décadas atrás, su uso intensivo ha provocado que el agua sea un recurso escaso [1]. La concentración de químicos y partículas en agua son determinantes en la calidad del agua, junto a la contaminación del agua por el vertido de desperdicio doméstico y agrícola, crecimiento de población, uso excesivo de pesticidas y fertilizantes y la urbanización. Por estas razones los contaminantes emergentes son un tema que adquiere un creciente interés

y preocupación. Los contaminantes emergentes se dispersan a través del agua afectando la salud humana contaminando la cadena alimenticia, las fuentes de agua potable y causando resistencia bacteriana [5,7]. Debe haber un énfasis especial en programas educativos y de conciencia social para mejorar el uso de contaminantes emergentes desde casa o industria, previo a que llegue a las plantas de tratamiento de agua residual y deberá seguirse trabajando en identificar, monitorear y remover los contaminantes emergentes de aire, suelo y agua. Por último, también podemos actuar como consumidores con el objetivo de incidir en las políticas públicas y normatividad en la producción y consumo de cada uno de esta gran variedad de productos. **iBIO**



Referencias

- [1] Geissen, V. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- [2] Vázquez, I. (2022). Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico – A review. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136285>
- [3] Tang, Y. (2019). Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment. *Water Environment Research*, 91(7), 1221-1234. <https://doi.org/10.1002/wer.1163>
- [4] Gomes, A. (2017). Review of the ecotoxicological effects of emerging contaminants on soil biota. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 52(7), 536-548. <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2017.1328946>
- [5] la Farre, M., Pérez, S., Kantiani, L., & Barceló, D. (2008). Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 27(10), 991-1007. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2008.09.010>
- [6] Leiva, A., Estévez, E., & Reinoso, R. (2024). Performance of full-scale rural wastewater treatment plants in the reduction of antibiotic-resistant bacteria and antibiotic resistance genes from small-city effluents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(4), 112322. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112322>
- [7] Ahmed, F., & Rodrigues, D. F. (2021). Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125912. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125912>
- [8] Gautier, J.-C., Slaoui, M., & Fiette, L. (2011). Histopathology Procedures: From Tissue Sampling to Histopathological Evaluation. En: Gautier, JC. (eds) *Drug Safety Evaluation. Methods in Molecular Biology*, vol 691. Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-849-2_4