



ARTÍCULO DE REFLEXIÓN

## EFECTOS DEL NAPROXENO COMO CONTAMINANTE EMERGENTE EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

*Effects of Naproxen as an Emerging Contaminant in Aquatic Ecosystems*

**Juliana Alexandra Echeverry Calvache<sup>1,2</sup>**

<https://orcid.org/0000-0001-5725-5782>

[julianaecheverry2020@itp.edu.co](mailto:julianaecheverry2020@itp.edu.co)

**Natalia Estefanía Meza Segura<sup>1,2</sup>**

<https://orcid.org/0000-0002-0518-8108>

[nataliameza2020@itp.edu.co](mailto:nataliameza2020@itp.edu.co)

**Iván Camilo Sánchez Rojas<sup>1,3</sup>**

<https://orcid.org/0000-0001-5959-6695>

[ivan.sanchez@itp.edu.co](mailto:ivan.sanchez@itp.edu.co)

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Recursos Naturales Amazónicos -GRAM- (COL0090487), Instituto Tecnológico del Putumayo, Colombia, 86007

<sup>2</sup>Ingeniera Ambiental

<sup>3</sup>Médico Veterinario Zootecnista

Fecha recepción: 15 de Mayo de 2023 / Fecha Aprobación: 30 de Mayo 2023 / Fecha Publicación: 14 de Agosto 2023

### RESUMEN

En el presente documento se planteó la necesidad de analizar los efectos del naproxeno como contaminante emergente en ecosistemas acuáticos, para lo cual se realizó la respectiva revisión documental sobre sus implicaciones sobre la biodiversidad, su impacto y afectación a organismos acuáticos clave, en donde se pudo evidenciar que incluso en concentraciones bajas, el naproxeno causa alteraciones significativas en procesos biológicos de organismos acuáticos, además su exposición prolongada afecta negativamente el desarrollo, reproducción y supervivencia de diferentes especies, entre las que se resaltan los peces, gasterópodos, bivalvos, crustáceos, entre otros, que son eslabones críticos en las cadenas tróficas, generando deformidades, reducción de fecundidad, incluso aumento de la mortalidad.

Así mismo, la bioacumulación y la biomagnificación amplifican su presencia en niveles tróficos superiores, afectando la fauna y la estabilidad del ecosistema, de tal manera, estos impactos comprometen la biodiversidad acuática, alterando las dinámicas poblacionales y reduciendo la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ecológicos vitales, en donde las especies clave son las más vulnerables a estas afectaciones, es por esto que se resalta la necesidad de estrategias de regulación, mitigación y tratamiento de aguas residuales para proteger la inte-

### Cómo citar:

Echeverry Calvache, J. A., Meza Segura, N. E. & Sánchez Rojas, I. C. (2023). *Efectos del naproxeno como contaminante emergente en ecosistemas acuáticos*. FAGROPEC, 15 (2), ppt. 44-63. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v15n2a4>



gridad de los ecosistemas acuáticos.

**Palabras clave:**

Medicina de la conservación, salud pública, agua.

**ABSTRACT**

This document raised the need to analyze the effects of naproxen as an emerging contaminant in aquatic ecosystems, for which the respective documentary review was carried out on its implications on biodiversity, its impact and affectation to key aquatic organisms, where it was possible to show that even in low concentrations, naproxen causes significant alterations in biological processes of aquatic organisms, in addition its prolonged exposure negatively affects the development, reproduction and survival of different species, among which fish, gastropods, bivalves, crustaceans, among others, stand out, which are critical links in the trophic chains, generating deformities, reduced fertility, even increased mortality.

Likewise, bioaccumulation and biomagnification amplify their presence at higher trophic levels, affecting the fauna and the stability of the ecosystem. In such a way, these impacts compromise aquatic biodiversity, altering population dynamics and reducing the capacity of ecosystems to provide vital ecological services, where key species are the most vulnerable to these impacts. This is why the need for strategies for regulation, mitigation and treatment of wastewater to protect the integrity of aquatic ecosystems is highlighted.

**Keywords:**

conservation medicine, public health, water.

.....  
**INTRODUCCIÓN**

Los contaminantes emergentes se han convertido en un tema de interés global, considerando que se trata de una gran variedad de compuestos de origen antropogénico que pueden causar efectos negativos sobre el ambiente (Alean et al., 2021). En los últimos tiempos, se ha evidenciado la presencia de este tipo de contaminantes en múltiples contextos, generando afectaciones de todo tipo, dado su uso masivo y la falta de control adecuado sobre los mismos.

En este sentido, dentro de los principales contaminantes emergentes se encuentran los fármacos, compuestos que son sumamente necesarios en la sociedad (Zarazúa et al., 2024). Sin embargo, su presencia es persistente en el medio ambiente, produciendo efectos nocivos y principalmente la calidad del agua.

De tal forma, 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 (Vergara y Hernández, 2024).

En este contexto, los contaminantes emergentes representan un peligro para el ecosistema (Romero et al., 2022). Dado que una vez en el recurso hídrico, entran en contacto

---

con organismos acuáticos, ocasionando desequilibrio, además llegando a afectar sus funciones biológicas. Sobre el caso en particular, la presencia del naproxeno tiene efectos tóxicos en organismos acuáticos causando alteraciones bioquímicas y genéticas, estrés oxidativo, problemas endocrinos, inhibición del crecimiento, efectos mutagénicos y, teratogénicos, efectos adversos en la fertilidad y en el sistema inmunológico (Romero et al., 2022).

Dado estos planteamientos, el presente artículo tiene por objetivo analizar los efectos del naproxeno como contaminante emergente en ecosistemas acuáticos, realizando la revisión documental sobre sus implicaciones sobre la biodiversidad, evaluando el impacto del naproxeno y su afectación a organismos acuáticos clave.

## **METODOLOGÍA**

El presente estudio sobre los efectos del naproxeno como contaminante emergente en ecosistemas acuáticos, se llevó a cabo utilizando un enfoque cualitativo y descriptivo, teniendo en cuenta que se buscó identificar los efectos del naproxeno en ecosistemas acuáticos y cómo su exposición continúa afecta el desarrollo, reproducción o mortalidad de los organismos, además de determinar la bioacumulación del naproxeno en la cadena trófica acuática, su acumulación en organismos y cómo este proceso afecta la salud del ecosistema, evaluando el impacto del naproxeno en la biodiversidad acuática y su afectación a organismos acuáticos clave.

