



DE LA MEDICINA AL AMBIENTE: LA PRESENCIA DE FÁRMACOS EN LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

FROM MEDICINE TO THE ENVIRONMENT:
THE PRESENCE OF PHARMACEUTICALS IN
THE AQUATIC ECOSYSTEMS

/ DRA. VERÓNICA RODRÍGUEZ SALDAÑA^a, ROBERTO A. ARREGUÍN-ESPINOSA DE
LOS MONTEROS^b, ESTEBAN LÓPEZ-SAMPEDRO^b Y DRA. LUZ O. LEAL QUEZADA^a

^aCentro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Departamento de Medio Ambiente y Energía. Miguel de Cervantes 120, Chihuahua, Chih. 31136, México.

^bInstituto de Química. Departamento de Biomacromoléculas. Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México, México.



Palabras clave: Fármacos; Contaminación; Cuerpos de agua; Contaminantes emergentes.

Keywords: Pharmaceuticals; Pollution; Water bodies; Emerging pollutants.

RESUMEN

¿Sabías que los medicamentos que usamos pueden terminar en ríos y océanos? Desde el sanitario hasta el desagüe, estos compuestos llegan a plantas de tratamiento y de ahí, al medio ambiente. La presencia de estos fármacos en el agua puede afectar a peces y otros organismos acuáticos, alterando su reproducción y su desarrollo. El problema se torna más complicado cuando sumamos conductas inapropiadas en el uso de fármacos, como la automedicación y la falta de control en la venta de medicamentos. Sin embargo, no todas son malas noticias. Actualmente se están desarrollando nuevas tecnologías para la remoción de medicamentos en aguas residuales, así como estrategias para evitar que estos lleguen al medio ambiente y cada vez se conoce y se difunde más información sobre esta problemática.

ABSTRACT

Did you know that our pharmaceuticals can end up in rivers and oceans? From the toilet to the drain, these compounds reach treatment plants, and from there, they go into the environment. The presence of these drugs in water can affect fish and other aquatic organisms, altering their reproduction and development. The problem becomes even more complex when we add inappropriate consumer behaviours such as self-medication and a lack of regulation in over-the-counter medicines. However, it's not all bad news. New technologies are being developed for the removal of medications from wastewater, as well as strategies to prevent them from reaching the environment, and more information about this problem is becoming known and disseminated.

INTRODUCCIÓN

Sabemos que la contaminación es uno de los más grandes desafíos que enfrenta la humanidad y que afecta no solo a esta, sino a todos los seres vivos. Si bien algunos contaminantes han sido reconocidos desde hace años debido a su distribución y persistencia en el medio ambiente, recientemente el término “contaminantes emergentes” ha surgido para hacer referencia a aquellos agentes contaminantes que se han convertido en un problema ambiental y que, actualmente, no están bien regulados (Khan *et al.*, 2022).

Estos compuestos, que incluyen desde productos de cuidado personal hasta fármacos, generan una creciente preocupación debido a su impacto potencial en cuerpos de agua y en la salud humana. Entre los contaminantes emergentes más preocupantes se encuentran precisamente los productos farmacéuticos, cuyos residuos sin metabolizar, metabolitos y productos de transformación pueden ingresar al medio ambiente a través de diversas vías, principalmente mediante las descargas de aguas residuales de origen doméstico y hospitalario (Fernandes *et al.*, 2021), así como también los de uso veterinario y acuícola. Se han documentado ampliamente sus efectos adversos tanto en la vida silvestre como en los seres humanos, de acuerdo con numerosos estudios (Sanusi *et al.*, 2023).

Actualmente, se estima que alrededor de 4 mil 800 millones de piezas de medicamentos son consumidas en México, con un incremento del 8% el año pasado (INEFAM, 2024). Este aumento en su consumo es una tendencia que se ha observado de manera global, y en este sentido, el alza en su consumo es una de las principales razones por las que el estudio de fármacos en el ambiente ha cobrado interés. Otras de las causas principales son:

- Su persistencia en el ambiente, ya que muchos fármacos poseen estructuras químicas estables y baja biodegradabilidad, lo que favorece su acumulación y aumenta su impacto como contaminantes emergentes.
- Los riesgos ecológicos potenciales que poseen, como alteraciones hormonales, acumulación en diversos tejidos y toxicidad clínica.
- Los avances tecnológicos, que han permitido desarrollar métodos analíticos para monitorear estos contaminantes en el ambiente, incluso si estos se encuentran en concentraciones extremadamente bajas, mediante la combinación de técnicas como la cromatografía líquida de alta resolución y la espectrometría de masas.

