

# Medicamentos en el ambiente: un problema de salud pública. Revisión sistemática

Medicines in the environment: A public health problem. Systematic Review

Bartolomé Manzolillo

## RESUMEN

**Introducción:** Con el avance de la tecnología, se han detectado en el ambiente la presencia de medicamentos, que anteriormente pasaban inadvertidos por sus bajas concentraciones. Diversas son las entradas de estos productos a los medios acuáticos, donde las plantas de tratamiento de aguas residuales no logran eliminar su totalidad por lo que estos fármacos están ocasionando efectos adversos en la salud pública y en los ecosistemas. **Objetivo:** Identificar mediante una revisión sistemática las evidencias del posible impacto ambiental que producen una serie de medicamentos seleccionados e identificar medidas correctivas para la sostenibilidad del ambiente. **Método:** Mediante una revisión bibliográfica basada en la metodología de revisiones sistemáticas de Campbell Collaboration, fueron seleccionadas investigaciones que evidencian

el posible impacto ambiental que producen los medicamentos seleccionados y fueron identificadas medidas que mitigan el problema. **Resultados:** Se identificaron 351 estudios, y seleccionados 15 investigaciones desarrolladas en 10 países, entre los años 2003 al 2020. Los resultados muestran que los antibióticos son los medicamentos con mayor número de estudios con 40 %, siguen los analgésicos y AINE con 34 % y las hormonas con 23 %. Un análisis de frecuencia indica que los antibióticos fueron estudiados en 87 % de los trabajos, 53 % los analgésicos - AINE, y 33 % las hormonas. **Conclusiones:** Aún poco se conoce sobre el efecto de los medicamentos en el ambiente, en la salud del ser humano y los ecosistemas, por lo que se requiere un mayor esfuerzo de investigación para así gestionar medidas más efectivas para su eliminación o reducción.

**Palabras clave:** Medicamentos en el ambiente, antibióticos en aguas residuales, antibióticos en plantas de tratamientos, AINE en el ambiente, AINE en aguas residuales, hormonas en aguas residuales.

DOI: <https://doi.org/10.47307/GMC.2021.129.4.13>

ORCID ID: 0000-0002-7846-3801

Ingeniero Químico USB, Doctorando en Desarrollo Sostenible  
Universidad Simón Bolívar  
bartolome.manzolillo@hotmail.com

Coordinación en Desarrollo y Ambiente, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

Recibido: 21 de abril 2021

Aceptado: 13 de septiembre 2021

## SUMMARY

**Overview:** With the technology evolution, the presence of medicines has been detected in the environment previously unnoticed by their low concentrations. Different ways these products enter the surface water where wastewater treatment plants are not able to eliminate these drugs and they are causing adverse effects on public health and ecosystems. **Objective:** Identify through a systematic review the evidence of the possible environmental impact produced by a series of selected medicines and identify corrective measures for environmental sustainability. **Method:** Through a

*systematic review based on Campbell Collaboration's systematic review methodology, they have selected papers that show the possible environmental impact of the selected medicines and were identified measures that mitigate the problem. Results: 351 studies were identified, and 15 studies were selected from 10 countries, and developed between 2003 and 2020. The results show that antibiotics are the drugs with the highest number of studies with 40 %, followed by analgesics and NSAIDs with 34 % and hormones with 23 %. A frequency analysis indicates that antibiotics were studied in 87 % of the works, 53 % analgesics-NSAIDs, and 33 % hormones. Conclusion: Little is known about the effect of medicines on the environment, human health, and ecosystems, so more research is needed to manage more effective measures for their elimination or reduction.*

**Keywords:** *Medicines in the environment, antibiotics in wastewater, antibiotics in treatment plants, NSAIDs in the environment, NSAIDs in wastewater, hormones in wastewater.*

## INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento de la población mundial y el desarrollo industrial de las últimas décadas, en especial el sector farmacéutico, los medicamentos son producidos y utilizados en cantidades más importantes cada año debido a la facilidad y mejora en el acceso a estos productos (1).