Para estos propósitos se realizó la búsqueda de información y de literatura relacionada con esta temática, por medio de la revisión documental y bibliográfica, a través de buscadores académicos acorde con el nivel de la investigación, de modo que se logró identificar información relevante para el sustento y desarrollo de los objetivos, siendo clave el análisis de datos para la comprensión de los interrogantes planteados.

De este modo, se planteó la identificación de fuentes de datos, como primer paso para la recopilación de información, por lo que se llevó a cabo por medio de: Google académico, Google libros, Proquest, Redalyc, Scielo, ResearchGate, Dialnet, Revistas científicas, Repositorios institucionales y Bibliotecas digitales, entre otros, tanto a nivel nacional como internacional, relacionando el campo de búsqueda principalmente con la presencia del naproxeno en los ecosistemas acuáticos y sus efectos sobre dichos ecosistemas.

Por otra parte, la filtración de los resultados de búsqueda de datos comprendió en lo mayor posible bibliografía de años recientes, centrando en los estudios que sean más actuales, procurando la calidad y confiabilidad de la información consultada, seleccionando los de referencia específica a temas claves como el naproxeno, ecosistemas acuáticos, efectos toxicológicos y contaminantes emergentes, almacenando la información en una matriz de análisis, controlando la duplicidad de las referencias bibliográficas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### ***Ecosistemas Acuáticos***

En los ecosistemas naturales, los seres vivos mantienen una relación dinámica y constante con el medio físico que los rodea, esta interacción implica una transformación continua de materia y energía, donde los recursos del entorno son utilizados y reciclados a través de procesos biológicos, químicos y físicos, estas transformaciones permiten el desarrollo de ciclos fundamentales que son esenciales para la vida, con procesos de cambio y adaptación de los ecosistemas, con alta biodiversidad, manteniendo un equilibrio ecológico (Takara, 2022).

Igualmente, los ecosistemas acuáticos son componentes fundamentales del medio ambiente mundial, dado que, además de contribuir de manera esencial a la biodiversidad y la productividad ecológica, también proporcionan una variedad de servicios a las poblaciones humanas, como agua para beber y para riego, oportunidades recreativas y hábitat para pesquerías de importancia económica (Prakash, 2021). Existen ciertos tipos de ecosistemas acuáticos los cuales se describen a continuación, en la tabla 1.

**Tabla 1**  
***Tipos de ecosistemas acuáticos***

Ecosistema	Interiores	Lóticos	Río, Arroyo y Petén Humedales	Bordo, embalse
		Lenticos	Sistemas de aguas profundas	Lago y laguna
	Costeros		Humedales	Marisma, estero, estuario
			Sistemas de aguas profundas	
Marinos		Arrecife	Laguna costera y bahía	

Nota. Tomado de (Aguilar y Martin, 2021).

### ***Agua***

El agua es un elemento complejo y fascinante que nos recuerda constantemente la dependencia de ella y la fragilidad de nuestra existencia (Camargo y Camacho, 2019). En tal sentido, el recurso hídrico es uno de los elementos esenciales para la vida y en los ecosistemas del planeta, dado que interviene en muchos de los procesos ambientales y está relacionado con su buen funcionamiento (Mancilla et al., 2022).

No obstante, el aumento de la demanda en el uso del agua trae consigo serios problemas de contaminación, tanto de naturaleza química como biológica, cuya corrección requiere de costosos sistemas de control (Gastañaga, 2018). De igual forma, el agotamiento y la contaminación del agua son las principales causas de la pérdida de biodiversidad y de la degradación de los ecosistemas (UNESCO, 2020).

### **Organismos Acuáticos**

Los organismos acuáticos son seres vivos que habitan predominantemente en ambientes de agua, incluyendo océanos, ríos, lagos y humedales, esta amplia categoría abarca desde microorganismos como el plancton hasta mamíferos marinos de gran tamaño (Duarte, 2006).

Estos organismos, son fundamentales para el equilibrio ecológico, teniendo en cuenta que sostienen las cadenas alimentarias y participan en los diferentes ciclos biogeoquímicos globales, a su vez, su salud se encuentra intrínsecamente relacionada con el estado de los ecosistemas acuáticos, que enfrentan numerosas amenazas como resultado de las actividades humanas (UNESCO, 2020).

### **Contaminante Emergente**

La presencia de restos de fármacos, plaguicidas y otras sustancias, son llamadas contaminantes emergentes, también llamados microcontaminantes (Jaimes y Vera, 2020). Estos comprenden productos farmacéuticos, del cuidado personal, surfactantes, aditivos industriales, plastificantes, plaguicidas y una gran variedad de compuestos químicos que, aunque se encuentran en bajas concentraciones son capaces de alterar las funciones endocrinas, es por esa razón que han llegado a ser un serio problema (García et al., 2011). Los contaminantes emergentes de mayor preocupación son los fármacos, dado que se ha demostrado los daños o alteraciones que pueden generar estas sustancias en el ecosistema, por ejemplo, los analgésicos como el acetaminofén y el naproxeno que son de amplio uso por la población mundial (Marimon y Rodríguez, 2024). La característica de estos grupos de contaminantes es que no necesitan estar constantemente en el ambiente para causar efectos negativos, puesto que sus altas tasas de transformación/remoción se pueden compensar por su introducción continua en el ambiente (Gil et al., 2012).

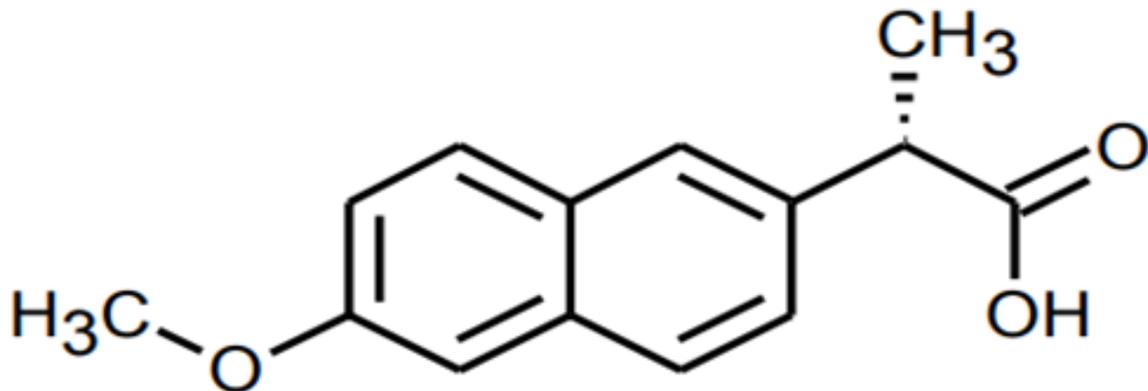
### **Naproxeno**

De acuerdo con el Instituto Nacional del Cáncer (2024) la definición de naproxeno es la siguiente:

“Medicamento que se usa para tratar el dolor leve y los síntomas de la artritis y varias otras afecciones. Asimismo, está en estudio para el tratamiento del dolor de huesos en los pacientes de cáncer. El naproxeno impide que el cuerpo elabore sustancias que causan dolor e inflamación. Es un tipo de medicamento antiinflamatorio no esteroide (AINE) y un inhibidor de la ciclooxigenasa. También se llama Naprosyn.”

