

Fármacos en el ambiente: aproximaciones para su estudio a través de una revisión de alcance

Pharmaceuticals in the Environment: A Scoping Review of Approaches to Their Study

Diego Mauricio Quijano-Prieto^{a,e}, José Gilberto Orozco-Díaz^b,
Javier Toro^c, Magnolia del Pilar Ballesteros-Cabrera^d

RESUMEN

La contaminación ambiental causada por los principios activos de medicamentos es una preocupación mundial que plantea riesgos para la salud pública y el ambiente. Se ha identificado la necesidad de trabajar en aproximaciones que incluyan el diálogo de diversos actores sociales, teniendo en cuenta que los enfoques de gestión no cubren de manera satisfactoria las interacciones entre la sociedad y la naturaleza. Con el propósito de analizar las aproximaciones al estudio de la contaminación ambiental por medicamentos, se realizó una revisión de alcance. Se emplearon diez bases de datos utilizando los términos de búsqueda: medicamentos, ambiente, contaminación y salud pública. A través del análisis temático se identificaron y analizaron patrones de significado en el conjunto de publicaciones incluidas, estudiando factores manifiestos y latentes. Se empleó la extensión *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews* (PRISMA-Scr). Fueron incluidas y analizadas 44 revisiones que cumplieron los criterios de elegibilidad. Se identificaron, describieron y analizaron 13 aproximaciones al estudio de la problemática. Se discutieron las relaciones y distinciones entre las aproximaciones y se analizaron en relación con el consumo excesivo de medicamentos. Existe la necesidad de un trabajo interdisciplinar para abordar este complejo problema. A través del análisis de las aproximaciones al estudio de la contaminación ambiental por medicamentos, se reconoce la importancia de los enfoques actuales, así como vacíos en el conocimiento, en la integración de las distintas aproximaciones y la ausencia de aspectos sociales. Asimismo, se identificaron oportunidades de investigación.

PALABRAS CLAVE: Medio ambiente, Medicamento, Contaminación, Higiene ambiental, Salud pública (fuente: Tesauro de la UNESCO)

ABSTRACT

Environmental pollution caused by active pharmaceutical ingredients is a global concern that poses risks to public health and the environment. The need to develop approaches that include dialogue with various social actors has been identified, considering that management approaches do not satisfactorily address the interactions between society and nature. A scoping review was conducted to analyze approaches to the study of environmental pollution caused by medications. Ten databases were searched using the search terms: pharmaceutical, environment, pollution, and public health. Thematic analysis was used to identify and analyze patterns of meaning in the included publications, studying manifest and latent factors. The Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews was used. Forty-four reviews that met the eligibility criteria were included and analyzed. Thirteen approaches to the study of the problem were identified, described, and analyzed. The relationships and distinctions among the approaches were discussed, and their relation to excessive medication use was analyzed. There is a need for interdisciplinary work to address this complex problem. Through the analysis of approaches to the study of environmental contamination by medications, the importance of current approaches is recognized, as well as gaps in knowledge, in the integration of different approaches, and the absence of social aspects. Additionally, research opportunities were identified.

KEY WORDS: Environment, Medicines, Environmental pollution, Environmental health, Public health (source: UNESCO Thesaurus)

a Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. ORCID Quijano-Prieto, D M: <https://orcid.org/0000-0003-0399-8809>

b Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. ORCID Orozco-Díaz, J G: <https://orcid.org/0000-0002-6812-5382>

c Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia.
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6675-5148>

d Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. ORCID Ballesteros-Cabrera M P <https://orcid.org/0000-0002-4713-4618>

e Autor de correspondencia: dmquijanop@unal.edu.co

Recepción: 16 de mayo de 2025. Aceptación: 29 de julio de 2025

Introducción

La contaminación ambiental causada por los principios activos de medicamentos (PA) es una preocupación global creciente (Ortúzar et al., 2022). Estas sustancias han alcanzado presencia mundial (Nguyen et al., 2023) y se han detectado como contaminantes en cuerpos de agua, suelos, sedimentos, biota y aire (Arnold et al., 2014; Souza y Guimarães, 2022; Kucharski et al., 2022; McEachran et al., 2015; Miller et al., 2018; Morin-Crini et al., 2022; Nguyen et al., 2023; Styszko et al., 2022; Wilkinson et al., 2022), planteando riesgos para la salud pública y el ambiente global (Kumar et al., 2022; Kusturica et al., 2022; Ratchnashree et al., 2023).

Los fármacos están diseñados para ejercer actividad biológica a bajas concentraciones (Mezzelani y Regoli, 2022; Sousa et al., 2018) y pueden generar efectos adversos en una amplia variedad de organismos (Arnold et al., 2014). Estas sustancias, también denominadas microcontaminantes o contaminantes emergentes, perturban las matrices ambientales, pueden provocar alteraciones en diversas especies, contribuyen al desarrollo de resistencia a los antimicrobianos (RAM) y representan un riesgo potencial para la salud humana (Babuji et al., 2023; Warren-Vega et al., 2023; Wilkinson et al., 2022).

A nivel mundial, se ha reportado un aumento en el consumo de fármacos (González Peña et al., 2021; Thomas y Depledge, 2015), por lo que se prevé el incremento de estas sustancias en los ecosistemas (Gworek et al., 2021). El aumento en la producción, venta y consumo de medicamentos es promovido por factores como el crecimiento y envejecimiento poblacional, la mayor prevalencia y tratamiento de enfermedades crónicas, así como cambios en la práctica clínica, la promoción farmacéutica, el aumento del consumo de productos de origen animal y cambios hacia prácticas agrícolas más intensivas (González Peña et al., 2021; Wöhler et al., 2020).

Las crecientes concentraciones de microcontaminantes son un problema mundial de calidad del agua (Ratchnashree et al., 2023), debido a su presencia en los ecosistemas acuáticos y en el agua potable (Kümmerer, 2010). A su vez, la contaminación que resulta de los crecientes patrones de consumo constituye una amenaza importante para el recurso hídrico, con posibles repercusiones en otras matrices ambientales

y la salud humana (Morin-Crini et al., 2022). Los PA y sus metabolitos son, en gran medida, solubles en agua y pueden ingresar a las matrices ambientales, principalmente a través de la conducción de las aguas residuales que contienen los PA derivados de la excreción posterior a su consumo (Ulvi et al., 2022). Estas sustancias se presentan principalmente en las aguas residuales domésticas, en vertimientos de la industria farmacéutica, efluentes hospitalarios, veterinarios y agrícolas, así como en los residuos sólidos (Kıdak y Doğan, 2018; Miettinen y Khan, 2022).

Se ha identificado la necesidad de implementar aproximaciones en donde se involucren a las múltiples partes interesadas con el objetivo de prevenir, reducir y gestionar su entrada y presencia en el ambiente (aus der Beek et al., 2016). Actualmente, las intervenciones reactivas y enfocadas en soluciones al final del proceso son algunas de las aproximaciones más ampliamente difundidas; sin embargo, cada vez adquieren mayor relevancia los enfoques centrados en las fuentes y orientados al uso de fármacos (OECD, 2019).