EL CONSUMO DE FÁRMACOS Y SUS CONSECUENCIAS

Los fármacos son sustancias químicas diseñadas para generar un efecto terapéutico en organismos vivos, ya sea para prevenir, tratar o diagnosticar enfermedades. Aunque han mejorado nuestra calidad de vida y han salvado millones de vidas, también plantean desafíos ambientales significativos. Este grupo de contaminantes emergentes incluye diversos productos farmacéuticos, desde drogas ilícitas, hormonas y antibióticos, hasta medicamentos de libre venta como los antiinflamatorios y analgésicos (Khan *et al.*, 2022; Bavumiragira, 2022).

Una vez que se consume un medicamento, una fracción de este no se metaboliza por completo en el cuerpo humano y se excreta a través de la orina o las heces. Estos residuos pueden llegar a las plantas de tratamiento de aguas residuales a través del sistema de alcantarillado; sin embargo, la mayoría de estas plantas no proveen un tratamiento efectivo para la remoción de estos contaminantes y eventualmente, estos compuestos pueden liberarse en cuerpos de agua superficiales y subterráneos. La siguiente tabla presenta los principales fármacos contaminantes y su vida media en el ambiente acuático:

Tabla 1. Vida media de fármacos persistentes en el medio acuático

Fármacos contaminantes	Vida media en el ambiente	Referencia
Diclofenaco (antiinflamatorio)	1-5 días en aguas superficiales, en presencia de luz solar y hasta meses en ambientes de mayor profundidad y turbidez	Avetta et al., 2016
Naproxeno (antiinflamatorio)	1-7 días y hasta meses dependiendo de las condiciones del medio (principalmente exposición a luz solar)	Avetta et al., 2016; Becerril et al., 2025
Paracetamol (antipirético)	5-12 días en agua de río en presencia de luz solar	Alhassen et al., 2023
Sulfametoxazol (antibiótico)	13 días, dependiendo de las condiciones de pH y presencia de materia orgánica	Liu et al., 2021
Fluoxetina (antidepresivo)	1-4 días y sus metabolitos hasta 15 días	Correia et al., 2023

Además, existen otras fuentes de contaminación, como la escorrentía de aguas pluviales, el arrastre de estos contaminantes desde granjas ganaderas y acuícolas, los sistemas sépticos y el desbordamiento de las alcantarillas durante las lluvias (Bavumiragira, 2022).



Figura 1. Imagen ilustrativa de fármacos en ambientes acuáticos. Imagen de libre uso generada por IA.

Uno de los mayores desafíos en este tema, es que los humanos hemos incrementado nuestro consumo de fármacos en las últimas décadas, impulsado por la necesidad de tratar enfermedades crónicas relacionadas con el estilo de vida que hemos llevado en estas últimas décadas; por ejemplo, el consumo de fármacos para tratar los niveles altos de colesterol se ha cuadruplicado, el uso de antidepresivos se ha duplicado y el consumo de medicamentos para tratar la diabetes es también casi el doble en comparación con el año 2000 (González Peña *et al.*, 2021). Además, se ha observado un incremento acelerado en el uso de una gran diversidad de medicamentos derivados de la emergencia mundial sanitaria del COVID-19 (Al Meslamani y Abdel-Qader, 2023).

Este problema se ha visto agravado debido a la práctica indebida de la automedicación, que es sumamente común en diversos países, principalmente en Latinoamérica, con una prevalencia que oscila entre 42% y 88.3%, siendo los antiinflamatorios y antibióticos algunos de los medicamentos más empleados por la

población (Muñoz-García, 2023). La automedicación implica el consumo de medicamentos sin tener una apropiada instrucción y supervisión médica (Doomra y Goyal, 2020). Esta práctica ha llevado a un uso indiscriminado de fármacos para atender todo tipo de padecimientos, desde condiciones relativamente sencillas como un dolor de rodilla pasajero hasta algún padecimiento médico más complejo, como una infección, aumentando así la cantidad y diversidad de fármacos que las personas consumen de manera regular.

