

# Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

## Los medicamentos pueden contaminar los sistemas acuáticos

Karina Galache · Thursday, February 29th, 2024

Categorías: [Ciencias Naturales y de la Salud](#), [Zona Abierta](#)

Desde el siglo XX, la farmacología —estudio integral de los medicamentos—, se introdujo como ciencia vinculada a la medicina. Un fármaco es una sustancia que no sea un alimento que se usa para prevenir, diagnosticar, tratar o aliviar los síntomas de una enfermedad o afección. El desarrollo de fármacos es un proceso muy complicado que generalmente inicia con la identificación de compuestos que se unen a un blanco terapéutico para llevar a cabo una actividad biológica determinada. En otras ocasiones, comienza con la descripción de alguna actividad biológica de extractos de productos naturales sin conocer el compuesto y su receptor, es decir, su blanco molecular no se conoce con certeza.

Un medicamento es una preparación que contiene uno o más principios activos, así como ingredientes inactivos (excipiente) diseñado para optimizar el efecto de los fármacos en el organismo. La mayoría de los medicamentos que están en uso clínico son resultado de un proceso de investigación muy largo en donde se busca que los fármacos tengan efectos clínicos benéficos y consecuencias secundarias mínimas. ¿Qué pasa cuando estos medicamentos son desechados de una forma incorrecta al medio ambiente?

Los medicamentos llegan a los sistemas acuáticos por la actividad humana. Se sabe que la mayor parte de muchos medicamentos no se metaboliza dentro del organismo y es excretada en la orina de las personas o los animales tratados. También se tiran a la basura o a vertederos industriales los medicamentos caducos o los residuos que no son empaquetados para su venta.

En consecuencia, científicos de todo el mundo comenzaron a detectar la presencia de fármacos en los sistemas acuáticos, principalmente ríos y lagos, mares, aguas subterráneas y agua potable. Entre los principales tipos de fármacos detectados en los cuerpos de agua se encuentran antibióticos, analgésicos, antiinflamatorios, antihistamínicos, estrógenos, anticonceptivos y betabloqueadores, entre otros.

En México, la ley general de manejo de residuos establece lineamientos sobre el particular, pero no existen normas con límites permisibles para una gran gama de residuos que pueden registrarse en los cuerpos de agua, ni tampoco mecanismos que regulen el desecho de residuos. Se ha reportado que no existe una normatividad nacional o internacional idónea sobre la eliminación de este tipo de desechos, la fabricación de productos farmacéuticos tiene un crecimiento de 8.3% anual y en situaciones de pandemia como la del COVID-19, la contaminación del medio ambiente por

diversos fármacos incrementó, convirtiendo los residuos farmacológicos en un foco rojo para la vida de los organismos acuáticos.

Por el momento no hay evidencia que el vertimiento de medicamentos a los cuerpos de agua tenga efecto negativo sobre la salud humana, pero no así para la vida acuática, ya que se ha documentado el impacto negativo de estos medicamentos sobre diversas especies. Los efectos pueden ser directamente sobre las comunidades de organismos acuáticos, afectando su calidad de vida y sobrevivencia. Por ejemplo, la metformina o los estrógenos, causan una feminización de los peces macho y amenazan con destruir sus poblaciones; mientras que el antiinflamatorio diclofenaco envenena a las truchas en los ríos, entre otros ejemplos.

### Efectos nocivos del naproxeno, paracetamol y amlodipino en las especies acuáticas

El naproxeno y paracetamol son analgésicos y antipiréticos, actúan específicamente sobre el sistema nervioso central y sobre células del sistema inmune. El naproxeno es uno de los muchos contaminantes emergentes que existen hoy en día. Su presencia en el medio acuático es cada vez más notable y persistente, ocasionando daños en los intestinos, hígado, riñón y mandíbula en los peces, entre otros efectos adversos (Näslund *et al.*, 2020). El paracetamol, por su lado, induce variaciones genéticas, así como cambios en la alimentación y alteraciones en las gónadas de bivalvos (Koagouw *et al.*, 2021).

El amlodipino se utiliza como vasodilatador en enfermedades como la hipertensión y problemas cardíacos. Puede causar toxicidad en organismos acuáticos, especialmente en algunos de los primeros eslabones de la cadena alimenticia, como los invertebrados (Shao *et al.*, 2020).