En ese sentido, se reconoce la necesidad de centrar la atención en acciones preventivas en las primeras etapas del ciclo de vida del medicamento y de trabajar a partir de aproximaciones que vayan más allá de la legislación e incluyan el diálogo interdisciplinario entre los diversos actores sociales implicados (Miettinen y Khan, 2022), teniendo en cuenta que los enfoques de gestión clásicos no cubren de manera satisfactoria las interacciones entre la sociedad y la naturaleza (Völker et al., 2017).

Por otra parte, se señala que analizar los aspectos culturales, sociales, políticos y económicos puede contribuir a entender el aumento de la producción, comercialización y consumo de medicamentos (Orozco-Díaz, 2012; F. Thomas, 2017) y, en consecuencia, su presencia en los ecosistemas. Por ello, ampliar el abordaje e incorporar elementos analíticos que permitan integrar las dinámicas sociales alrededor del medicamento, el ambiente, la contaminación y la salud pública puede aportar a una mejor comprensión de este fenómeno.

Si bien se han realizado trabajos previos sobre las aproximaciones para prevenir, reducir y gestionar la entrada y presencia en los ecosistemas de los PA (aus

der Beek et al., 2016; Barcellos et al., 2022; Caban y Stepnowski, 2021), este documento se propone identificar las aproximaciones al estudio de la contaminación ambiental por medicamentos a través de una revisión de alcance de publicaciones científicas en los últimos cinco años (2018-2023).

Metodología

Con el propósito de identificar la evidencia disponible y analizar las aproximaciones a la contaminación ambiental causada por medicamentos, se realizó una revisión de alcance (Arksey y O'Malley, 2005; Munn et al., 2018). El protocolo de búsqueda y análisis de información se orientó en función de las preguntas ¿Cuáles son las aproximaciones para el estudio de la contaminación ambiental por medicamentos entendida como un problema de salud pública? y ¿Cuáles son las características principales de estas aproximaciones?

Como criterios de inclusión, las publicaciones seleccionadas hicieron referencia a los medicamentos como contaminantes ambientales. Debido al alto volumen de publicaciones, se limitaron los resultados a revisiones que tuvieran relación con la matriz agua y únicamente a publicaciones de los últimos cinco años.

Considerando el amplio alcance de la problemática y el elevado volumen de publicaciones relacionadas, que puede llegar a ser inmanejable (Daughton, 2016), se optó por abarcar únicamente revisiones. También se optó por el estudio de revisiones, teniendo en cuenta la posibilidad de encontrar mayor análisis y síntesis de información sobre el cuerpo de conocimientos relacionado con el tema de interés. Se incluyeron aquellas revisiones en inglés y portugués (no se encontraron resultados en español); revisiones que relacionen los medicamentos de uso humano, veterinario o agrícola. Se excluyeron aquellas publicaciones que no se centraban en los medicamentos.

Se emplearon las bases de datos Scopus, Google académico, ScienceDirect, Scielo, NCBI (incluyendo NLM Catalog, Pub Med y Pub Med Central), Springer Link, EBSCOhost, Web of Science, Taylor & Francis y Wiley, utilizando como términos de búsqueda: medicamento, ambiente, contaminación

y salud pública. Se emplearon términos MeSH y DeCS, limitando la búsqueda a los campos título, resumen y palabras claves, adaptándola de acuerdo con los criterios permitidos en cada base de datos.

Los artículos se evaluaron secuencialmente, iniciando por los títulos, los resúmenes y luego el texto completo de todas las publicaciones identificadas. Para la elaboración del informe, se empleó la extensión *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews* (PRISMA-ScR) (Tricco et al., 2018).

Las revisiones incluidas fueron examinadas en su totalidad y se aplicó el formulario desarrollado para la extracción de la información, calibrado mediante ajustes iterativos (Peters et al., 2020). A través del análisis temático, se identificaron y analizaron patrones de significado (temas) en el conjunto de las publicaciones (Clarke y Braun, 2017), identificando códigos iniciales que, al ser agrupados, dieron lugar a temas generales, posteriormente refinados para desarrollar el informe final (Braun y Clarke, 2006; Joffe, 2011; Naeem et al., 2023; J. Thomas y Harden, 2008).

El análisis temático es ampliamente empleado para análisis cualitativo en diferentes áreas del conocimiento y se ha utilizado previamente en revisiones sistemáticas del campo de la salud pública y el ambiente (Nichols et al., 2009; Salm et al., 2021). Para esta investigación, mediante la revisión iterativa de los textos, los códigos y los temas, se estableció la confiabilidad intracodificador, evaluando la consistencia en la codificación y en la identificación de los temas (Castleberry y Nolen, 2018).

Resultados

La etapa de búsqueda identificó 1.606 publicaciones potencialmente útiles para la investigación en las 10 bases de datos seleccionadas. Se excluyeron 268 duplicados a través del uso de la herramienta web Rayyan, utilizada para agilizar la selección inicial de resúmenes y títulos (Ouzzani et al., 2016). La fase de selección prosiguió con 1.338 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión inicialmente planteados. En esta etapa, se excluyeron 390 artículos por su título y por la lectura de resumen.

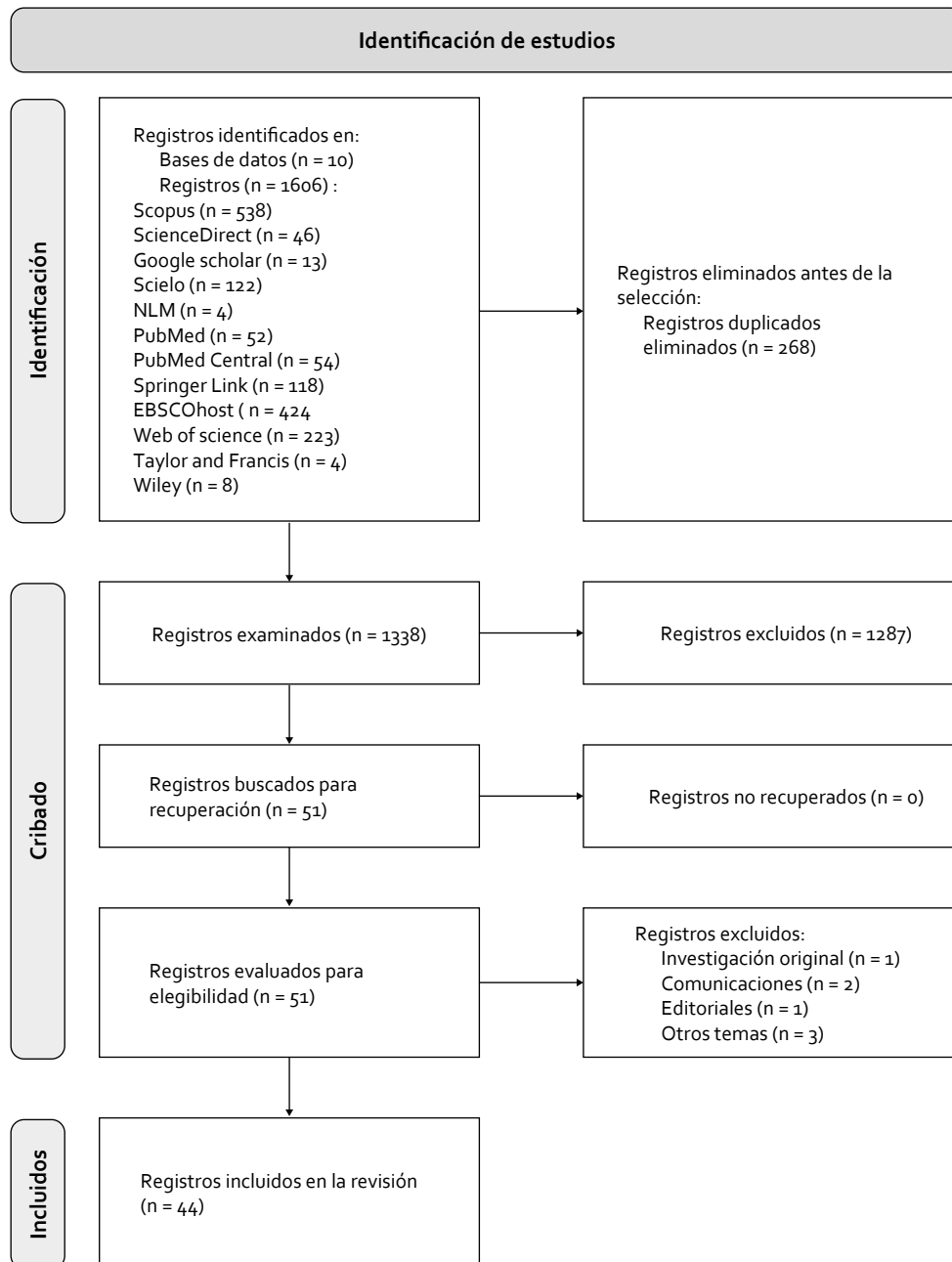
Al ser evidente que el volumen de documentos era inmanejable, se redujo el periodo de publicación a los últimos cinco años, contados desde el momento en que se realizó la búsqueda. es decir, el periodo 2018-2023. El tipo de documento se limitó a revisiones, y se eliminaron aquellas que no tuvieran relación con la matriz agua.