La disposición de medicamentos en el ambiente está ocasionando efectos adversos en especial en la salud pública y en los ecosistemas. En el año 1976 fue desarrollada en la ciudad de Kansas en Estados Unidos, la primera investigación sobre la existencia de productos farmacéuticos en aguas residuales tratadas, lo que dio comienzo a una serie de estudios que analizan los impactos de medicamentos en el ambiente, sus niveles de toxicidad, y están ayudando a promover el desarrollo de nuevas técnicas instrumentales de laboratorio para la identificación y medición de estas sustancias, así como el diseño de nuevos procesos de tratamiento de aguas residuales para una reducción o remediación de los posibles efectos dañinos de estos productos en el ambiente (2).

Con este avance de la tecnología en instrumentos de medición, se han detectado en los medios acuáticos la presencia de ciertas sustancias

tóxicas tales como medicamentos, cosméticos, productos de limpieza y aseo personal entre otros, que anteriormente pasaban inadvertidos por sus bajas concentraciones (3). A estos productos se les denomina Contaminantes Emergentes (CE) y se refiere a aquellas sustancias químicas, naturales o sintéticas, que entran en los medios acuáticos superficiales por las redes de aguas residuales. Su principal característica es su liberación continua a muy baja concentración (en microgramos o nanogramos por litro) como consecuencia de su amplio uso humano, que los hace persistentes en el medio acuático y en la actualidad es muy escasa o casi nula su regulación que ayude a prevenir este problema para así preservar la salud humana y del ambiente (4).

A pesar de que estos CE son materiales biodegradables, pero su persistencia en el ambiente y su bio-acumulación en algunos seres vivos que allí cohabitan los transforma en sustancias que pueden afectar al ambiente y la salud del ser humano, en la que las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR), que utilizan los procesos estándares de depuración, no son capaces de eliminarlos en su totalidad (3). La lista de CE se estima en más de cien mil sustancias producidas y usadas por la industria, sin contar los metabolitos y productos de transformación, y la cantidad se expande cada vez más con la síntesis y comercialización de nuevos compuestos químicos (5).

Uno de los desafíos más grandes en la actualidad es garantizar la calidad de los recursos hídricos, dado que cotidianamente se vierten a los ecosistemas acuáticos desechos industriales, urbanos y productos utilizados para el bienestar humano a través de las aguas residuales (6). En el informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos presentado en el año 2020, (Unesco 2020, p. 6) detalla que el 80 % de las aguas residuales globales retornan al ambiente sin ser tratadas (7), por lo que el estudio del efecto de los CE en el ambiente sobre la salud pública constituye un aspecto de importancia a nivel global.

De todos los CE, los que probablemente generan mayor preocupación y estudio en los últimos años son los medicamentos, ya que sus desechos pueden considerarse un serio problema por su excesivo consumo y posible

impacto ambiental. La exposición a residuos de medicamentos en los sistemas acuáticos y terrestres, a pesar de sus bajas concentraciones, afectan a las especies de dichos ecosistemas y sus impactos adversos varían en función del tipo de medicamento, la sensibilidad de las especies, las concentraciones a las que se exponen y el tiempo que dura la exposición. Estos efectos son producidos principalmente por el medicamento, sin embargo, también se están estudiando las consecuencias de sus metabolitos, así como los productos de degradación, que en algunos casos pueden formar sustancias más tóxicas que el compuesto original (8).

Desde finales del siglo XX se comenzó a investigar con mayor profundidad sobre la existencia de productos farmacéuticos en el ambiente y del Principio Activo Farmacéutico (API por sus siglas en inglés Active Pharmaceutical Ingredient) y sus metabolitos, en la que se han encontrado concentraciones que pueden causar efectos dañinos en la vida silvestre (9). En

algunos estudios desarrollados en España, Italia, Alemania, Canadá, Brasil, Grecia y Francia se informa que anualmente se vierten a los sistemas de aguas residuales aproximadamente 500 toneladas de analgésicos, en donde el ácido salicílico y el diclofenaco han alcanzado concentraciones de 0,22 µg/L y 3,02 µg/L, respectivamente (2).

Una de entrada de los productos farmacéuticos a los medios acuáticos o terrestres proviene por la excreción en el ser humano, de estos y sus metabolitos por la orina, las heces o el sudor, pero importantemente hay que evaluar la disposición inadecuada de medicamentos en el hogar, como también los que son de origen hospitalario e industrial, los de uso veterinario, los de las actividades agrícolas y ganaderas, que llegan al ambiente a través de distintas fuentes y que las PTAR no logran eliminar la totalidad de estos residuos farmacéuticos tal como se diagrama en la Figura 1 (4).