Los AINE son fármacos persistentes y recurrentes en los sistemas acuáticos. Esto probablemente se asocia a que son compuestos de libre venta y de mayor consumo (Contreras y González, 2022). La presencia de fármacos en cuerpos de agua genera un problema de salud al exponer organismos vivos a estos contaminantes de origen antropogénico (Silva et al., 2013). El nombre químico del naproxeno es (Ácido (S)-2-(6-metoxi-2-naftil) propanoico, C<sub>14</sub>H<sub>14</sub>O<sub>3</sub>), es un compuesto liposoluble, tiene muy baja solubilidad en agua y dicha solubilidad aumenta a pH básico (Bigagli, 2022). En la figura 1 se describe su estructura química.

**Figura 1**  
**Estructura química del naproxeno**



Nota. Tomado de (Silva et al., 2013).

### ***Mecanismos de Toxicidad del Naproxeno***

El naproxeno es un contaminante emergente en ecosistemas acuáticos debido a su persistencia y toxicidad generando estrés oxidativo que daña proteínas, lípidos y ADN afectando procesos biológicos esenciales como la fotosíntesis y la respiración en organismos acuáticos (Rodríguez, 2020).

Además, el naproxeno puede afectar las funciones endocrinas en especies acuáticas, interfiriendo con la reproducción y el crecimiento, lo que disminuye sus poblaciones. Sus efectos se amplifican al interactuar con otros contaminantes, aumentando el riesgo ecotoxicológico en los cuerpos de agua (Castro Fernández, 2022).

### ***Bioacumulación del Naproxeno***

La bioacumulación del naproxeno en ecosistemas acuáticos ocurre principalmente en organismos como peces y crustáceos, debido a su capacidad para absorber y retener este compuesto en sus tejidos, incluyendo hígado, riñón y branquias (Cuñat y Ruiz, 2016). Aunque el naproxeno se degrada por fotólisis en condiciones ideales, en cuerpos de agua no siempre se descompone rápidamente, además, su persistencia y la presencia de metabolitos pueden potenciar su toxicidad, afectando funciones reproductivas y el crecimiento de organismos acuáticos (Checa et al., 2021).

### ***Situación Mundial de Uso de Naproxeno***

El consumo de antiinflamatorios no esteroides (AINE) es generalizado y se usan no sólo por sus propiedades antiinflamatorias, analgésicas y antipiréticas, sino también por sus importantes efectos beneficiosos como la protección cardiovascular y la prevención del cáncer (Clàriaa, 2001). A pesar de su eficacia clínica, los AINE pueden causar complicaciones gastrointestinales y cardiovasculares. Además, el uso de AINE se caracteriza por una notable variabilidad individual en el grado de inhibición de la isoenzima COX, la eficacia terapéutica y la incidencia de efectos adversos (Maseda y Ricciotti, 2020).

### **Eliminación y Disposición Final del Naproxeno**

Una de las formas que emplea la industria farmacéutica para controlar la emisión de los contaminantes emergentes al medioambiente es a través de la validación de la limpieza del equipamiento que se utiliza en la producción (Lazo et al., 2024).

Entorno a la detección y tratamiento, van desde el tratamiento mediante el uso de métodos convencionales hasta la aplicación de tecnologías más novedosas como los procesos avanzados de oxidación (Silva et al., 2013). De igual forma, la disposición final de este tipo de desechos debe realizarse mediante incineración en las calderas de hornos cementeros, fundidoras o plantas generadoras de electricidad (García et al., 2021).

En cuanto a la descomposición biológica del naproxeno la realizan hongos, algas y bacterias, pero la única vía bien descrita para su degradación completa es la degradación del naproxeno por *Bacillus thuringiensis* (Wojcieszynska y Guzik, 2020).

### **Efectos en los Ecosistemas Acuáticos**

En el caso del naproxeno se ha detectado su presencia en agua dulce, agua de mar y sedimentos, sin embargo, se encuentran como mezcla en lugar de compuestos individuales, considerando que son diversos los efectos del naproxeno según el entorno en el que se encuentra (Trombini et al., 2020). En este contexto, en la siguiente tabla se presentan los efectos del naproxeno, según la especie afectada:

**Tabla 5**  
**Efectos del naproxeno**

<b>Especie afectada</b>	<b>Tipo de Efecto</b>	<b>Autor</b>
Rotífero ( <i>Brachionus calyciflorus</i> ), Camarón hada ( <i>Thamnocephalus platyurus</i> ), Pulga de agua ( <i>Ceriodaphnia dubia</i> )	Los productos de descomposición reducen el crecimiento y la reproducción y tienen mayores efectos tóxicos en concentraciones más bajas que el propio naproxeno en pequeños crustáceos y rotíferos.	Isidori et al. (2005) DellaGreca et al. (2003)
Mosquito ( <i>Aedes aegypti</i> )	Reduce la eclosión de los huevos y la pupación, pero no afecta la mortalidad de las larvas. El naproxeno también reduce la fecundidad media de las hembras y las generaciones posteriores parecen ser más resistentes a la exposición.	Calma y Medina (2020)
Rotífero ( <i>Brachionus calyciflorus</i> ) Pulga de agua ( <i>Ceriodaphnia dubia</i> )	Inhibición del crecimiento/reproducción.	Isidori et al. (2005)
Anfípodo ( <i>Hyalella azteca</i> )	Estrés oxidativo y genotoxicidad.	García et al. (2015)
Mejillón de agua dulce ( <i>Elliptio complanata</i> )	Inducción o inhibición de diversos efectos inmunotóxicos en los hemocitos.	Gagné et al. (2006)

Hidra ( <i>Hydra magnipapillata</i> )	Contracción de la columna corporal y los tentáculos (una respuesta al estrés) y alteraciones en la transcripción genética durante 24 horas. Inhibición de la regeneración.	Yamindago et al. (2019)
Pulga de agua ( <i>Moina macrocopa</i> )	Reducción del crecimiento poblacional en el rango de concentraciones y reducción de la fecundidad a 30.000.000 ng/L.	Kwak et al. (2018)

Nota. La tabla describe los efectos subletales del naproxeno, adaptado de Davison et al. (2021).