Posteriormente, se leyeron los textos completos de los 51 artículos restantes, de los cuales 44

publicaciones fueron incluidas y analizadas porque cumplieron con todos los criterios de elegibilidad (véase Figura 1).

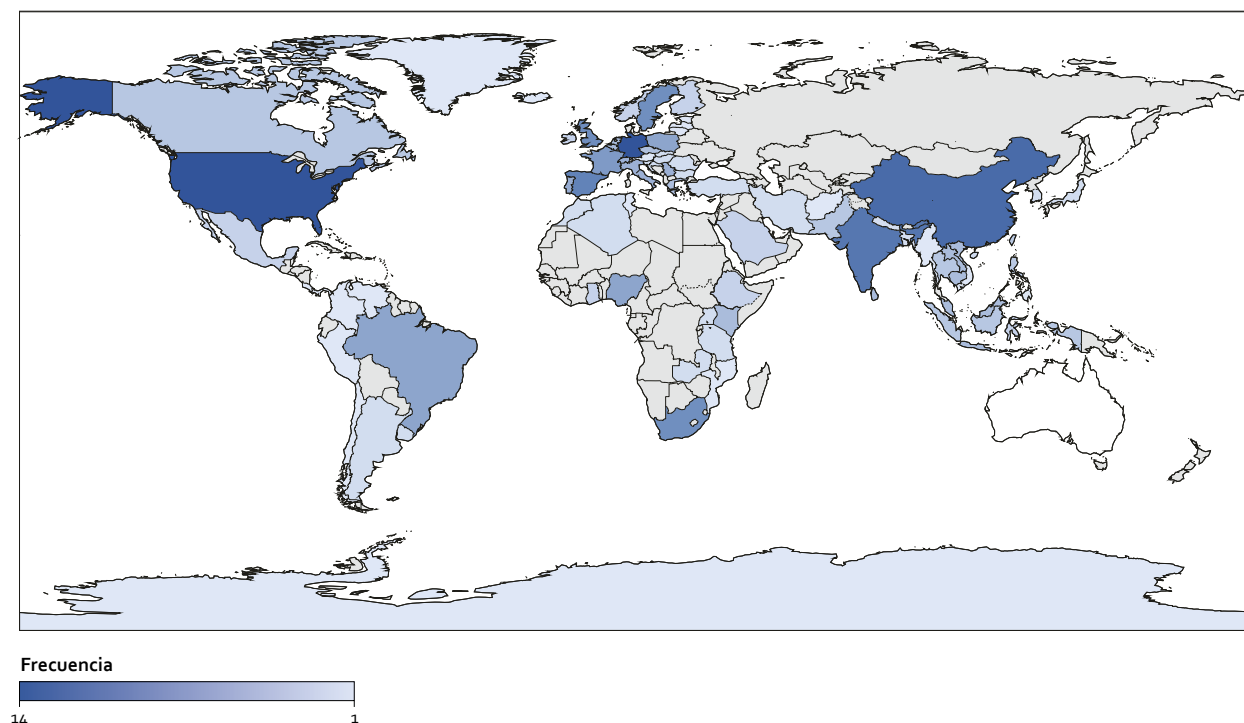
La revisión de alcance abarcó 44 documentos (véase el Anexo A, *Referencias incluidas en la revisión de alcance y aproximaciones identificadas*), que incluyeron revisiones narrativas (37), críticas (3), sistemáticas (2), de alcance (1) e integrativas de literatura (1), las cuales hicieron referencia a la presencia de

Figura 1. Diagrama de flujo de selección de estudios de la revisión de alcance



Nota. Fuente: elaboración propia con base en Page et al. (2021)

Figura 2. Países con presencia de PA como contaminantes a los que hicieron referencia las revisiones



Nota. Fuente: elaboración propia con base en las publicaciones incluidas en la revisión

PA en 95 países en África, América, Asia, Europa, Oceanía y también la Antártida. Los países más referenciados fueron Alemania (14), Estados Unidos (14), China (12) e India (11). La Figura 2 esquematiza los países con presencia de PA como contaminantes, a los que se hizo referencia en las revisiones.

Las publicaciones hicieron referencia principalmente a los medicamentos como contaminantes, debido su uso humano y veterinario (n=24; 55%); humano, veterinario y agrícola (n=12; 27%) o solo a su uso humano (n=8; 18%).

Además de algunos reportes en matrices como biota, suelos, sedimentos, biopelículas, fluidos biológicos (orina y heces) y lodos de aguas residuales, se reportaron PA en aguas superficiales –incluyendo ríos y arroyos, lagos, reservorios, embalses, humedales, estuarios, mares y océanos–; aguas subterráneas, agua potable, agua mineral, afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, hospitalarias, de la industria farmacéutica y de la industria ganadera, agua de acuicultura y lixiviados.

A través del análisis temático, se codificaron inductivamente las revisiones, lo que permitió

identificar 13 temas clave que describen las aproximaciones, los cuales se resumen en la Tabla 1 y se describen a continuación.