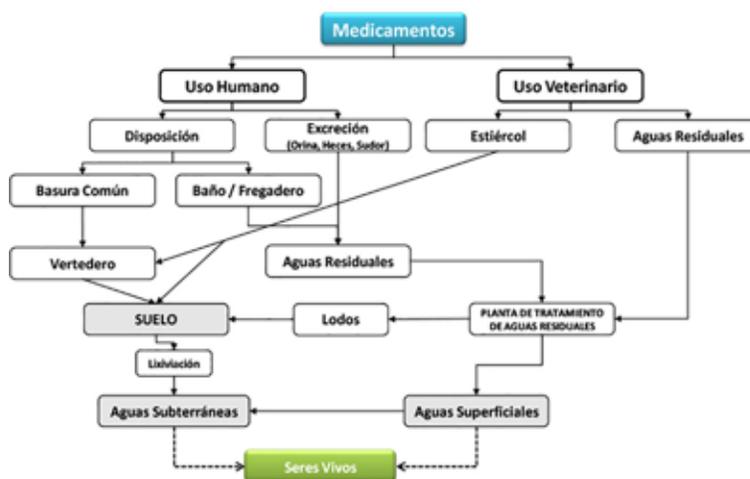


Figura 1. Proceso de Logística Inversa de Medicamentos. Elaboración propia basada en (8) pp. 108.

Por este motivo, es necesario conocer la naturaleza de los diferentes residuos de medicamentos y sus efectos adversos dependiendo del tipo de producto, la concentración, el tiempo de exposición, la sensibilidad de los organismos expuestos, así como la persistencia de algunos

fármacos que favorecen la bio-acumulación en organismos vivos (8).

Algunas categorías terapéuticas de medicamentos requieren de una especial atención por su alto consumo y que en la actualidad son

considerados los más peligrosos, entre las que se encuentran los antibióticos, los analgésicos y antiinflamatorios en especial los no esteroideos o AINE (Antiinflamatorio No Esteroideo) y las hormonas.

**OBJETIVO DE LA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

La finalidad de este trabajo es desarrollar una revisión sistemática del estado actual de los conocimientos sobre las evidencias del posible efecto en el ambiente que producen una serie de medicamentos que conforman las

Categorías Terapéuticas seleccionadas que se detallan en el Cuadro 1, e identificar algunas medidas correctivas o de reducción que proponen los trabajos seleccionados para una mayor sostenibilidad del ambiente y de los recursos hídricos.

La selección de estas categorías terapéuticas se basa en el alto consumo de los medicamentos que la conforman, o que algunos de ellos son los más recetados, y son los que probablemente suscitan mayor preocupación por sus efectos en el ambiente, en los seres vivo que allí cohabitan, y en la salud pública.

Cuadro 1

Categorías terapéuticas de estudio

Categoría Terapéutica	Acción Farmacológica
Antibiótico	Contra las infecciones bacterianas
Analgésico y Antiinflamatorio AINE	Con efecto analgésico, antiinflamatorio y antipirético (no esteroideo)
Hormonoterápico: Hormonas	Para corregir desequilibrios en el funcionamiento hormonal

Fuente: Estructura de Categoría Terapéutica utilizadas por IQVIA. Elaboración propia.

A continuación, se describen las evidencias encontradas en los trabajos revisados, sobre la presencia de estas categorías de medicamentos en el ambiente señalados en la Cuadro 1.

**A. Antibióticos**

El término antibiótico hace referencia a un extenso grupo de compuestos que pueden ser naturales o semi-sintéticos, que poseen actividad antibacteriana. Desde el descubrimiento de la penicilina en 1928, cientos de antibióticos se han desarrollados y están disponibles para el tratamiento de enfermedades en humanos y animales (10).

La presencia de antibióticos en el ambiente ha sido detalladamente investigada, ya que es probablemente el que produce mayor preocupación debido a su potencial en el desarrollo de bacterias resistentes, que hace que estos medicamentos resultan ser poco efectivos para la finalidad al que fueron diseñados (11).