Así mismo, se han detectado altas bioconcentraciones de naproxeno en peces salvajes a través de la acumulación constante del medio ambiente, lo que resulta en un mayor riesgo crónico, en donde el naproxeno puede afectar negativamente el comportamiento, el desarrollo y la expresión de genes antioxidantes de peces (Xu et al., 2019).

De forma similar, el naproxeno tiene efectos nocivos sobre organismos animales y vegetales, como cambios mutagénicos en sistemas bacterianos, efectos teratogénicos, feminización, hermafroditismo, efectos adversos sobre la fertilidad y reproducción de los peces, alteraciones en el crecimiento o en el sistema inmune (Moreno et al., 2022).

Por su parte, el naproxeno disminuyó el crecimiento y la reproducción del pez cebra y provocó alteraciones histopatológicas en las gónadas en concentraciones tan bajas como 0,1 µg/L. A nivel molecular, 0,7 µg/L de naproxeno provocó alteración de la transcripción de genes en las gónadas que participan en varios procesos biológicos asociados con la reproducción, que involucran principalmente la biosíntesis de hormonas esteroides y los mecanismos epigenéticos/epitranscriptómicos. En conjunto, las concentraciones ambientalmente realistas de naproxeno afectan la reproducción del pez cebra (Barros et al., 2024).

Por otra parte, el naproxeno debido a su menor tasa de descomposición y las limitaciones de los procesos actuales de tratamiento de aguas residuales, puede afectar negativamente a las estructuras de los riñones, el hígado y la mandíbula de los peces (Lakshmi et al., 2024). En este sentido, el naproxeno afecta la histología renal y la expresión génica hepática, e induce lesiones en la mandíbula en peces, se han descrito efectos citológicos en riñones y otros órganos de peces salmónidos en concentraciones de hasta 1 µg/L, de forma que, los peces parecen ser el organismo acuático más sensible a este fármaco (Näslund et al., 2020).

Existen varias vías a través de las cuales los productos farmacéuticos de desecho pueden llegar a los organismos; la principal es a través de la descarga de aguas residuales en los ecosistemas acuáticos, afectando a organismos como microorganismos, peces e invertebrados, que pueden ser consumidos por niveles tróficos superiores y causar efectos de cascada trófica (Martínez y Cuautle, 2019).

La exposición crónica al naproxeno presenta afectaciones a la reproducción en crustá-

---

ceos, la supervivencia de peces juveniles, pero las concentraciones efectivas son unos pocos órdenes de magnitud más altas que las detectadas en el agua ambiente. Además, la exposición al naproxeno a través del agua durante las primeras etapas de la vida de los peces medaka causa efectos adversos en la transcripción genética relacionada con las vías esteroidogénicas (Kwak et al., 2018).

Igualmente, el naproxeno forma compuestos que son más tóxicos para los organismos planctónicos que el compuesto original. Estos productos de degradación son en promedio: de 4 a 14 veces más tóxicos para el rotífero (*Brachionus calyciflorus*); de 4 a 16 veces para los crustáceos (*Thamnocephalus platyurus* y *Ceriodaphnia dubia*); y de 1 a 9 veces para *Daphnia magna* 50. Los efectos fueron más pronunciados en las algas, *Pseudokirchneriella subcapitata*, donde el crecimiento se inhibió a una EC50 de entre 1,9 y 6,86 mg/L para los productos de degradación (Davison et al., 2021).

En el caso de poblaciones de algas, rotíferos y pequeños crustáceos se atrofian por la presencia de naproxeno y sus productos de degradación más tóxicos, dado que el naproxeno causa edema pericárdico y daño hepático histopatológico, puede considerarse una amenaza potencial para los organismos acuáticos (Górny et al., 2019).

### ***Efectos en el Desarrollo y Reproducción de Organismos Acuáticos***

En el caso del naproxeno se ha detectado en sistemas acuáticos y es considerado un potencial disruptor hormonal en peces (Romero et al., 2022). El tiempo de vida media de estos contaminantes en el medio ambiente es variado, siendo de 0.8 a 32 días en el aire y de 8 días a 40 días en agua (Gómez et al., 2023).

La exposición también afecta a las células de las branquias y el hígado, modula el comportamiento alimentario y obstaculiza el desarrollo físico de los peces mediante retraso del crecimiento, malformaciones esqueléticas y cartilaginosas y cambios en la textura y las propiedades fisicoquímicas de los músculos (Banerjee y Maric, 2023).

En igual sentido, se ha confirmado que la exposición al naproxeno provoca daños, fragmentación y cambios transcripcionales en el ADN de los gasterópodos y crustáceos, y afecta a la reproducción, la eclosión, el desarrollo larvario y la supervivencia general (Banerjee y Maric, 2023).

### ***Estrategias de Mitigación y Regulación***

En el afluente de las PTAR de países latinoamericanos se detectaron 104 tipos de emergentes, siendo naproxeno y 17  $\beta$ - estradiol los contaminantes con más datos reportados (Rojas, 2021). Por lo general están presentes en bajas concentraciones, por lo que es difícil detectarlos en el ambiente; sin embargo, estos se bioacumulan en los organismos, causando toxicidad (Can, 2021).

A continuación, se presentan algunos de los métodos convencionales principales enfocados en estrategias de mitigación y control de contaminantes emergentes en el agua:

---

**Tratamientos Físicoquímicos.** Dentro de los tratamientos físicoquímicos para remover CE, se encuentran procesos tradicionales de tratamientos de aguas tales como la coagulación y la floculación. Sin embargo, estos son incapaces de remover compuestos de rompimientos de endocrinas (nonilfenol, estrona (E1), estradiol (E2) y muchos otros), productos farmacéuticos y productos de cuidado personal, por sí solos (Gómez et al, 2020).

**Ultrafiltración.** De acuerdo con Duarte (2006), los procesos de separación físicoquímicos que emplean membranas, tales como la ultrafiltración (UF), son tecnologías cuyo uso se está incrementando en el campo de los tratamientos de agua y aguas residuales que producen agua clara disponible para diferentes aplicaciones. Sin embargo, la UF individual, algunas veces es inefectiva para la remoción de la mayoría de los CE, debido a la capacidad de retención limitada de las membranas de UF como también al fouling de la membrana.