Tabla 1. Aproximaciones identificadas y frecuencia de identificación

Aproximaciones (temas identificados)	n	Frecuencia
Tecnologías al final del proceso	26	17%
Toxicológica	24	16%
Evaluación del riesgo ambiental	20	13%
Monitoreo y cuantificación	15	10%
Regulatoria	12	8%
Resistencia a los antimicrobianos (RAM)	10	7%
Consecuencia de la vida moderna	10	7%
Biorremediación	9	6%
Ecosistémica	7	5%
Desarrollo económico	7	5%
Medicamentización	5	3%
Una sola salud	3	2%
Química verde	2	1%

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en las publicaciones incluidas en la revisión

Aproximación desde las tecnologías al final del proceso

Se centra en las tecnologías denominadas “al final del proceso” (o “al final del tubo”), que buscan eliminar los PA de los vertimientos domésticos y no domésticos mediante sistemas de tratamiento de aguas residuales. Asimismo, se resalta la necesidad de investigar tecnologías avanzadas de tratamiento, capaces de eliminar residuos farmacéuticos de las aguas residuales de manera urgente, principalmente debido al fracaso de los métodos convencionales de tratamiento de agua para eliminar estos contaminantes (Ashraf et al., 2023; González-González et al., 2022; Hejna et al., 2022; Pirsahab et al., 2019).

Desde esta perspectiva, se busca abordar también la disposición final ambientalmente adecuada de los residuos, considerando que se han asociado la contaminación de los cuerpos de agua y los sedimentos debido a los medicamentos desechados incorrectamente (Silva et al., 2023).

Sumado a esto, se destaca que el desarrollo de estrategias eficientes para eliminar los contaminantes emergentes es fundamental para reducir los posibles riesgos para la salud pública (Gomes et al., 2020).

Aproximación toxicológica

Estudia los cambios ocasionados por la exposición –principalmente aguda– de organismos y de otros niveles de organización biológica a uno o varios fármacos. Para ello, se reconoce que numerosos PA presentes en entornos acuáticos pueden causar una gran variedad de efectos perjudiciales (Fekadu et al., 2019). Además, reconoce el impacto de los fármacos como estresores ambientales que actúan a bajas concentraciones, generando cambios físicos, conductuales y cognitivos en los organismos acuáticos, con posibles implicaciones negativas en los procesos evolutivos y ecológicos (Pinto et al., 2022). Esto resalta la importancia de realizar investigaciones sobre la evaluación de la toxicidad crónica para identificar riesgos potenciales tanto humanos como ecológicos (Chaturvedi et al., 2021).

Esta aproximación se basa en ensayos toxicológicos orientados a establecer las concentraciones umbrales en las que se presentan efectos adversos sobre diferentes organismos, y plantea que las

pruebas ecotoxicológicas agudas y crónicas pueden contribuir a establecer una lista prioritaria de sustancias objetivo (Branchet et al., 2021). En este mismo sentido, propone que la identificación de efectos ecotoxicológicos puede contribuir a determinar un subconjunto de medicamentos de mayor preocupación, lo que permitiría una mejor orientación frente al uso adecuado de recursos, la evaluación, el monitoreo y la regulación de riesgos ambientales y para la salud humana (Fekadu et al., 2019).

Esta perspectiva también subraya la relevancia de procesos como la bioconcentración, la bioacumulación y la biomagnificación, los cuales deben ser entendidos como elementos clave que requieren mayor comprensión (Khan et al., 2022; Pinto et al., 2022). Finalmente, reconoce la escasez de estudios ecotoxicológicos crónicos sobre medicamentos, así como las limitaciones para representar las dinámicas ambientales reales, en comparación con los análisis de laboratorio, particularmente en el caso de mezclas de fármacos y exposiciones a largo plazo (Pereira et al., 2020).

Aproximación desde la evaluación del riesgo ambiental

Reconoce el riesgo que representan los PA para el equilibrio ecológico y la salud pública (Khan et al., 2022) y busca cuantificarlo (Khan et al., 2023). Además, señala la detección generalizada de fármacos en entornos acuáticos y el riesgo que implican para la salud ambiental (Pereira et al., 2020). Generalmente, se hace referencia a la metodología del riesgo propuesta por la Agencia Europea de Medicamentos (*European Medicines Agency* – EMA) (Khan et al., 2020). Esta metodología establece el cociente de riesgo (*Risk Quotient* – RQ) a partir de la relación entre la concentración ambiental prevista (*Predicted Environmental Concentration* – PEC) y la concentración prevista sin efecto (*Predicted No-Effect Concentration* – PNEC) (Khan et al., 2020; Pereira et al., 2020).

Advierte la existencia de múltiples vacíos de conocimiento en comparación con los efectos reales que estas sustancias pueden causar en organismos y ecosistemas, incluidos los efectos funcionales y su afinidad con la biota no objetivo (Kock et al., 2023).

Y también resalta el limitado conocimiento del riesgo asociado a las exposiciones a largo plazo y de bajo nivel, así como de los posibles efectos combinados de las mezclas (Hasni et al., 2023).

Aproximación desde el monitoreo y cuantificación

Se enfoca en determinar la presencia de los PA en el recurso hídrico, reconociendo la importancia de los avances tecnológicos –principalmente mejoras en equipos y procesos analíticos– que permiten la detección de estas sustancias (Daniels et al., 2020; Sanusi et al., 2023). Reconoce el papel del monitoreo y la evaluación continua en fuentes como hospitales e industrias, con el fin de aportar elementos para la mitigación de la problemática (Khan et al., 2022).

Analiza datos de seguimiento sobre concentraciones ambientales y plantea la necesidad de realizar más estudios para determinar la presencia de los fármacos (Sanusi et al., 2023). Señala que estos contaminantes han estado presentes en el medio ambiente durante años, aunque su presencia y efectos solo se han vuelto evidentes en las últimas décadas (Narayanan et al., 2022).

Propone la vigilancia exhaustiva y el estudio de su impacto en organismos vivos como medida para minimizar la exposición de los seres humanos, otros animales y ecosistemas a estos compuestos (Branchet et al., 2021).

Sin embargo, reconoce el elevado costo de los instrumentos analíticos de alta sensibilidad (Hashim et al., 2021) y busca mejorar el conocimiento de diversas técnicas de detección y análisis, procurando la viabilidad de su aplicación mediante un equilibrio entre los enfoques científicos y las limitaciones económicas y logísticas (Branchet et al., 2021). Asimismo, subraya la necesidad de continuar el estudio de los métodos analíticos con el propósito de controlar de manera eficaz la presencia de estas sustancias en ambientes acuáticos (Szymańska et al., 2019).

Esta perspectiva, entonces, propone que los programas de monitoreo prioricen aquellas sustancias con mayor probabilidad de afectar la salud humana y el medio ambiente (Miarov et al., 2020).

Aproximación regulatoria

Resalta la necesidad de elaborar y aplicar una legislación adecuada a nivel mundial para controlar la contaminación por fármacos (Kock et al., 2023) y señala la importancia del conocimiento sobre la toxicidad de los PA para reducir su uso a través de la aplicación legal (Khan et al., 2020). Propone controlar la contaminación a través de la reglamentación del uso y eliminación de fármacos, aunadas a los esfuerzos técnicos como las tecnologías de tratamiento (Kock et al., 2023).

Propende por un conjunto de normas que establezcan parámetros para controlar la presencia de los PA, particularmente en los puntos clave de contaminación, como los vertimientos de aguas residuales de hospitales e industrias farmacéuticas (Khan et al., 2023; Miarov et al., 2020; Valdez-Carrillo et al., 2020).