Por otro lado, este problema ha empeorado por el hecho de que, en muchos países, incluyendo China, Perú, México y varios países de África, no se requiere receta médica para la prescripción de muchos fármacos, desde antibióticos hasta los populares fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) (Chen *et al.*, 2020; Benites-Mesa *et al.*, 2025; Ortiz *et al.*, 2022; Belachew *et al.*, 2021). Debido a la automedicación, este grupo de medicamentos ha sido asociado a diversos efectos negativos en la salud humana, incluyendo padecimientos como fiebres, alergias, complicaciones cardiovasculares y daño hepático (Doomra y Goyal, 2020) y además han afectado el balance ecológico del medio ambiente, debido a su acumulación en los componentes de diversos ecosistemas (como en el agua y en el sedimento) y en los organismos vivos que los habitan, desde peces hasta vegetación (Fernandes *et al.*, 2021).

LOS MEDICAMENTOS Y EL AMBIENTE

La presencia de fármacos en el ambiente genera preocupación debido a su potencial impacto en la salud de los ecosistemas acuáticos, y, por ende, en su flora y fauna. Se ha demostrado que, aun en concentraciones muy bajas, los fármacos pueden afectar el comportamiento, la reproducción y el desarrollo de organismos acuáticos, como peces y anfibios (Ebele *et al.*, 2017).

El primer paso para evaluar el impacto y el riesgo asociados a la presencia de fármacos en cuerpos de agua es medir sus concentraciones, empleando diversas técnicas analíticas, principalmente cromatografía de gases y cromatografía líquida de alto rendimiento (Ebele *et al.*, 2017). Una vez que se ha medido la concentración de estos contaminantes, es necesario determinar qué efectos tienen en los organismos, por ejemplo, cómo afecta la acumulación de los fármacos en su tamaño, alimentación, conducta reproductiva y relación con otros organismos. Finalmente, es necesario evaluar la salud global del ecosistema midiendo otros parámetros importantes de calidad del agua, como la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH. Esto permite comprender cómo la presencia de estos contaminantes podría afectar la cadena alimentaria y sus efectos a largo plazo



Figura 2. Toma de muestras en un humedal de México (Cañón de Fernández, Coahuila). Imagen de autoría propia

en ambientes acuáticos (Khan y Barros, 2023) y, por ende, la acumulación de estos en otros organismos que son consumidos por las poblaciones humanas.

Se ha documentado que medicamentos como el diclofenaco pueden acumularse en diversas especies de peces, con mayores concentraciones en órganos como los riñones y el hígado, seguidos de las branquias y el músculo (Zenker *et al.*, 2014). Algunos fármacos también han sido detectados en crustáceos, moluscos y algas (los estudios de acumulación en plantas son prácticamente inexistentes), siendo el diclofenaco el fármaco más comúnmente encontrado en ambientes acuáticos.

Además, otro problema de gran relevancia y creciente preocupación es el desarrollo de “resistencia microbiana”, es decir, la falta de respuesta de ciertos microorganismos a los fármacos presentes en el medio ambiente debido a la adquisición de mecanismos de resistencia (Church *et al.*, 2021). Este fenómeno ocurre cuando bacterias, virus, parásitos y hongos desarrollan transformaciones que les permiten resistir el efecto de los medicamentos. Cabe señalar que la resistencia antimicrobiana en bacterias ambientales es un proceso natural y frecuente, y cumple un papel importante en el equilibrio ecológico de las comunidades microbianas. Sin embargo, cuando estos mecanismos de resistencia se manifiestan en bacterias de interés médico, como las asociadas a infecciones humanas, se convierten en un grave problema de salud pública. Esto significa que las infecciones que antes eran tratables no pueden ser tratadas por medio de fármacos convencionales, lo cual se traduce en la propagación de enfermedades, el desarrollo de padecimientos más graves y, en consecuencia, un aumento en la mortalidad de los pacientes. Este problema es particularmente grave en el caso del uso de antibióticos, pues se ha observado un incremento en el número de bacterias resistentes a estos medicamentos; incluso algunas

cepas han demostrado resistencia a más de 100 tipos de antibióticos (Mackulák *et al.*, 2019). Estas bacterias pueden ser liberadas al ambiente por medio de las descargas provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales y conforme aumenta la utilización de aguas tratadas, también aumenta la preocupación de que se introduzcan antibióticos y bacterias resistentes en los sistemas de potabilización de agua. Esto podría representar un riesgo en la salud humana, al aumentar la exposición de las poblaciones humanas a microorganismos resistentes.