El consumo de antibióticos es en cantidades cada vez más importantes por el efecto contra microorganismos patógenos, y que a su vez son prescritos ampliamente en la medicina humana, y utilizados en la medicina veterinaria, así como en la preservación de alimentos. Esto ocasiona grandes descargas tanto en suelos como sobre los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, por lo que se ha detectado presencia de estos medicamentos en el ambiente (11).

Algunos trabajos de investigación evidencian de la existencia de residuos de antibióticos en el ambiente y su implicación en los mecanismos de defensa propios de los organismos vivos con manifestaciones de resistencia microbiana (12). Esto implica que una bacteria presente en un medio acuático que contiene restos de antibióticos puede desarrollar resistencia bacteriana a estos productos y disminuir sus defensas o aumentar las de otras, alterando la selección gradual de las poblaciones microbianas, por consiguiente,

modificar los niveles de competitividad en el ambiente, generar cambio en las poblaciones y alterar así los procesos naturales en los ecosistemas (8).

Por consiguiente, el desarrollo y propagación de bacterias resistentes a antibióticos está generando preocupación, ya que estas pueden producir infecciones difíciles de tratar y controlar, requiriendo de nuevos antibióticos altamente costosos y poco disponibles para una buena parte de la población, por lo que se puede convertir en un problema de salud pública, ambiental y hasta económico (13).

### **B. Antiinflamatorio AINE / Analgésicos**

Los AINE y los analgésicos son unas de las categorías de medicamentos de mayor consumo en Venezuela y a nivel mundial por su fácil acceso, ya que por ser de venta libre no requieren recípe, y son considerados los de mayor automedicación. Algunos trabajos de investigación reportan la presencia de estos fármacos en el ambiente tales como el diclofenaco y el ibuprofeno en la categoría de los AINE y el acetaminofén o paracetamol en la de analgésicos (14).

En el caso del acetaminofén, un medicamento ampliamente usado como analgésico y recetado en especial como antipirético en el tratamiento de COVID-19, se han desarrollado diversas investigaciones que evidencian su presencia de este fármaco en medios acuáticos y hacen referencia a su potencial efecto de causar lesión hepática, nefrotoxicidad, complicaciones gastrointestinales y hepatitis en las especies presentes en estos ecosistemas (12).

Por otro lado los AINE son comúnmente dispensados para el tratamiento de inflamaciones, mejora del dolor, alivio de la fiebre, y algunas veces son utilizadas para el tratamiento de largo plazo de enfermedades reumáticas (12). Existen evidencias en estudios ecotoxicológicos de presencia de algunos fármacos de la categoría AINE en ecosistemas acuáticos, en las que se han observado efectos desfavorables en los organismos presentes tales como la inmovilización, la inhibición y hasta la muerte, como también algún impacto a largo plazo sobre la reproducción y bio-acumulación en algunos peces y crustáceos. Por otro lado, este tipo de medicamentos produce mayores niveles

de toxicidad crónica de sus metabolitos que del compuesto original, como es el caso del ibuprofeno (8).

### **C. Hormonas**

Las hormonas pueden ser de origen natural como las producidas por el cuerpo humano, o sintético que son de amplio uso como los anticonceptivos, y ambas son excretadas y se introducen al ambiente por las aguas residuales domésticas o también pueden estar presentes en las aguas residuales hospitalarias e industriales (14).

Diversos estudios han analizado, cómo la presencia de hormonas en el ambiente está relacionada con algunas patologías del sistema endocrino tanto en animales como en los seres humanos. Estos alteradores o elementos disruptivos endocrinos tal como se les denomina son considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, por sus siglas en español) productos que tienen efectos perjudiciales para la salud de organismos vivos, su prole o partes de su población (12).

Este tipo de productos pueden estar implicados en causar cambios hormonales o desequilibrio del sistema endocrino de algunas especies y producir efectos en los sistemas reproductivos, en la diferenciación sexual como es el caso de feminización de peces macho, generar cambios en la atracción o la maduración sexual en los machos o en el comportamiento sexual y el desarrollo en los caracteres sexuales secundarios, como también afectar las funciones del metabolismo, o provocar un incremento de malformaciones, representando un especial peligro durante la fase de gestación o su efecto en la reducción de la fecundidad y en las etapas iniciales de la vida (12).