Además, plantea medidas regulatorias para el uso adecuado de los medicamentos, planes nacionales e internacionales de regulación, seguimiento y gestión de residuos sólidos y líquidos de medicamentos. Asimismo, la clasificación de compuestos farmacéuticos a través de las agencias reguladoras (Khan et al., 2023) y la aplicación de principios regulatorios como el principio de precaución y el principio de que “quien contamina, paga”, buscando que se tomen medidas preventivas incluso ante la ausencia de certeza científica plena sobre posibles riesgos, y que se internalicen los costos asociados a la contaminación (Miarov et al., 2020).

Aproximación desde la resistencia a los antimicrobianos (RAM)

Reconoce la RAM como un problema urgente de salud pública con graves consecuencias y la presencia de PA en los ecosistemas como uno de los aspectos que contribuye a esta (Kotwani et al., 2021; Megale y de Souza, 2023; Pereira et al., 2020; Szymańska et al., 2019).

Señala que la principal preocupación derivada de la presencia de fármacos en el ambiente consiste en el impacto de estas sustancias sobre las comunidades microbianas ambientales, ya que pueden imponer una presión selectiva y contribuir a la diseminación

de la RAM, poniendo en riesgo el tratamiento exitoso de infecciones en humanos y animales (Kotwani et al., 2021; Pinto et al., 2022).

Indica que la propagación de elementos de RAM no es causada exclusivamente por los antimicrobianos e identifica la relación de algunos antiinflamatorios no esteroideos y otros medicamentos distintos a los antibióticos (carbamazepina, diclofenaco, ibuprofeno, naproxeno, gemfibrozil y propranolol) en concentraciones ambientalmente relevantes con la adquisición y diseminación de la RAM (Gomes et al., 2020; Pinto et al., 2022).

Finalmente, identifica el uso indiscriminado de medicamentos en humanos y animales como parte de las causas que generan la problemática, así como la eliminación inadecuada en plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales actúan como reservorio de PA y genes de resistencia (Szymańska et al., 2019).

Aproximación de los medicamentos como consecuencia de la vida moderna

La presencia de PA y otros contaminantes en los ecosistemas se considera un subproducto inevitable del estilo de vida moderno (Mojiri et al., 2022). Destaca los beneficios diagnósticos y terapéuticos de los medicamentos, particularmente el papel de los antibióticos como pilares de la medicina moderna (Khan et al., 2020; Kotwani et al., 2021), ya que facilitan intervenciones clínicas que permiten superar de manera eficiente la expectativa de vida de las personas (Chaturvedi et al., 2021).

Sumado a esto, plantea que existe una inevitabilidad del uso de medicamentos con una consecuente relación de dependencia de la sociedad (Chia et al., 2021), y que la medicina moderna resulta inimaginable sin medicamentos (Gomes et al., 2020; Miarov et al., 2020).

Además, sugiere implícitamente que, debido a los beneficios que representan los medicamentos para la humanidad, los efectos negativos para los ecosistemas y la salud pública son secundarios (Zakari-Jiya et al., 2022)

Aproximación desde la biorremediación

Estudia y aplica técnicas de descontaminación empleando organismos vivos —como bacterias,

hongos o plantas— para degradar o eliminar PA, principalmente de aguas residuales. Plantea estas tecnologías como alternativas a los tratamientos convencionales, al considerarlas más efectivas, rentables y con beneficios ecológicos (Hejna et al., 2022; Kurade et al., 2021).

Esta aproximación resalta la ineficacia de los tratamientos convencionales, por lo que considera que se requiere de innovaciones sostenibles (Hejna et al., 2022; Kurade et al., 2021). Esto aplica tanto para la eliminación de PA a través de técnicas ecológicas —que buscan generar efluentes de aguas residuales tratados sin provocar contaminación secundaria—, como para aquellas que faciliten la obtención de otros productos útiles. Además, emplea materiales biológicos para la remediación de aguas residuales, dadas las características de adsorción, alta reactividad, sostenibilidad, rentabilidad y durabilidad (Hosseini et al., 2023).

Si bien esta aproximación también se centra en las tecnologías al final del proceso, se diferencia en su interés por la remediación biológica y la sostenibilidad. Resalta las ventajas del uso de organismos para el tratamiento de las aguas, ya que estos aprovechan los PA como nutrientes y los productos de desecho pueden emplearse como biorrecursos (Hejna et al., 2022); asimismo, destaca los menores costos asociados, mayor eficacia y menor empleo de mano de obra, en comparación con tratamientos convencionales (Hejna et al., 2022). Finalmente, considera que los enfoques basados en la biotecnología proporcionan beneficios para el ambiente y son más rentables en comparación con los tratamientos físico-químicos (Hosseini et al., 2023).

Aproximación ecosistémica

Se enfoca en los posibles efectos ecológicos que pueden resultar de la presencia de PA en el entorno. Plantea que la persistencia y bioacumulación de medicamentos y productos de cuidado personal en los ecosistemas puede generar alteraciones endocrinas, resistencia a fármacos, disminuir la productividad primaria, intensificar los desequilibrios ecosistémicos y causar efectos irreversibles tanto en los ecosistemas como en los seres humanos (Wang et al., 2021).

Plantea que, cuando los PA ingresan al medio acuático a través de la cadena alimentaria, pueden sufrir biomagnificación y aumentar su concentración en los siguientes niveles tróficos (Kock et al., 2023; Wang et al., 2021). Así lo han demostrado las investigaciones que han encontrado rastros de numerosos compuestos farmacéuticos en las cadenas alimentarias (Yadav et al., 2021), lo cual puede generar un efecto en cascada sobre la salud general de los ecosistemas acuáticos (Chia et al., 2021).

En los ecosistemas, los PA pueden tener efectos aditivos, sinérgicos y antagonicos (Chia et al., 2021). Sin embargo, se reconoce el vacío de información respecto a los efectos de los fármacos en las especies que conforman la base de las redes alimentarias acuáticas (Kock et al., 2023), y se plantea que la exposición a contaminantes emergentes puede alterar la diversidad microbiana y su función en los ecosistemas (Gomes et al., 2020). Los fármacos afectan el crecimiento, el metabolismo celular, la fotosíntesis y la estructura comunitaria de los productores primarios, particularmente del fitoplancton. Esto puede impactar su contribución al ciclo biogeoquímico de varios nutrientes importantes, así como la transferencia de energía y el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos (Chia et al., 2021), ya que las alteraciones en la estructura, composición y funcionamiento de la comunidad que afectan la producción primaria pueden tener efectos negativos en los niveles tróficos superiores (Kock et al., 2023).

Aproximación desde la medicamentación

Desde esta aproximación, se plantea el uso extensivo y descontrolado de medicamentos como una de las principales causas de su presencia en el ambiente (Pinto et al., 2022). Se identifica la reducción en el consumo de medicamentos, tanto de uso humano como veterinario, como el principal reto para intervenir esta contaminación (Branchet et al., 2021). Se destaca la relación entre el uso inadecuado de fármacos y el aumento de la generación y disposición de residuos de medicamentos y riesgos ecológicos y para la salud humana (Gwenzi et al., 2023).

En este mismo sentido, esta aproximación propone que la prescripción imprudente y excesiva, así como la suspensión de los tratamientos

farmacológicos (debido a la recuperación o muerte de un paciente), sumada a la falta de adherencia al tratamiento, la falta de eficacia y/o las reacciones adversas, son factores que impulsan la acumulación de medicamentos en los hogares y, en consecuencia, su descarte y presencia en el ambiente (Gwenzi et al., 2023). Adicionalmente, propone que el uso excesivo de antibióticos se relaciona con numerosos problemas ambientales y de salud humana (Chaturvedi et al., 2021).