¿QUÉ MEDIDAS SE ESTÁN TOMANDO PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN POR FÁRMACOS?

Por otro lado, la presencia de fármacos en el agua potable también genera preocupaciones para la salud humana. Aunque las concentraciones de estos compuestos en el agua potable generalmente son muy bajas, existe el riesgo de exposición a largo plazo a una variedad de compuestos farmacéuticos, cuyos efectos a lo largo del tiempo aún no se comprenden completamente.

Para abordar este problema de manera efectiva, es fundamental implementar medidas de gestión adecuadas, incluyendo la mejora de las prácticas de eliminación de medicamentos vencidos o no utilizados y la promoción de programas de devolución de medicamentos. Además, es necesario invertir en tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales que puedan eliminar eficazmente los residuos de fármacos antes de que entren en el medio ambiente.

Se ha reportado la presencia de una gran variedad de fármacos tanto en efluentes como en afluentes de plantas de tratamiento de agua residual

(Frascaroli et al., 2021). La cantidad y el tipo de estos contaminantes dependen de varios factores como la dinámica socioeconómica de la población, sus patrones de consumo, las condiciones climáticas y ambientales del lugar. A pesar de que las concentraciones de estos contaminantes son relativamente bajas, podrían presentar efectos negativos si estos son liberados al medio ambiente. Por esta razón, se ha explorado el uso de tratamientos para eliminarlos al igual que otros contaminantes presentes en el agua residual.

La remoción de medicamentos en las plantas de tratamiento, particularmente en la fase secundaria, donde se emplean microorganismos para descomponer la materia orgánica en componentes más simples (como dióxido de carbono y agua), puede no ser eficiente, pues su efectividad depende de varios elementos como la temperatura, la estación del año, el pH, las condiciones de oxidación-reducción, entre otras. Es por esta razón que muchas plantas de tratamiento incorporan un tratamiento terciario que puede incluir membranas, reactores de biomembrana, filtros de arena, radiación UV y cloración. Una de las estrategias con mayor efectividad para la remoción de fármacos es la combinación de varias técnicas, por ejemplo, la ozonización con materiales adsorbentes como el carbón

activado (incluyendo antiinflamatorios, antiepilépticos y hormonas) (Mackulak et al., 2019).

Si no es posible evitar que los productos farmacéuticos entren al ambiente, existen diversas estrategias para removerlos. Dentro de estas, se encuentra el uso de materiales adsorbentes, incluyendo carbón activado, nanomateriales, arcillas, residuos de agricultura (p. ej. paja de maíz o de arroz), entre otros. Estos materiales tienen la capacidad de “atrapar” a los fármacos, ya sea utilizados directamente o con algún tratamiento previo en el laboratorio. Un ejemplo clásico es el carbón activado, que ha sido empleado para retener fármacos y otros contaminantes: en un estudio donde se utilizó carbón activado en polvo para eliminar 29 antibióticos diferentes de agua superficial, se logró una tasa de eliminación de hasta el 99.7 % (Vinayagam et al., 2022).

Otra estrategia con gran potencial es la biorremediación, cuyo uso se ha promovido en los últimos años, por ser ambientalmente amigable. Esta estrategia consiste en emplear organismos vivos para remover alguna sustancia y recuperar las condiciones ambientales originales de un ecosistema. Para la remoción de fármacos, se han empleado diversas especies de plantas y hongos con capacidad para acumular estos contaminantes (Tabla 2). Los hongos, en particular,



Figura 3. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chihuahua Norte, Chihuahua, México. Imagen de autoría propia.

han demostrado una alta capacidad para absorber y acumular contaminantes persistentes. Además, su resistencia a los cambios ambientales les permite adaptarse a condiciones extremas. Particularmente en el caso de fármacos, se ha documentado que algunas especies de hongos son capaces de eliminar betabloqueadores, psicoactivos, hormonas, antiinflamatorios y antibióticos, con porcentajes de

eliminación cerca del 100% en solo cuestión de días (Vinayagam *et al.*, 2022).

* La adsorción es la adhesión de átomos, iones o moléculas de un gas, líquido o sólido disuelto a una superficie.