Para el ser humano, la ruta de entrada al organismo de estos contaminantes hormonales es principalmente por vía digestiva, debido a su acumulación en la cadena alimentaria que utiliza aguas residuales contaminadas o a través de los efluentes de las aguas residuales de las plantas de tratamiento, donde estos residuos hormonales no son eliminados completamente y los lodos son utilizados como abono (12).

## MÉTODO

Este trabajo se desarrolló utilizando una revisión sistemática de casos de estudios, basado en la metodología de revisiones sistemáticas de Campbell Collaboration.

La secuencia de la revisión fue la siguiente:

### A. Criterios para considerar estudios para esta revisión sistemática

Se examinaron estudios en los que se incluye literatura gris e informes de varias organizaciones científicas y de salud en diversos países, en la que se determinó de forma manual, la relevancia de cada trabajo sobre el estudio de evidencias de medicamentos en el ambiente.

### B. Estrategia de Búsqueda

Se desarrolló la búsqueda en la bases de datos de investigación de la plataforma EBSCOHOST que son: Academic Search Ultimate, Applied Science & Technology Source Ultimate, Business Source Ultimate, Caribbean Search, Fuente Académica Plus, GreenFILE, Humanities Source Ultimate, Library Information Science & Technology Abstracts, Regional Business News, Sociology Source Ultimate, así como también en otras bases como Redalyc, Springer y Google Academics.

La búsqueda se efectuó con el empleo de las palabras claves: *medicamentos en el ambiente, antibióticos en aguas residuales, antibióticos en plantas de tratamientos, AINE en el ambiente, AINE en aguas residuales, Hormonas en aguas residuales.*

Se identificaron 351 estudios y los trabajos duplicados fueron eliminados manualmente.

La búsqueda se limitó a trabajos publicados en revistas académicas arbitradas de libre acceso, de texto completo, durante el período que va desde el año 2003 hasta el año 2021.

### c. Criterios de inclusión de estudios en la revisión bibliográfica.

Se identificaron estudios en los que se incluye literatura gris e informes de varias organizaciones

científicas y de salud en diversos países, en la que se determinó de forma manual, la relevancia de cada trabajo en el que se revisaron: el título, contenido, resumen o antecedentes del mismo, así como la síntesis de los análisis de datos desarrollados.

Fueron incluidos aquellos estudios promovidos en diversos países, en especial los considerados en vías de desarrollo y que se encuentran localizados geográficamente en los diferentes continentes. Los estudios excluidos fueron aquellos cuyo idioma era diferente al inglés, español, o portugués, que su contenido no fuera de libre acceso, o las publicaciones fuesen previas al año 2003.

### D. Resultados de la Búsqueda de la revisión sistemática

La identificación de los artículos de investigación se finalizó en abril 2021 y mediante un análisis individual de la relevancia y contenido de los 68 trabajos incluidos, se seleccionaron aquellos que en el método de investigación utilizaron pruebas instrumentales de laboratorio, o se basaron en estudios que las incluyeron, y de esta forma lograron evidenciar la presencia de medicamentos en los medios estudiados y analizar el posible efecto en el ambiente que producen la serie de medicamentos que conforman la lista de categorías terapéuticas seleccionadas.

De esta forma fueron seleccionados 15 estudios desarrollados en 10 países, en los idiomas español, inglés y portugués, y que su contenido fuese de libre acceso (2,4-6,8,10,11,13,15-21).

La Figura 2 muestra el diagrama de flujo PRISMA (del inglés Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) que presenta el modelo de búsqueda y selección de los trabajos para la revisión sistemática.

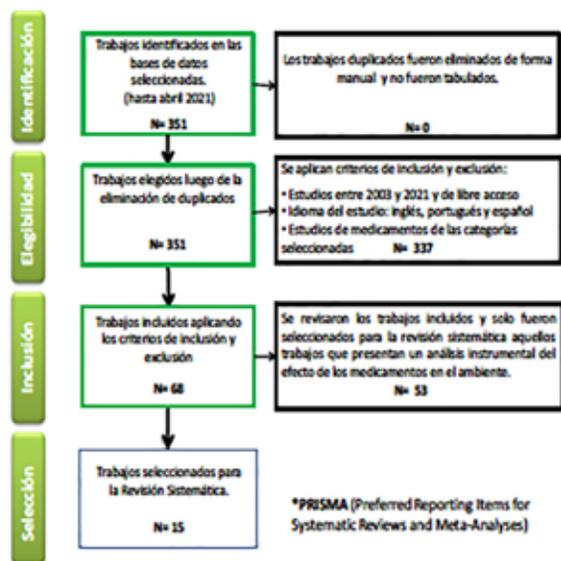


Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA\* del esquema de búsqueda Elaboración propia.