Aproximación desde Una sola salud

Se posiciona desde la interrelación entre la salud de las personas, los animales y los ecosistemas (OMS, 2023) y propone movilizar múltiples sectores, disciplinas y comunidades en distintos niveles de la sociedad para trabajar de manera conjunta en la promoción del bienestar, así como para enfrentar las amenazas a la salud y los ecosistemas (OMS, 2021). Teniendo en cuenta la interconexión entre la salud humana, animal y ambiental, propone una aproximación integral que permita construir redes de trabajo entre médicos, veterinarios, científicos ambientales y profesionales de la salud pública (Zakari-Jiya et al., 2022).

Se preocupa particularmente por el desarrollo y la transmisión de la RAM, debido al papel fundamental que desempeñan las interconexiones entre los ecosistemas y los sectores humano, animal y ambiental en su difusión (Kotwani et al., 2021). Busca la colaboración, comunicación y coordinación entre los sectores implicados en la contaminación por medicamentos, con el fin de optimizar la salud de las personas, los animales y los ecosistemas, por lo que la aproximación multisectorial y multidimensional de Una sola salud puede incidir en controlar la RAM (Kotwani et al., 2021).

Señala las consecuencias para los ecosistemas de la contaminación de las matrices ambientales y reconoce que esta situación podría convertirse en un problema de salud pública (da Silva et al., 2023). Adicionalmente, identifica que la industria farmacéutica desempeña un papel importante, debido a que actúa como reservorio de antibióticos y genes de resistencia a los antibióticos en el entorno (Kotwani et al., 2021).

Aproximación desde la química verde

Reconoce la importancia de la industria farmacéutica respecto a la presencia de fármacos en el ambiente, principalmente debido a la gestión de sus aguas residuales. Por ello, propone que este actor debe realizar intervenciones para la sostenibilidad de su proceso productivo a través de prácticas de química verde (Khan et al., 2020). Propone que dichos cambios deben permitir una alta metabolización y degradación ambiental para reducir la carga ambiental y disminuir los impactos sobre el ambiente y en la salud (Pinto et al., 2022).

Esta aproximación hace parte del enfoque estratégico sobre productos farmacéuticos en el medio ambiente, adoptado por la Comisión Europea en 2019, que busca abordar las implicaciones ambientales de los medicamentos humanos y veterinarios, desde el diseño y la producción hasta el uso y la eliminación (Pinto et al., 2022).

Busca también la reducción de subproductos de desecho a través de procesos productivos más ecológicos (Hossein et al., 2023) y plantea intervenciones en el campo del monitoreo, donde introducir métodos basados en la microextracción podrían disminuir el uso de disolventes tóxicos utilizados en la etapa de preparación de las muestras (Szymańska et al., 2019).

Relaciones y distinciones entre las aproximaciones

Las distintas aproximaciones identificadas a través del análisis temático no constituyen marcos rígidos ni perfectamente delimitados; estos se deben entender como un conjunto de posturas que, aunque presentan diferencias, también comparten elementos con otras aproximaciones. Por ello, algunas revisiones fueron categorizadas en más de una aproximación, dado que así lo ameritaba el contenido de los estudios analizados.

En cuanto a los límites y la superposición de las aproximaciones, cómo las categorías *Resistencia a los antimicrobianos* y *Una sola salud* comparten la preocupación por la resistencia a los antimicrobianos y sus implicaciones en salud pública, entre otros. Sin embargo, también existe una diferencia entre estas dos categorías; por ejemplo, desde *Una sola salud* enfatiza la interrelación entre las personas, los

animales y los ecosistemas, mientras que la aproximación RAM se centra en los determinantes de dicha resistencia a los antimicrobianos.

Por otra parte, aunque la aproximación de *Evaluación del riesgo ambiental* se preocupa por los posibles impactos toxicológicos de los PA, la aproximación *Toxicológica* centra su atención en los ensayos para establecer los efectos adversos sobre diferentes organismos y las concentraciones a las que estos ocurren. Asimismo, la detección y cuantificación de PA constituye la base de la aproximación que se realiza desde el monitoreo, aunque no es exclusiva de esta categoría, pues tanto la *Evaluación del riesgo ambiental* como la aproximación *Toxicológica* dependen, en parte, del análisis de la información que proviene de dichas mediciones.

En el mismo sentido, la aproximación de *Tecnologías al final del proceso* enfoca sus esfuerzos en las técnicas de descontaminación, particularmente en los tratamientos avanzados de aguas residuales. Se trata de un enfoque que requiere apoyarse en el monitoreo y la cuantificación como base para determinar la presencia de las moléculas y las eficiencias de remoción.

Discusión

Las aproximaciones a la contaminación por residuos químicos, principalmente en el medio acuático, también se han estudiado por otros autores. Por ejemplo, Bieber et al. (2016) analizaron estrategias para la reducción de compuestos orgánicos traza de preocupación emergente, incluyendo fármacos, en países con economías desarrolladas. Se identificaron dos aproximaciones centrales para reducir la emisión de sustancias químicas: el enfoque basado en el riesgo y el enfoque basado en el principio de precaución.

El primero consiste en la regulación de las concentraciones máximas permisibles, con el fin de limitar la liberación de compuestos peligrosos al agua. El segundo, independientemente del riesgo identificado, busca minimizar la presencia de compuestos orgánicos traza no deseados en el ambiente. Las estrategias basadas en inmisiones (enfoque basado en principio de precaución) buscan preservar o restaurar el estado ambiental de un cuerpo de agua

receptor, mientras que las estrategias basadas en emisiones (enfoque basado en el riesgo) se orientan a reducir los vertimientos.

Caban y Stepnowski (2021), proponen enfoques *upstream* y *downstream*¹ basados en el ciclo de vida del medicamento, con intervenciones en tres áreas:

1) Diseño, síntesis y producción de fármacos: síntesis de medicamentos ecológicos que incluyen farmacología benigna por diseño y la química verde; mayor biodisponibilidad y mayor selectividad de acción; sistemas inteligentes de administración de medicamentos², y reevaluación de las fechas de caducidad (ya que la mayoría de los fabricantes las reducen deliberadamente o utilizan un valor estándar de un año)

2) Prescripción, venta y gestión de residuos: mejora el diagnóstico, el uso de antibióticos, el control del abuso, la adicción y la automedicación, regulación de prescripciones y venta de fármacos (incluyendo ventas por internet,), implementación de sistemas electrónicos de control de prescripción, ecoetiquetado (información sobre la calidad ambiental del producto), restricción de publicidad y control del mercado negro de medicamentos.

3) Control en la fuente y tecnologías avanzadas de tratamiento: programas de devolución de residuos de medicamentos, control de escorrentía superficial, aguas pluviales y lodos contaminados; tratamiento de aguas (domésticas, industriales, hospitalarias, de ganadería, de acuicultura de rellenos sanitarios) mediante técnicas avanzadas.

Llama la atención que para estos autores la prevención mediante el aumento del bienestar, los estándares de higiene y la calidad de las condiciones de los humanos y los animales constituyen la acción más efectiva para intervenir la contaminación por

medicamentos, aunque no profundizan o desarrollan estos aspectos.