Tabla 2. Especies de microorganismos, plantas y hongos empleados en la biorremediación de fármacos en el ambiente

Tipo de organismo	Especie/ género	Aplicación principal en biorremediación de fármacos	Referencia
Hongo	<i>Trametes versicolor</i>	Oxidación de antiinflamatorios	Llorens-Blanch <i>et al.</i> , 2015
Planta acuática	<i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua)	Fitorremediación de analgésicos y metales	Madikizela, 2021
Planta acuática	<i>Typha latifolia</i>	Fitorremediación de antiinflamatorios y fármacos psicotrópicos	Pérez <i>et al.</i> , 2023
Hongo	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Remoción de antidepresivos	Kózka <i>et al.</i> , 2023



CONCLUSIONES

La presencia de fármacos en el ambiente constituye actualmente un problema emergente y en expansión, evidenciado por su detección cada vez más frecuente en ríos, lagos, acuíferos y efluentes de plantas de tratamiento alrededor del mundo. La situación muestra una tendencia preocupante al aumento, asociada al crecimiento poblacional, al incremento sostenido en el consumo de medicamentos y a la limitada capacidad de los sistemas de tratamiento convencionales para eliminarlos de manera efectiva.

Frente a este escenario, es necesario implementar medidas efectivas para reducir la introducción de fármacos en el medio ambiente, lo que incluye:

- Mejorar la gestión de residuos farmacéuticos en hogares, hospitales y farmacias.
- Desarrollar tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales que combinen procesos físicos, químicos y biológicos para optimizar la remoción de contaminantes emergentes.
- Fortalecer las regulaciones para limitar la venta y el desecho inadecuado de medicamentos
- Fomentar programas de educación y sensibilización ciudadana para reducir la disposición inapropiada de fármacos.

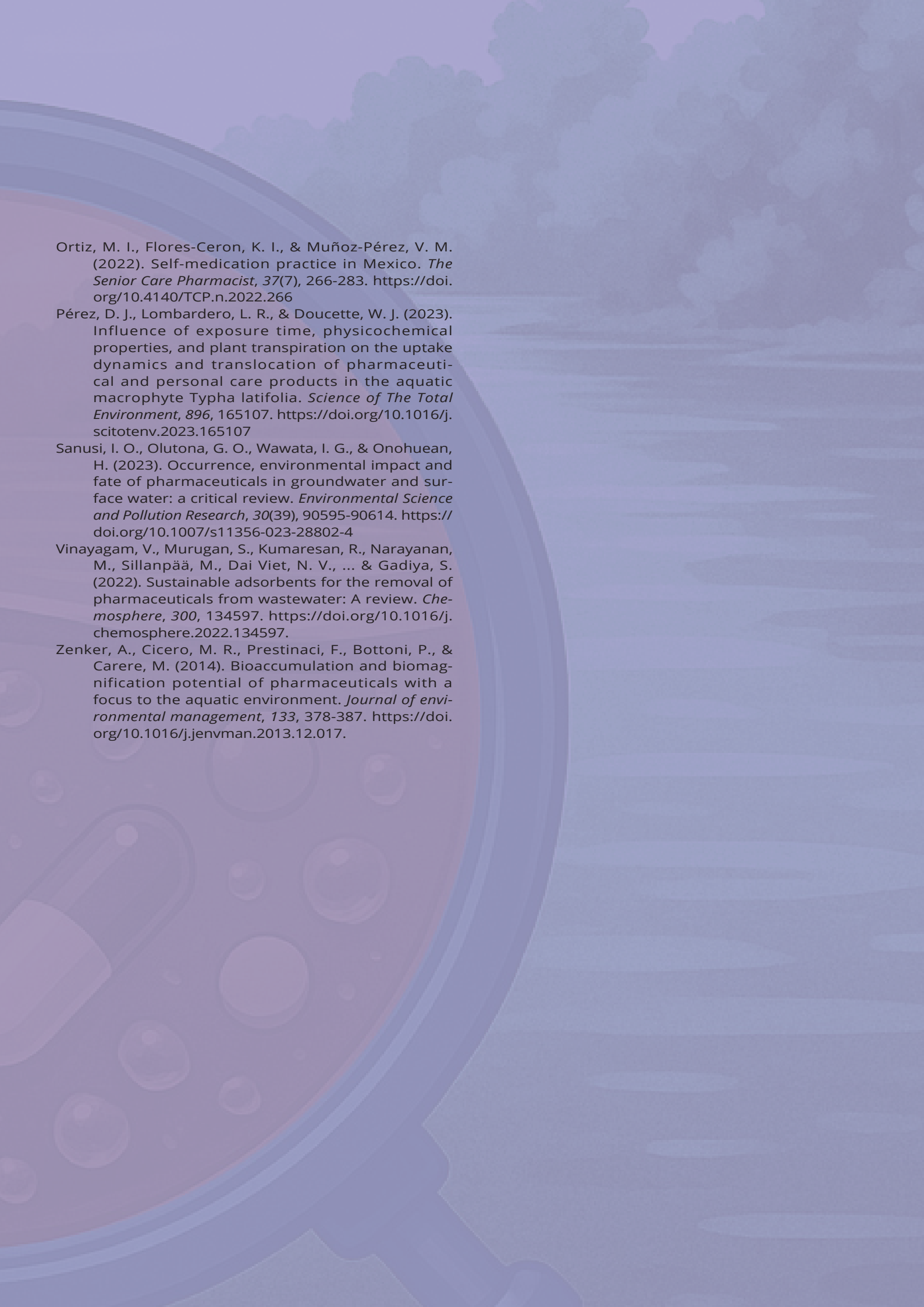
Además, se necesita aumentar los esfuerzos de investigación para poder comprender mejor los efectos de los fármacos en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana, así como para desarrollar estrategias de mitigación adecuadas. Solo a través de un enfoque integral y colaborativo podremos abordar eficazmente este desafío y proteger tanto el medio ambiente como la salud de los organismos y la salud humana.