Los efectos nocivos de los tres fármacos mencionados fueron evaluados en embriones de peces cebras (*Danio rerio*) debido a que es un modelo biológico muy utilizado en años recientes (Figura 1). El estudio de los peces cebra ha permitido realizar avances científicos en los campos de la biología del desarrollo, toxicología, oncología, reproducción, teratología (estudios de anormalidades durante el desarrollo), genética, neurobiología, investigaciones de líneas celulares, medicina regenerativa, distrofias musculares y teoría evolutiva de vertebrados.



Figura 1. Microfotografía original de embrión de *Danio rerio* de 24 horas post-fertilización (hpf) donde se aprecia la morfología principal; tomada por microscopía electrónica de barrido de emisión de campo en el CINVESTAV, Unidad Mérida.

El naproxeno se ha encontrado en aguas superficiales en concentraciones de 31 ng/L hasta 100 mg/L; el paracetamol, en concentraciones que van de los 78.2 µg/L hasta 112 mg/L y, finalmente, el amlodipino se encuentra en ambientes acuáticos en concentraciones de 41.1 ng/L hasta 343.9 mg/L (Castro-Pastrana *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2022).

Concentraciones subletales reportadas en humanos de 50, 100 y 250 mg/L de naproxeno y paracetamol, así como 1, 5 y 10 mg/L de amlodipino, producen mortalidad y disminución en la eclosión de larvas de *D. rerio*; ello indica que concentraciones pequeñas de estos fármacos, en los cuerpos de agua, afectan el crecimiento y desarrollo de peces, haciéndolos más vulnerables para

sus depredadores. Además, causan efectos teratogénicos, es decir, malformaciones en los embriones. Los tres fármacos produjeron edemas (inflamación) y deformación del saco vitelino, (que es la fuente de alimento y nutrientes de los embriones), reducción de la cabeza y cuerpo del embrión, bajo desarrollo de somites -estructuras que forman los músculos-, y finalmente, curvatura de la médula espinal (escoliosis) (Figura 2).



Figura 2. Principales efectos del paracetamol observados en embriones de pez cebra. En A. se observa el organismo control, B. C. & D. son organismos que presentan malformaciones como inflamaciones en el vitelo (in), malformación en el vitelo (mv), descomposición (dc) de las células que conforman el cuerpo, curvatura de la médula espinal (cm) y ausencia cefálica (ac).

Estos fármacos pueden afectar estructuras tanto celulares, tisulares y órganos en embriones y larvas de peces que ponen en riesgo su supervivencia. Como consecuencia, se ha observado una disminución en la densidad poblacional de algunos peces, impactando directamente la economía local de pescadores que obtienen recursos de algunos embalses, ríos, estuarios y océanos.

### ¿Qué hacer?

Es indispensable tomar medidas preventivas para evitar que estos contaminantes lleguen a nuestros cuerpos de agua. La implementación de programas que faciliten la recolección de los medicamentos ya caducados o no usados, es necesaria para evitar su vertido a la basura o al retrete, lo que debe unirse a una adecuada regulación que incluya a las grandes industrias farmacéuticas.

### Bibliografía recomendada

1. Castro-Pastrana, L. I., Baños-Medina, M. I., López-Luna, M. A., & Torres-García, B. L. (2015). Ecofarmacovigilancia en México: perspectivas para su implementación. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 46(3), 16-40. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57945705003> (IN FILE)
2. Koagouw, W., Stewart, N. A., & Ciocan, C. (2021). Long-term exposure of marine mussels to paracetamol: is time a healer or a killer? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(35), 48823-48836. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14136-6>
3. Näslund, J., Asker, N., Fick, J., Larsson, D. G. J., & Norrgren, L. (2020). Naproxen affects multiple organs in fish but is still an environmentally better alternative to diclofenac. *Aquatic Toxicology*, 227, 105583. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105583>
4. Shao, S., Qian, L., Zhan, X., Wang, M., Lu, K., Peng, J., Miao, D., & Gao, S. (2020). Transformation and toxicity evolution of amlodipine mediated by cobalt ferrite activated peroxymonosulfate: Effect of oxidant concentration. *Chemical Engineering Journal*, 382, 123005. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123005>
5. Wang, M., Shi, H., Shao, S., Lu, K., Wang, H., Yang, Y., Gong, Z., Zuo, Y., & Gao, S. (2022). Montmorillonite promoted photodegradation of amlodipine in natural water via formation of surface complexes. *Chemosphere*, 286, 131641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131641>

---

This entry was posted on Thursday, February 29th, 2024 at 11:05 pm and is filed under [Ciencias Naturales y de la Salud, Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.