**Oxidación.** La oxidación es un mecanismo de remoción prometedora especialmente cuando se emplea cloro u ozono. Sin embargo, se requiere hacer una selección cuidadosa, ya que la reacción de estos químicos produce bioproductos cuyos efectos se desconocen (Zarazúa et al., 2024).

**Empleo de adsorbentes.** Los procesos de adsorción no generan subproductos no deseables al agua potable; sin embargo, se requieren altas tasas de consumo de adsorbente en el caso de usar carbón activado para absorber contaminantes orgánicos polares (Mancilla et al., 2022). Varios estudios evaluaron la absorción de CE individuales sobre carbones activados en agua ultrapura y en competencia con materia orgánica natural; sin embargo, solo unos pocos han evaluado la remoción de una mezcla de contaminantes por medio de adsorción con carbón activado (García et al., 2011).

**Tratamiento con membranas.** La tecnología de biorreactores con membrana se considera como el desarrollo más prometedor en el tratamiento microbiológico de aguas residuales. Esta tecnología combina un proceso de degradación biológico usando un lodo activado, con una separación sólido-líquido a través de un proceso de UF (Gastañaga, 2018).

Con el paso del tiempo y el progreso de las sociedades humanas, se ha evidenciado que además de los contaminantes comunes, los compuestos farmacéuticos también se consideran una de las fuentes más importantes de contaminación, especialmente la del agua (Teherán et al., 2023). De esta forma, la contaminación ambiental es una amenaza creciente para los ecosistemas naturales y una de las preocupaciones más relevantes actualmente en el mundo, considerando el creciente uso de productos farmacéuticos considerados como importantes contaminantes emergentes, dichos productos entran en los ambientes acuáticos a través de múltiples vías relacionadas con la actividad antropogénica (Papaioannou et al., (2023).

Los contaminantes emergentes son sustancias químicas sintéticas o naturales o cualquier microorganismo que no se controla comúnmente en el medio ambiente, pero que

---

tienen el potencial de ingresar al medio ambiente y causar efectos adversos para la salud humana o ecológica (Kumar et al., 2022). Así mismo, los contaminantes emergentes son aquellos para los que actualmente no existe ninguna regulación que exija el monitoreo o la notificación pública de su presencia en nuestro suministro de agua o aguas residuales (Morin et al., 2022).

De esta forma, los contaminantes emergentes son principalmente sustancias nuevas que, con los cambios sociales y económicos de las últimas décadas, se han liberado en los cuerpos de agua en cantidades relevantes con el consiguiente riesgo para los ecosistemas acuáticos (Zenker et al., 2014). Así mismo, el aumento de los niveles de sustancias farmacológicas en el ambiente y sus potenciales efectos adversos sobre los sistemas biológicos constituyen un problema de relevancia global que plantea mayores desafíos a los países con altas tasas de crecimiento poblacional (Martínez y Cuautle, 2019).

En este aspecto, en el caso de los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) tienen efectos ecotóxicos crónicos sobre los componentes bióticos de los ecosistemas (Tyumina et al., 2020). Sin embargo, aunque las concentraciones de AINE en aguas superficiales son bajas, la alta actividad biológica de estas moléculas puede conferirles una toxicidad potencial hacia organismos acuáticos no objetivo (Parolini, 2020).

Por otra parte, en el tratamiento del dolor postoperatorio a menudo es insuficiente, por lo que se requiere tratamientos farmacológicos, como los fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) a los cuales pertenece el naproxeno. El naproxeno se utiliza para tratar una variedad de trastornos relacionados con el dolor, inclusive el dolor postoperatorio agudo, siendo eficaz para el alivio del dolor en adultos que sufren dolor agudo después de la cirugía (Mason et al., 2005).

Además, en las urgencias odontológicas, las razones principales de atención en consultorios, el dolor se encuentra acompañado por inflamación, por lo que el uso de antiinflamatorios no esteroideos (AINE) es común en el ejercicio de la odontología por la excelente respuesta analgésica y antiinflamatoria que tiene, el AINE más prescrito es el naproxeno (32.7%), seguidamente del ibuprofeno (18.6%), diclofenaco (10.6%) y nimesulida (7.1%) (Keb, 2022).

En este contexto, los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) son de los fármacos más ampliamente utilizados en todo el mundo por sus efectos analgésicos antipiréticos y antiinflamatorios, además de otras indicaciones como antiagregantes plaquetarios. Sin embargo, la automedicación es una práctica frecuente y que genera múltiples efectos adversos, como úlceras, infección, sangrado y perforación intestinal, hepatotoxicidad e insuficiencia renal aguda, entre otros (Rivera, 2021).

De tal forma, el naproxeno debido a su uso generalizado, se ha detectado con frecuencia tanto en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, como en aguas superficiales en todo el mundo (Kwak et al., 2018). El naproxeno se utiliza ampliamente en humanos, en las industrias veterinaria y acuícola (Teherán et al., 2023). De modo

---

que, debido a su actividad biológica, el naproxeno puede influir en los organismos vivos y reducir la biodiversidad de las comunidades ambientales naturales (Górny et al., 2019). Los efectos del naproxeno como contaminante emergente en ecosistemas acuáticos son variados y en el caso de los peces parecen ser el organismo acuático más sensible a este fármaco (Näslund et al., 2020). Además de los efectos nocivos sobre las poblaciones de peces, se ha descubierto también efectos negativos sobre gasterópodos, bivalvos y crustáceos, todos ellos eslabones críticos en las cadenas tróficas acuáticas (Banerjee y Maric, 2023).

De tal manera, debido a la naturaleza de los productos farmacéuticos, la cantidad de uso aumenta constantemente y es muy difícil evitar su descarga al sistema de agua especificando la ruta de descarga (Ahn et al., 2022). En este contexto, en el medio natural los fármacos no se encuentran de forma individual sino como mezclas multicomponentes (Pawłowska et al., 2021).

En este sentido, los productos de fototransformación son más persistentes y más tóxicos que el propio naproxeno, teniendo en cuenta que la fototransformación más lenta de los productos de fototransformación en relación con el naproxeno sugiere un mayor potencial de acumulación en el medio ambiente, particularmente cuando el naproxeno se libera continuamente (Cory et al., 2019).

En efecto, en cuanto a las consecuencias de la degradación del naproxeno inducida por la luz solar en el medio ambiente, la irradiación directa con luz ultravioleta podría ser una herramienta eficiente para la eliminación del naproxeno de las aguas contaminadas (Cazzaniga et al., 2020). Ahora bien, el principal método de eliminación del naproxeno del medio ambiente es su fototransformación, además, para la purificación de aguas residuales cargadas con naproxeno, se utilizan procesos como la oxidación avanzada (Górny et al., 2019).