Por su parte, Blair (2016) realiza una revisión de las estrategias de mitigación *upstream*, resaltando los programas de devolución de medicamentos y la eliminación de residuos de medicamentos con los residuos comunes (en ausencia de programas de devolución, mezclándolos con residuos de café, arena para gatos u otros residuos). También introduce el concepto de *fármacos verdes* (*green pharmaceuticals*), entendido como la producción de compuestos que tengan una mayor absorción en el organismo, dosis generales más bajas, maximicen su susceptibilidad a la biodegradación ambiental, la sorción y la fotólisis, o sean menos dañinos para el medio ambiente.

Adicionalmente, señala la prescripción de dosis más bajas y dosis terapéuticas mínimas, lo cual implica iniciar el tratamiento con la dosis mínima efectiva, y ajustarla según sea necesario. También propone la prescripción sostenible ecodirigida, que consiste en prescripción basada en el perfil de excreción, y la farmacocinética de varios compuestos farmacéuticos e inodoros con separación de orina, teniendo en cuenta que la orina es menos del 1 % del volumen de las aguas residuales domésticas, pero contiene el 70 % de los PA emitidos al flujo de residuos.

Barcellos et al. (2022), proponen distintas aproximaciones, clasificadas en cuatro categorías:

- 1) Técnico, que incluye tratamientos de agua y aguas residuales, desviación de orina y química verde.
- 2) Organizacional, que incluye redes colaborativas para la gestión e iniciativas para reducir la contaminación dentro de las organizaciones (ONG, sindicatos, industrias, empresas, hospitales, instalaciones de salud y comercio), programas de devolución de medicamentos, la reducción del uso de medicamentos y mejores prácticas.
- 3) Comunitario, que incluye los esfuerzos de la población y los profesionales que actúan individualmente.
- 4) Gubernamental, que involucra principalmente políticas públicas materializadas por instrumentos económicos, legales e informativos que respaldan los tres enfoques ya mencionados.

1 Estos términos tienen diversos usos. En los artículos que se mencionan en este documento, hacen referencia a las acciones antes de que se produzca el vertimiento de aguas contaminadas con fármacos a los ecosistemas (*upstream*) o las acciones después de dicho vertimiento (*downstream*).

2 Son tecnologías que permiten administrar fármacos de forma controlada y dirigida, por ejemplo, bombas de infusión o sistemas de liberación controlada.

La naturaleza de estas estrategias evidencia el potencial para avanzar en la gestión de estos contaminantes de forma paralela a los esfuerzos por universalizar el saneamiento básico.

No obstante, en estos, como en la mayoría de artículos analizados a través de esta revisión de alcance, solo se hace mención a algunos aspectos sociales relacionados con el consumo de medicamentos. Con excepción en la propuesta Barcellos et al. (2022), estos parecen ser más bien elementos contextuales que un punto de apalancamiento para la propuesta de abordajes o intervenciones.

Se reconoce un uso exacerbado de medicamentos, pero, al hacer referencia a la posibilidad de limitar su uso, los aspectos éticos (Bieber et al., 2016), de dependencia social (Gomes et al., 2020), y biomédicos (Gomes et al., 2020; Kotwani et al., 2021) son resaltados como limitaciones para procurar una reducción del consumo. Esto contrasta con la información ampliamente difundida de la OMS, que señala que el 50 % de la prescripción, dispensación y consumo de medicamentos se hace de manera inadecuada (WHO, 2011).

Esta situación se agrava si se considera que, en los últimos años, el uso de fármacos ha aumentado y su abuso se ha vuelto más desenfrenado (Chambers et al., 2024; Fallah et al., 2021). Diversos estudios mencionan un número variable de compuestos farmacéuticos que se prescriben a nivel mundial, tanto para uso humano como veterinario. Por ejemplo, Caldwell et al. (2014), señalan que alrededor de 3.500 principios activos de medicamentos son de uso común actualmente; Boxall et al. (2012), indican que en la actualidad se utilizan más de 4.000; mientras que Kock et al. (Kock et al., 2023) y Fekadu et al. (2019), indican que estimaciones recientes sugieren una ingesta diaria total de 5.000 fármacos en Europa y 10.000 en Estados Unidos. Esta situación llama más la atención si se tiene en cuenta que, de acuerdo con lo informado por la OCDE (2019), el 88 % de los fármacos de uso humano carecen de datos exhaustivos sobre toxicidad ambiental o estos no están disponibles públicamente.

Lo anterior se relaciona con la expansión de la comercialización de medicamentos que ha facilitado el acceso a estos productos (da Silva et al., 2023), pero también con una problemática incrustada en el

modelo económico, que prioriza el lucro por encima de los fines sanitarios (Torreale, 2024).

La contaminación ambiental por medicamentos plantea retos que no se limitan a los aspectos técnicos de descontaminación o al conocimiento de las interacciones de los principios activos de medicamentos con organismos. También pone en evidencia la importancia de entender cómo la sociedad entiende las causas de la problemática y prioriza sus intervenciones, así como la necesidad de promover visiones de la salud orientadas desde el bienestar de la población y formas de entender los daños al ambiente más allá de un efecto colateral o una externalidad.

Conclusiones

Existe una amplia literatura científica sobre la contaminación por medicamentos, la cual permite identificar diversas aproximaciones para la comprensión y propuestas de intervención sobre el fenómeno, con una visión predominantemente técnica, alineada con la perspectiva de las soluciones al final del proceso y con preeminencia de las técnicas de descontaminación y recolección de residuos. En otras palabras, los estudios demuestran que se otorga menor importancia a los elementos preventivos y a los elementos estructurales de la sociedad que permitan mejorar la salud y generar un menor consumo de medicamentos.

Se reconoce que la contaminación por medicamentos es un problema de salud pública, en donde las interrelaciones sociales y de la sociedad con la naturaleza juegan un papel preponderante. Si bien es importante continuar investigando sobre aspectos específicos sobre concentraciones ambientales, efectos sobre las especies, evaluación de riesgos y aspectos normativos, también se evidencia la necesidad de abordar los aspectos sociales implicados en la problemática.

Explorar otros acercamientos a la problemática, como la *Aproximación de los medicamentos como consecuencia de la vida moderna* o la *Aproximación con relación al desarrollo económico*, puede aportar elementos para el análisis de los aspectos sociales subyacentes. Profundizar en la comprensión del consumo excesivo de medicamentos también brinda elementos significativos para analizar la dependencia y papel

preponderante que, como sociedad, se otorga a las intervenciones sobre las consecuencias, por encima de la prevención y la mejora en las condiciones de vida.

La falta de acceso al agua potable, al saneamiento y a la higiene, además de otras condiciones necesarias para llevar una vida saludable, se identifican como elementos clave que contribuyen a agravar la problemática. Junto con estos factores, el uso indiscriminado de medicamentos se identifica como uno de los principales factores que promueve la contaminación ambiental por fármacos. La presencia de principios activos (PA) en los ecosistemas es el reflejo de una sociedad que promueve el uso excesivo de medicamentos, que no garantiza condiciones de vida saludables, y que aborda los problemas de la salud-enfermedad-cuidado desde una perspectiva asistencial, más que preventiva.