**RESULTADOS**

En la revisión sistemática desarrollada se identificaron 351 estudios, que luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, fueron seleccionados 15 trabajos de investigación desarrollados en 10 países entre los años 2003 al 2020. Estos estudios presentan evidencias, sea por medio de pruebas de análisis instrumental de medición desarrollada en el estudio o mediante la referencia de los resultados presentados en otras investigaciones, sobre la presencia de medicamentos en el ambiente.

En el Cuadro 2 se resume, el total de evidencias que se reportan sobre las categorías terapéuticas en análisis, Antibióticos, Analgésicos - AINE y Hormonas, los cuales muestran la presencia de medicamentos en al ambiente. Algunos estudios analizan los efectos eco-toxicológicos en las especies que cohabitan en los ecosistemas analizados y su repercusión en la salud pública en general.

Los resultados muestran que los antibióticos son los medicamentos con mayor número de evidencias estudiadas en los trabajos seleccionados, con un peso de 40 %, le siguen

Cuadro 2

Resultados de evidencias reportadas

#	País	Año	Referencia Bibliográfica	Investigaciones con Evidencias Reportadas		
				Antibiótico	Analgésicos y AINE	Hormonas
1	ESPAÑA	2016	8	8	4	6
2	MÉXICO	2014	15		1	
3	VENEZUELA	2016	16		1	
4	REP. CHECA	2017	17	1		
5	ARGENTINA	2019	10	1		
6	INDIA	2019	13	1		
7	BRASIL	2012	18	1		
8	COLOMBIA	2015	19	1		
9	COSTA RICA	2004	20	1		
10	CUBA	2010	21	1		
11	COLOMBIA	2020	5	2	2	2
12	COLOMBIA	2011	2	9	7	
13	BRASIL	2003	11	8	13	14
14	MÉXICO	2017	6	4	4	2
15	ESPAÑA	2017	4	3	3	3
<b>TOTALES:</b>				<b>41</b>	<b>35</b>	<b>27</b>
<b>PESO:</b>				<b>40%</b>	<b>34%</b>	<b>26%</b>
<b>FRECUENCIA:</b>				<b>87%</b>	<b>53%</b>	<b>33%</b>

Elaboración propia.

los analgésicos y AINE con 34 % y las hormonas con 23 %. Por otro lado, si se hace un análisis de frecuencia de cada categoría, los antibióticos fueron estudiados en 87 % de los trabajos seleccionados, le sigue con 53 % los analgésicos y AINE, y un 33 % las hormonas.

Cabe destacar, que en el total de los 15 trabajos seleccionados, 9 de ellos fueron desarrollados en los últimos 7 años, representando un 60 % y es importante señalar la notable participación de países de Latinoamérica, entre ellos Venezuela, en investigar el problema.

Existen una serie de soluciones para reducir o mitigar el problema de investigación, entre las cuales algunas fueron descritas en los trabajos seleccionados y otras fueron desarrolladas en trabajos publicados previamente por el autor de este estudio.

Estas investigaciones muestran que existe una eficiencia limitada de las PTAR en la remoción de los medicamentos presentes en las aguas residuales tanto industriales, hospitalarias o residenciales, que debe ser mejorada.

Cabe señalar que se han propuesto algunas soluciones que ayudan a mitigar el problema en la fuente, como es en el caso de la disposición

inadecuada de medicamentos en el hogar. En investigaciones publicadas previamente por el autor de este trabajo, se propusieron las iniciativas de “Recolección en la farmacia de medicamentos sin uso o vencidos: Una solución a la disposición de medicamentos en el hogar” (22) y “Logística Inversa: Una Solución a la Disposición de Medicamentos en el Hogar” (23) y que describen una serie de buenas prácticas y procesos, que promueven una disposición adecuada de medicamentos vencidos o sin usos en el hogar de pacientes, para así mitigar el impacto ambiental que esto provoca.