Sin embargo, aunque la contaminación farmacéutica es una preocupación ambiental global, aún queda mucho por saber sobre la transformación de estos productos en la naturaleza y sus efectos sobre la vida silvestre (Cory et al., 2019). De forma que se requieren más estudios para profundizar sobre los efectos que estos contaminantes emergentes generan en los ecosistemas acuáticos.

## CONCLUSIONES

El análisis de los efectos del naproxeno en ecosistemas acuáticos deja en evidencia que su presencia, aún incluso en bajas concentraciones, puede causar alteraciones significativas sobre los procesos biológicos esenciales de los organismos acuáticos, este tipo de fármaco está diseñado para influir en el sistema biológicos de humanos, también con aplicaciones en la industria veterinaria y acuícola, tiene el potencial de interferir en rutas metabólicas sensibles de otras especies no objetivo.

En este sentido, se han evidenciado que mediante una exposición prologada al napro-

---

xeno se pueden ocasionar afectaciones negativas al desarrollo temprano de organismos como peces, gasterópodos, bivalvos, crustáceos, todos ellos eslabones críticos en las cadenas tróficas acuáticas, generando deformidades, retraso en el crecimiento, alterando los procesos de reproducción, reduciendo la fecundidad, entre otras afectaciones debido a las disrupciones hormonales o fisiológicas.

De igual forma, la exposición continua incrementa la mortalidad en poblaciones vulnerables, lo que podría generar desequilibrios significativos en la estructura de las comunidades acuáticas, de esta forma, la bioacumulación del naproxeno en las cadenas tróficas acuáticas permite la comprensión de la forma en que este compuesto, que inicialmente se presenta en concentraciones bajas en el agua, puede amplificarse a través de los niveles tróficos, acumulándose en los tejidos de animales, iniciando un efecto en cascada en la cadena alimenticia.

En este contexto, esta acumulación puede incrementarse debido a procesos de biomagnificación, especialmente en peces y otros organismos de mayor tamaño, de forma que la presencia del naproxeno en los niveles tróficos superiores genera riesgos tanto para la fauna, como para la estabilidad del ecosistema, con afectaciones subletales en diferentes especies, lo que compromete su supervivencia y reproducción.

En efecto, con estos fenómenos el naproxeno puede alterar las dinámicas poblacionales y a largo plazo, afectar la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos, principalmente comprometiendo la capacidad de proporcionar servicios ecológicos vitales, de modo que el impacto del naproxeno en la biodiversidad acuática es significativo, toda vez que afecta de manera directa e indirecta a organismos clave que tienen un papel esencial en los ecosistemas.

En consecuencia, el naproxeno puede llegar a reducir la diversidad de especies sensibles, alterando las interacciones ecológicas y la funcionalidad en general del ecosistema, considerando que las especies clave afectadas, actúan como reguladoras de las poblaciones y contribuyen a mantener el equilibrio ecológico, por tanto, el uso continuo del naproxeno y su liberación en los ambientes acuáticos representan un riesgo para la biodiversidad, por lo que se resalta la necesidad de desarrollar estrategias de regulación, mitigación y tratamiento de aguas residuales para proteger la integridad de los ecosistemas acuáticos.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Boluarte, B. D., & Martin Espinoza, K. I. (2021). Revisión sistemática: tipos de bioindicadores para la identificación de la calidad de ecosistemas acuáticos. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/83655>
- Ahn, C., Kim, J., Lee, Y., & Kim, S. (2022). Risk assessment of Naproxen and Sulfamethoxazole in Aquatic Ecosystem. 22(3), 179-188. <https://www.earticle.net/Article/A431130>
- Alean Flórez, J., Márquez Méndez, D., Burgos Núñez, S., Montes, G. E., & Negrete, J. M. (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://www.proquest.com/docview/2556887125>
- Barros, S., Coimbra, A. M., Herath, L. A., Alves, N., Pinheiro, M., Ribeiro, M., ... & Neuparth, T. (2024). Are Environmental Levels of Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs a Reason for Concern? Chronic Life-Cycle Effects of Naproxen in Zebrafish. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c05599>
- Bigagli Navarro, D. (2022). Eliminación de antiinflamatorios no esteroideos mediante oxidación electroquímica con ánodos basados en sustratos textiles (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). <https://riunet.upv.es/handle/10251/185942>
- Calma, M. L., & Medina, P. M. B. (2020). Acute and chronic exposure of the holometabolous life cycle of *Aedes aegypti* L. to emerging contaminants naproxen and propylparaben. *Environmental Pollution*, 266, 115275. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115275>
- Camargo, A., & Camacho, J. (2019). Convivir con el agua. *Revista Colombiana de Antropología*, 55(1), 7-25. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0486-65252019000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0486-65252019000100007&script=sci_arttext)
- Can Ubando, L. C. (2021). Capacidad de degradación de antiinflamatorios no esteroideos por bacterias. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/112602>
- Castro Fernández, J. A. (2022). Remoción electroquímica de fármacos empleando un reactor continuo con electrodos modificados con óxidos de metales de transición. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 9(16), 148. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2016.16.56909>
- Cazzaniga, N., Varga, Z., Nicol, E., & Bouchonnet, S. (2020). UV-visible photodegradation of naproxen in water—Structural elucidation of photoproducts and potential toxicity. *European Journal of Mass Spectrometry*, 26(6), 400-408. <https://doi.org/10.1177/1469066720973412>