Una gestión adecuada de los residuos farmacéuticos y la reducción de su impacto ambiental son acciones fundamentales para garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras, especialmente en un mundo donde la población crece exponencialmente y con ello nuestras necesidades farmacéuticas también aumentan. Adoptar un enfoque proactivo ante el aumento en el consumo de fármacos es esencial para preservar la integridad de nuestros ecosistemas y proteger la salud de nuestra sociedad.

Literatura citada



- Al Meslamani, A. Z., & Abdel-Qader, D. H. (2023). The abuse and misuse of over-the-counter medicines during COVID-19. *Hospital Pharmacy*, 58(5), 437-440. <https://doi.org/10.1177/00185787231158777>
- Avetta, P., Fabbri, D., Minella, M., Brigante, M., Maurino, V., Minero, C., ... & Vione, D. (2016). Assessing the phototransformation of diclofenac, clofibrac acid and naproxen in surface waters: model predictions and comparison with field data. *Water research*, 105, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.08.058>
- Bavumiragira, J. P., & Yin, H. (2022). Fate and transport of pharmaceuticals in water systems: A processes review. *Science of The Total Environment*, 823, 153635. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153635>
- Becerril Ortiz, M. E., & Ramírez García, J. J. (2025). Review of physicochemical processes of naproxen and its byproduct toxicity in aquatic environment. *Environmental Technology Reviews*, 14(1), 781-796. <https://doi.org/10.1080/21622515.2025.2545634>
- Belachew, S. A., Hall, L., & Selvey, L. A. (2021). Non-prescription dispensing of antibiotic agents among community drug retail outlets in Sub-Saharan African countries: a systematic review and meta-analysis. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 10(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s13756-020-00880-w>
- Benites-Meza, J. K., Pinedo-Castillo, L., Cabanillas-Lazo, M., Boyd-Gamarra, M. A., Herrera-Añazco, P., Mougenot, B., & Benites-Zapata, V. A. (2025). Self-medication with NSAIDs and purchase of branded and over-the-counter medicines: Analysis of a national survey in Peru. *Journal of Public Health Research*, 14(1), 22799036251319154. <https://doi.org/10.1177/2279903625131915>
- Chen, J., Wang, Y., Chen, X., & Hesketh, T. (2020). Widespread illegal sales of antibiotics in Chinese pharmacies—a nationwide cross-sectional study. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0655-7>
- Church, N. A., & McKillip, J. L. (2021). Antibiotic resistance crisis: challenges and imperatives. *Biología*, 76(5), 1535-1550. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00697-x>
- Doomra, R., & Goyal, A. (2020). NSAIDs and self-medication: A serious concern. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 9(5), 2183-2185. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_201_20
- Ebele, A. J., Abdallah, M. A. E., & Harrad, S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging contaminants*, 3(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>
- Fernandes, J. P., Almeida, C. M. R., Salgado, M. A., Carvalho, M. F., & Mucha, A. P. (2021). Pharmaceutical compounds in aquatic environments—occurrence, fate and bioremediation prospective. *Toxics*, 9(10), 257. <https://doi.org/10.3390/toxics9100257>
- Frascaroli, G., Reid, D., Hunter, C., Roberts, J., Helwig, K., Spencer, J., & Escudero, A. (2021). Pharmaceuticals in wastewater treatment plants: A systematic review on the substances of greatest concern responsible for the development of antimicrobial resistance. *Applied sciences*, 11(15), 6670. <https://doi.org/10.3390/app11156670>
- González Peña, O. I., López Zavala, M. Á., & Cabral Ruelas, H. (2021). Pharmaceuticals market, consumption trends and disease incidence are not driving the pharmaceutical research on water and wastewater. *International journal of environmental research and public health*, 18(5), 2532. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052532>