Un resumen de estas soluciones se presenta en el siguiente Cuadro 3.

Cuadro 3  
Resumen de posibles soluciones

PTAR - PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*		
FISICOQUÍMICO	PROCESOS TRADICIONALES	Coagulación Floculación Procesos tradicionales incapaces de remover algunos medicamentos como las hormonas
	ULTRAFILTRACIÓN	Filtración por Membrana Tienen capacidad limitada de retención
	OXIDACIÓN	Empleo de Cloro u Ozono Pueden crear bio-productos con efectos desconocidos
	ADSORCIÓN	Arcillas Naturales Carbón Activado Eficiente para adsorción de antibióticos Se requiere altas tasas del material adsorbente
BIOLÓGICOS	LODOS ACTIVADOS	Uso de lodos activados y Filtros de goteo No todos los compuestos orgánicos como las hormonas son reducidas a biomasa
	TRATAMIENTO CON MEMBRANAS	Bioreactores con Membrana Aún en estudio de sus potenciales efectos
AVANZADOS	OXIDACIÓN AVANZADA	Fotocatálisis Poco costo efectiva para grandes volúmenes de aguas de tratamiento por el costo de las lámparas UV
	NANOFILTRACIÓN CON MEMBRANA	Nanofiltración Similar a la Osmosis inversa. Membranas muy costosas
DISPOSICIÓN DE MEDICAMENTOS		
HOGAR	RECOLECCIÓN EN FARMACIA**	Desarrollo de puntos de recolección en Farmacia para devolución de medicamentos sin uso o vencidos
	LOGÍSTICA INVERSA***	Proceso desarrollado por la industria farmacéutica en la que se colectan los medicamentos devueltos en farmacias para una disposición adecuada como la incineración.
HOSPITALAR	LOGÍSTICA INVERSA	Proceso desarrollado por la industria farmacéutica en la que se colectan los medicamentos por compañías especializadas para una disposición adecuada como la incineración.

Fuentes: Basado en \*(14), \*\* (22), \*\*\*(23). Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

La revisión sistemática desarrollada en el presente trabajo demuestra que en la actualidad existe un creciente interés por conocer el problema del impacto de los medicamentos como contaminantes emergentes, en la que se ha podido detectar su presencia en el ambiente por al avance de las nuevas técnicas instrumentales de medición.

Sin embargo, a pesar de que el problema de investigación es relevante y de interés en la comunidad científica, basado en el volumen de publicaciones en la última década, son necesarios más estudios para poder evaluar con mayor precisión la presencia de medicamentos en el ambiente, su efecto en los ecosistemas y en especial sobre la salud humana, para así gestionar medidas más adecuadas para mitigar el problema.

La revisión sistemática desarrollada en el presente trabajo demuestra la necesidad de mejorar el conocimiento sobre los medicamentos como contaminantes emergentes para promover otras investigaciones para recabar más información que sirva para describir los efectos de esos productos sobre la salud y su destino en el ecosistema.

Tal como se describe en el trabajo, la peligrosidad de los medicamentos en el ambiente es debido principalmente a su persistencia, y sus concentraciones aumentan con en el tiempo. Sin embargo poco se conoce sobre el efecto de estas sustancias en la salud de los ecosistemas y del ser humano por lo que se hace necesario una mayor generación de datos ecotoxicológicos para poder establecer los límites máximos y concentraciones permitidas de cada producto, para que de esta forma se pueda regular mediante legislaciones sanitarias, la disposición de medicamentos así como la presencia de estos productos en el ambiente y desarrollar procesos de eliminación o reducción más efectivos.

Finalmente, hay que impulsar nuevos modelos educativos y de prevención que promuevan desde la academia y en cada grupo de profesionales que conforman las áreas de la salud, la creación de centros de Ecofarmacovigilancia en las diferentes entidades locales, estatales y nacionales, que permitan crear, a través de la educación y formación formal e informal, una

mayor conciencia ambiental en el ciudadano para que a través de su empoderamiento asuma un rol protagónico que le otorgue la importancia y relevancia a este problema, y por esta vía se puedan desarrollar propuestas para mitigar los impactos nocivos de los medicamentos en el ambiente y la salud, y así promover la sostenibilidad de los recursos naturales en especial el agua potable, que cada vez es un bien más escaso.