- Checa Artos, M., Sosa Del Castillo, D., Ruiz 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>
- Clàriaa, J. (2001). Los nuevos antiinflamatorios. *Medicina Integral*. Vol. 38. Núm. 4. Páginas 175-183. <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-los-nuevos-antiinflamatorios-13018802>
- Contreras-Almazo, I. A. E., & González-Rentería, M. (2022). Bivalvos, organismos modelo en el biomonitorio del riesgo ecotoxicológico de los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) para los ecosistemas acuáticos. *Ecosistemas*, 31(2), 2167-2167. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2167>
- Cory, W. C., Welch, A. M., Ramirez, J. N., & Rein, L. C. (2019). Naproxen and its phototransformation products: persistence and ecotoxicity to toad tadpoles (*Anaxyrus terrestris*), individually and in mixtures. *Environmental toxicology and chemistry*, 38(9), 2008-2019. <https://doi.org/10.1002/etc.4514>
- Cuñat, Z. A., & Ruiz, M. J. (2016). Ensayos de ecotoxicidad de los fármacos y efectos tóxicos en el medio ambiente: Revisión. *Revista de Toxicología*, 33(2), 108-119. Asociación Española de Toxicología. [http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91949104007\(91949104007\)](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91949104007(91949104007))
- Davison, H., Macadam, C. R., & Smith, D. (2021). Pharmaceuticals in freshwater environments and their potential effects on freshwater invertebrates. <https://cdn.bu-gliflfe.org.uk/2021/11/Pharmaceuticals-in-freshwater-environments-and-their-potential-effects-on-freshwater-invertebrates-1.1.pdf>
- DellaGreca, M., Brigante, M., Isidori, M., Nardelli, A., Previtera, L., Rubino, M., & Temussi, F. (2003). Phototransformation and ecotoxicity of the drug Naproxen-Na. *Environmental Chemistry Letters*, 1, 237-241. <https://doi.org/10.1007/s10311-003-0045-4>
- Duarte, C. M. (2006). La exploración de la biodiversidad marina: Desafíos científicos y tecnológicos. *Comunicación y Gestión Ambiental ALAIRE*, S.L., 158 p. [https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE\\_2006\\_Exploracion\\_biodiversidad.pdf](https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE_2006_Exploracion_biodiversidad.pdf)
- Gagné, F., Blaise, C., Fournier, M., & Hansen, P. D. (2006). Effects of selected pharmaceutical products on phagocytic activity in *Elliptio complanata* mussels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 143(2), 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.01.008>
- García-Gómez, C., Gortáres-Moroyoqui, P., & Droguí, P. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva*, 10(2), 96-105. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86319141004.pdf>

- 
- García-Medina, A. L., Marcela, Galar-Martínez, M., García-Medina, S., Gómez-Oliván, L. M., & Razo-Estrada, C. (2015). Naproxen-enriched artificial sediment induces oxidative stress and genotoxicity in *Hyalella Azteca*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2454-y>
- García-Morales, M. A., Contreras-Rodríguez, A., Arreola, A., Guadalupe, M., Ruiz, E. A., & Morales-García, M. R. (2021). Manejo de residuos de fármacos: una breve revisión. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 37. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v37/0188-4999-rica-37-329.pdf>
- Gastañaga, M. C. (2018). Agua, saneamiento y salud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35, 181-182. <https://www.scielosp.org/article/rpmpesp/2018.v35n2/181-182/es/>
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+ limpia*, 7(2), 52-73. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552012000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552012000200005&script=sci_arttext)
- Gómez Martínez, F. G., Ramírez García, J., García Fabila, M. G., & Gómez Hinojos, A. (2020). Identificación de compuestos de degradación como evidencia de la contaminación de efluentes de hospitales por Naproxeno. [Identification of degradation compounds as evidence of contamination of hospital effluents by Naproxen] *Revista Internacional De Contaminación Ambiental = International Journal of Environmental Pollution*, Suppl. Memorias XVIII Congreso Internacional y XXIV Congreso Nacional De Ciencias Ambientales, 36, 79. <https://www.proquest.com/docview/2386330757>
- Górny, D., Guzik, U., Hupert-Kocurek, K., & Wojcieszynska, D. (2019). Naproxen ecotoxicity and biodegradation by *Bacillus thuringiensis* B1 (2015b) strain. *Ecotoxicology and environmental safety*, 167, 505-512. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.067>
- Instituto Nacional del Cáncer. (2024). Naproxeno. *Diccionario de cáncer del NCI*. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/naproxeno>
- Isidori, M., Lavorgna, M., Nardelli, A., Parrella, A., Previtera, L., & Rubino, M. (2005). Ecotoxicity of naproxen and its phototransformation products. *Science of the Total Environment*, 348(1-3), 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.068>
- Isidori, M., Lavorgna, M., Nardelli, A., Pascarella, L., & Parrella, A. (2005). Toxic and genotoxic evaluation of six antibiotics on non-target organisms. *Science of the total environment*, 346(1-3), 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.017>
- Keb Canul, A. F. (2022). Mecanismo de los AINES y antiinflamatorios derivados para el control del dolor y la inflamación. Uso de antiinflamatorios en odontología. *Revista ADM Órgano Oficial de la Asociación Dental Mexicana*, 79(1), 38-47. <https://www.me->

---

digraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=103817

- Kumar, R., Qureshi, M., Vishwakarma, D. K., Al-Ansari, N., Kuriqi, A., Elbeltagi, A., & Saraswat, A. (2022). A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100219. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100219>
- Kwak, K., Ji, K., Kho, Y., Kim, P., Lee, J., Ryu, J., & Choi, K. (2018). Chronic toxicity and endocrine disruption of naproxen in freshwater waterfleas and fish, and steroidogenic alteration using H295R cell assay. *Chemosphere*, 204, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.035>
- Lakshmi, S. D., Geetha, B. V., & Vibha, M. (2024). From prescription to pollution: The ecological consequences of NSAIDs in aquatic ecosystems. *Toxicology Reports*, 101775. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101775>
- Lazo Fraga, A. R., Viltres Portales, M., Díaz García, A. L., Estévez Hernández, O. L., González Quintela, M., Bustamante Sánchez, M., García Zaldívar, O., Peláiz Barranco, A., Díaz Villavicencio, L., Balbín Tamayo, A. I., & Luaces Alberto, M. D. (2024). Desarrollo de sensores electroquímicos para la detección de metales tóxicos y contaminantes emergentes. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 14(2), 1597. <https://revis-taccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/1597>
- López, D. M., & Soto, M. F. V. (2020). Contaminantes emergentes en diferentes matrices de aguas y tratamientos alternativos para su eliminación. *Repositorio Institucional Unicordoba*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstreams/d040daa5-e9f1-4271-aa2f-3c0430e1fabb/download>
- Lorenzo., A. Moreno, I. Lizasoain, J.C. Leza, M.A. Moro, A. Portóles, (2008). *Farmacología Básica y Clínica*. Buenos Aires: Panamericana. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=742163>
- Mancilla Villa, O. R., Gómez Villaseñor, L., Olgún López, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Hernández Vargas, O., Ortega Escobar, H. M., ... & Palomera García, C. (2022). Contaminación orgánica por coliformes, Nitrógeno y Fósforo en los ecosistemas acuáticos de la cuenca Ayuquila-Armería, Jalisco, México. *Biotecnia*, 24(1), 5-14. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562022000100005&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562022000100005&script=sci_arttext)
- Marimon Angulo, M., & Rodríguez Díaz, Y. J. (2024). Influencia de las Ptar de la Ciudad de Valledupar y el Municipio de la Paz en la Incorporación de los Contaminantes Emergentes Gemfibrozilo y Progesterona en el Río Cesar. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica*, 4(3), 152–169. <https://estudiosyperspectivas.org/index.php/EstudiosyPerspectivas/article/view/380>
- Martínez Carrasco, N., & Cuautle, M. (2019). Impact of pharmaceutical waste on biodiver-