- Inefam. Tablero de indicadores de salud en México. (2024). Disponible en “Booklet” de Indicadores: Tablero-de-indicadores-S-FVv1.pdf (inefam.com). Consultado el 25 de junio, 2024.
- Khan, A. H. A., & Barros, R. (2023). Pharmaceuticals in water: risks to aquatic life and remediation strategies. *Hydrobiology*, 2(2), 395-409. <https://doi.org/10.3390/hydrobiology2020026>
- Khan, S., Naushad, M., Govarthanan, M., Iqbal, J., & Alfadul, S. M. (2022). Emerging contaminants of high concern for the environment: Current trends and future research. *Environmental Research*, 207, 112609. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112609>
- Kózka, B., Sośnicka, A., Nałęcz-Jawecki, G., Drobnińska, A., Turło, J., & Giebułtowicz, J. (2023). Various species of Basidiomycota fungi reveal different abilities to degrade pharmaceuticals and also different pathways of degradation. *Chemosphere*, 338, 139481. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139481>
- Liu, X., Wang, Z., Zhang, L., Fan, W., Yang, C., Li, E., ... & Wang, X. (2021). Inconsistent seasonal variation of antibiotics between surface water and groundwater in the Jiangnan Plain: Risks and linkage to land uses. *Journal of Environmental Sciences*, 109, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.03.002>
- Llorens-Blanch, G., Badia-Fabregat, M., Lucas, D., Rodríguez-Mozaz, S., Barceló, D., Pennanen, T., ... & Blánquez, P. (2015). Degradation of pharmaceuticals from membrane biological reactor sludge with *Trametes versicolor*. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(2), 429-440. <https://doi.org/10.1039/C4EM00579A>
- Mackulák, T., Černanský, S., Fehér, M., Birošová, L., & Gál, M. (2019). Pharmaceuticals, drugs, and resistant microorganisms—environmental impact on population health. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 9, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.04.002>
- Madikizela, L. M. (2021). Removal of organic pollutants in water using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of environmental management*, 295, 113153. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113153>
- Muñoz García, B. L. (2023). Automedicación y factores asociados en América Latina. Revisión Bibliográfica. <https://doi.org/10.59590/upsjb/fcs.med.hum/tesis/4478>

- 
- Ortiz, M. I., Flores-Ceron, K. I., & Muñoz-Pérez, V. M. (2022). Self-medication practice in Mexico. *The Senior Care Pharmacist*, 37(7), 266-283. <https://doi.org/10.4140/TCP.n.2022.266>
- Pérez, D. J., Lombardero, L. R., & Doucette, W. J. (2023). Influence of exposure time, physicochemical properties, and plant transpiration on the uptake dynamics and translocation of pharmaceutical and personal care products in the aquatic macrophyte *Typha latifolia*. *Science of The Total Environment*, 896, 165107. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165107>
- Sanusi, I. O., Olutona, G. O., Wawata, I. G., & Onohuean, H. (2023). Occurrence, environmental impact and fate of pharmaceuticals in groundwater and surface water: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(39), 90595-90614. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28802-4>
- Vinayagam, V., Murugan, S., Kumaresan, R., Narayanan, M., Sillanpää, M., Dai Viet, N. V., ... & Gadiya, S. (2022). Sustainable adsorbents for the removal of pharmaceuticals from wastewater: A review. *Chemosphere*, 300, 134597. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134597>
- Zenker, A., Cicero, M. R., Prestinaci, F., Bottoni, P., & Carere, M. (2014). Bioaccumulation and biomagnification potential of pharmaceuticals with a focus to the aquatic environment. *Journal of environmental management*, 133, 378-387. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.017>