### REFERENCIAS

- Bound J, Voulvoulis N. Household Disposal of Pharmaceuticals as a Pathway for Aquatic Contamination in the United Kingdom. *Environ Health Perspect.* 2005;113(12):1705-1711.
- Cartagena C. Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. *Rev Lasallista Invest.* 2011;8(2):143-153.
- Reinoso J, Serrano C, Orellana D. Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Rev Fac Cien Méd Univer Cuenca.* 2017;35(2):55-59.
- Oropesa A, Moreno J, Gómez L. Lesiones histopatológicas en peces originadas por la exposición a contaminantes emergentes: recopilando y analizando datos. *Rev Toxicol.* 2017;34(2):99-108.
- Bautista J. Contaminantes emergentes en aguas de escorrentía pluvial urbana: una revisión bibliográfica. Tesis pregrado. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2020.
- Robledo V, Velázquez M, Montañez J, Pimentel J, Vallejo A, López M, et al. Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano-industriales de Morelia, Michoacán, México. *Rev Int Contam Ambie.* 2017;33(2):221-235.
- UNESCO 2020. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020 Agua y Cambio Climático. 2020. 2001. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611.locale=es>
- Cuñat A, Ruiz, M. Ensayos de ecotoxicidad de los fármacos y efectos tóxicos en el medio ambiente: Revisión. *Rev Toxicol.* 2016;33(2):108-119.
- Kümmerer K. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use—present knowledge and future challenges. *J Environ Manag.* 2009;90(1):2354-2366.
- Yanquin K. Arcillas naturales y pilareadas con hierro como potenciales adsorbentes de antibióticos. Tesis pregrado. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires, Argentina, 2019.
- Maia D, Dezotti M. Fármacos no meio ambiente. *Quim Nova.* 2003;26(4):523-530.
- Tejada C, Quiñonez E, Peña M. Contaminantes emergentes en aguas: metabolitos de fármacos. Una revisión. *Ver Fac Cien Básicas.* 2014;10(1):80-101.
- Nimonkar Y, Yadav B, Talreja P, Sharma A, Patil S, Saware S, et al. Assessment of the role of wastewater treatment plant in spread of antibiotic resistance and bacterial pathogens. *Indian J Microbiol.* 2019;59(3):261-265.
- Gil M, Soto A, Usma J, Gutiérrez O. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia.* 2012;7(2):52-73.
- Cruz S, Cruz-López L, Malo E, Valle J, Infante D, Santiesteban A, et al. Presencia de anti-inflamatorios no esteroideos en cuerpos de agua superficial de Tapachula, Chiapas, México. *Rev AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica.* 2014;7(2):105-114.
- Correia A, Marcano L. Presencia y remoción de analgésicos anti-inflamatorios no esteroideos en una planta de tratamiento de agua residuales en Venezuela. *Ingeniería y Sociedad—UC, Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería.* 2016;11(1):8-21.
- Landová P, Vávrováb M. A new method for macrolide antibiotics determination in wastewater from three different wastewater treatment plants. *Acta Chimica Slovaca.* 2017;10(1):47-53.
- Núñez L, Tornello C, Puentes N, Moretton J. Riscos à saúde associados com a presença de bactérias resistentes a antibióticos em águas cinzas. *Revista Ambiente & Água - An Interdisc J Applied Sci.* 2012;7(1):235-243.
- Acevedo R, Severiche C, Jaimes J. Bactérias resistentes a antibióticos em ecossistemas aquáticos. *Producción + Limpia.* 2015;10(2):160-172.
- Tzoc E, Arias M, Valiente C. Efecto de las aguas residuales hospitalarias sobre los patrones de resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* y *Aeromonas sp.* *Rev Biomed.* 2004; 15(3):165-172.
- Martínez A, Cruz M, Veranes O, Carballo M, Salgado I, Olivares S, et al. Resistencia a antibióticos y a metales pesados en bacterias aisladas del río Almendares. *Rev CENIC. Ciencias Biológicas.* 2010;41:1-10.
- Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Rev J.* 2015;4(1):1-9.
- Manzollillo B. Logística inversa: una solución a la disposición de medicamentos en el hogar. *Gac Méd Caracas.* 2021;129(1):13-21.