---

sity. Ecopharmacovigilance: Multidisciplinary Approaches to Environmental Safety of Medicines, 235-253. [https://doi.org/10.1007/698\\_2017\\_151](https://doi.org/10.1007/698_2017_151)

Maseda, D., & Ricciotti, E. (2020). NSAID–gut microbiota interactions. *Frontiers in pharmacology*, 11, 1153. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.01153>

Mason, L., Edwards, J. E., Moore, R. A., & McQuay, H. J. (2005). Dosis única oral de naproxeno y naproxeno sódico para el dolor postoperatorio agudo. *Biblioteca Cochrane Plus*, (2). [https://www.rima.org/web/medline\\_pdf/CD004234-ES.pdf](https://www.rima.org/web/medline_pdf/CD004234-ES.pdf)

Moreno Ríos, A. L., Gutiérrez-Suarez, K., Carmona, Z., Ramos, C. G., & Silva Oliveira, L. F. (2022). Pharmaceuticals as emerging pollutants: Case naproxen an overview. *Chemosphere*, 291, 132822. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132822>

Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Liu, G., Balaram, V., Ribeiro, A. R. L., Lu, Z., ... & Crini, G. (2022). Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2311-2338. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01447-4>

Näslund, J., Asker, N., Fick, J., Larsson, D. 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/10.1016/j.aquatox.2020.105583>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). Agua y Cambio climático. UNESCO. [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unesco\\_informe\\_mundial\\_de\\_las\\_naciones\\_unidas\\_sobre\\_el\\_desarrollo\\_de\\_los\\_recurso\\_hidricos\\_2020\\_agua\\_y\\_cambio\\_climatico\\_datos\\_y\\_cifras\\_2020.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unesco_informe_mundial_de_las_naciones_unidas_sobre_el_desarrollo_de_los_recurso_hidricos_2020_agua_y_cambio_climatico_datos_y_cifras_2020.pdf)

Papaioannou, C., Geladakis, G., Kommata, V., Batargias, C., & Lagoumintzis, G. (2023). Insights in Pharmaceutical Pollution: The Prospective Role of eDNA Metabarcoding. *Toxics*, 11(11), 903. <https://doi.org/10.3390/toxics11110903>

Parolini, M. (2020). Toxicity of the Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs (NSAIDs) acetylsalicylic acid, paracetamol, diclofenac, ibuprofen and naproxen towards freshwater invertebrates: A review. *Science of The Total Environment*, 740, 140043. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140043>

Pérez-Madruga, Y., López-Padrón, I., & Reyes-Guerrero, Y. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, 41(2). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362020000200010&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362020000200010&script=sci_arttext&tlng=pt)

Prakash, S. (2021). Impact of Climate change on Aquatic Ecosystem and its Biodiversity: An overview. *International Journal of Biological Innovations*, 3(2). <https://doi.org/10.46505/IJBI.2021.3210>

- Reynolds, J. E. F. (1993). Martindale, The Extrapharmacopoeia. 30th edition, The Pharmaceutical Press, London, pp. 25-26. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=996313>
- Rivera-Aguirre, J. (2021). Abuso y contraindicaciones en el uso de antiinflamatorios no esteroideos. *Revista de Educación e Investigación en*, 66. [https://medicinadeemergencias.com/portadas/reie\\_21\\_3\\_2.pdf#page=25](https://medicinadeemergencias.com/portadas/reie_21_3_2.pdf#page=25)
- Rodríguez Andújar, A. B. (2020). Compuestos farmacéuticos en ecosistemas acuáticos: Evidencias de su toxicidad en el organismo modelo *Daphnia magna*. Universidad de Jaén. <https://crea.ujaen.es/handle/10953.1/12301?mode=full>
- Rojas Vásquez, D.A. (2021). Evaluación de encapsulados para el control de contaminantes emergentes en aguas. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8439>
- Romero García, X., Labra López, L., & Jiménez Vargas, S. (2022). Adaptación de cepas del género *Pseudomonas* provenientes de composta para la degradación de naproxeno sódico. <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/5575>
- Silva Agredo, J., Giraldo Aguirre, A. L., & Torres Palma, R. A. (2013). Degradación sonocquímica de naproxeno modelo para el tratamiento de aguas que contienen productos farmacéuticos. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/29361>
- Teherán, E., Faraji, A. R., Shojaei, N., Shahinmehr, S., Najafi, A., Hekmatian, Z., ... & Bornas, B. (2023). An overview of the characteristics, toxicity, and treatment methods for the degradation of pharmaceutically active compounds: Naproxen as a case study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111575. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111575>
- Trombini, C., Blasco, J., & Hampel, M. (2020). Ibuprofen and diclofenac: effects on freshwater and marine aquatic organisms—are they at risk?. *Non-steroidal anti-inflammatory drugs in water: emerging contaminants and ecological impact*, 161-189. [https://doi.org/10.1007/698\\_2020\\_548](https://doi.org/10.1007/698_2020_548)
- Tyumina, E. A., Bazhutin, G. A., Cartagena Gómez, A. D. P., & Ivshina, I. B. (2020). Nonsteroidal anti-inflammatory drugs as emerging contaminants. *Microbiology*, 89, 148-163. <https://doi.org/10.1134/S0026261720020125>
- Wojcieszynska, D., & Guzik, U. (2020). Naproxen in the environment: its occurrence, toxicity to nontarget organisms and biodegradation. *Applied microbiology and biotechnology*, 104(5), 1849-1857. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10343-x>
- Xu, C., Niu, L., Guo, H., Sun, X., Chen, L., Tu, W., ... & Liu, J. (2019). Long-term exposure to the non-steroidal anti-inflammatory drug (NSAID) naproxen causes thyroid disruption in zebrafish at environmentally relevant concentrations. *Science of the total envi-*

---

ronment, 676, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.323>

Zarazúa Morín, M. E., Alfaro Cruz, M. R., & Torres Martínez, L. M. (2024). Medicamentos y sus consecuencias como contaminantes emergentes. *Ciencia UANL*, 27(123), 8-15. <https://www.researchgate.net/publication/377354872>

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>