Agradecimientos

Dos de los autores de esta publicación contaron con el apoyo del Programa de Apoyo a la Formación Doctoral (PAFD), realizado en el marco del convenio específico entre Centro de Investigaciones para el Desarrollo (ZEF, por sus siglas en alemán) de la Universidad de Bonn y el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), de la Universidad Nacional de Colombia. El convenio es financiado por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD, por sus siglas en alemán) y el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ, por sus siglas en alemán).

Contribuciones de autoría:

Diego Mauricio Quijano Prieto: conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, redacción del borrador original y redacción (revisión y edición).

José Gilberto Orozco Díaz: conceptualización, metodología, redacción del borrador original y redacción (revisión y edición).

Javier Toro: metodología, redacción del borrador original y redacción (revisión y edición).

Magnolia del Pilar Ballesteros-Cabrera: metodología, redacción del borrador original y redacción (revisión y edición).

Conflictos de interés:

Los autores declaran que no tienen relaciones personales, académicas, laborales o cualquier otra que pongan en riesgo la validez de los resultados aquí presentados y su interpretación.

Bibliografía

- Adeleye, A. S., Xue, J., Zhao, Y., Taylor, A. A., Zenobio, J. E., Sun, Y., Han, Z., Salawu, O. A., & Zhu, Y. (2022). Abundance, fate, and effects of pharmaceuticals and personal care products in aquatic environments. *Journal of Hazardous Materials*, 424(Pt B), 127284. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127284>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Arnold, K. E., Brown, A. R., Ankley, G. T., & Sumpter, J. P. (2014). Medicating the environment: Assessing risks of pharmaceuticals to wildlife and ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1656). <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0569>
- Ashraf, M., Ahammad, S. Z., & Chakma, S. (2023). Advancements in the dominion of fate and transport of pharmaceuticals and personal care products in the environment—a bibliometric study. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(23), 64313–64341. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26796-7>
- Aus der Beek, T., Weber, F.-A., Bergmann, A., Hickmann, S., Ebert, I., Hein, A., & Küster, A. (2016). Pharmaceuticals in the environment—Global occurrences and perspectives. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(4), 823–835. <https://doi.org/10.1002/etc.3339>
- Babuji, P., Thirumalaisamy, S., Duraisamy, K., & Periyasamy, G. (2023). Human Health Risks due to Exposure to Water Pollution: A Review. *Water*, 15(14), 2532. <https://doi.org/10.3390/W15142532>
- Barcellos, D. da S., Procopiuck, M., & Bollmann, H. A. (2022). Management of pharmaceutical micro-pollutants discharged in urban waters: 30 years of systematic review looking at opportunities for developing countries. *Science of The Total Environment*, 809, 151128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151128>
- Bianco, G., Foti, L., Pascale, R., Lelario, F., Coviello, D., Brienza, M., Bufo, S. A., & Scrano, L. (2021). Phosphodiesterase-5 (PDE-5) inhibitors as emergent environmental contaminants: Advanced remediation and analytical methods. *Water*, 13(20), 2859. <https://doi.org/10.3390/W13202859>

- Bieber, S., Rauch-Williams, T., & Drewes, J. E. (2016). An assessment of international management strategies for CECs in Water. *ACS Symposium Series*, (Vol. 1241, pp.11–22). <https://doi.org/10.1021/BK-2016-1241.CH002>
- Blair, B. D. (2016). Potential upstream strategies for the mitigation of pharmaceuticals in the aquatic environment: a brief review. *Current Environmental Health Reports*, 3(2), 153–160. <https://doi.org/10.1007/s40572-016-0088-x>
- Boxall, A. B. A., Rudd, M. A., Brooks, B. W., Caldwell, D. J., Choi, K., Hickmann, S., Innes, E., Ostapyk, K., Staveley, J. P., Verslycke, T., Ankley, G. T., Beazley, K. F., Belanger, S. E., Berninger, J. P., Carriquiriborde, P., Coors, A., Deleo, P. C., Dyer, S. D., Ericson, J. F., ... Van der Kraak, G. (2012). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: What are the big questions? *Environmental health perspectives*, 120(9), 1221–1229. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104477>
- Branchet, P., Arpin-Pont, L., Piram, A., Boissery, P., Wong-Wah-Chung, P., & Doumenq, P. (2021). Pharmaceuticals in the marine environment: What are the present challenges in their monitoring? *Science of the total environment*, 766, 142644. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142644>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Caban, M., & Stepnowski, P. (2021). How to decrease pharmaceuticals in the environment? A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(4), 3115–3138. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01194-y>
- Caldwell, D. J., Mastrocco, F., Margiotta-Casaluci, L., & Brooks, B. W. (2014). An integrated approach for prioritizing pharmaceuticals found in the environment for risk assessment, monitoring and advanced research. *Chemosphere*, 115(1), 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.021>
- Castleberry, A., & Nolen, A. (2018). Thematic analysis of qualitative research data: Is it as easy as it sounds? *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 10(6), 807–815. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2018.03.019>
- Chambers, D., Preston, L., Clowes, M., Cantrell, A. J., & Goyder, E. C. (2024). Pharmacist-led primary care interventions to promote medicines optimisation and reduce overprescribing: a systematic review of UK studies and initiatives. *BMJ Open*, 14(8), e081934. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2023-081934>
- Chaturvedi, P., Shukla, P., Giri, B. S., Chowdhary, P., Chandra, R., Gupta, P., & Pandey, A. (2021). Prevalence and hazardous impact of pharmaceutical and personal care products and antibiotics in environment: A review on emerging contaminants. *Environmental research*, 194, 110664, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110664>
- Chaves, M. de J. S., Kulzer, J., Pujol de Lima, P. da R., Barbosa, S. C., & Primel, E. G. (2022). Updated knowledge, partitioning and ecological risk of pharmaceuticals and personal care products in global aquatic environments. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 24(11), 1982–2008. <https://doi.org/10.1039/d2em00132b>
- Chia, M. A., Lorenzi, A. S., Ameh, I., Dauda, S., Cordeiro-Araújo, M. K., Agee, J. T., Okpanachi, I. Y., & Adesalu, A. T. (2021). Susceptibility of phytoplankton to the increasing presence of active pharmaceutical ingredients (APIs) in the aquatic environment: A review. *Aquatic Toxicology*, 234, 105809. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105809>
- Clarke, V., & Braun, V. (2017). Thematic analysis. *Journal of Positive Psychology*, 12(3), 297–298. <https://doi.org/10.1080/17439760.2016.1262613>
- da Silva, V. W. P., Figueira, K. L., da Silva, F. G., Zaugui, G. S., & Meschede, M. S. C. (2023). Descarte de medicamentos e os impactos ambientais: uma revisão integrativa da literatura. *Ciência & Saúde Coletiva*, 28(4), 1113–1123. <https://doi.org/10.1590/1413-81232023284.05752022>
- Daniels, K. D., Park, M., Huang, Z., Jia, A., Flores, G. S. S., Lee, H. K., & Snyder, S. A. (2020). A review of extraction methods for the analysis of pharmaceuticals in environmental waters. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(21), 2271–2299. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1705723>
- Das, M. K., Das, S., & Srivastava, P. K. (2023). An overview on the prevalence and potential impact of antimicrobials and antimicrobial resistance in the aquatic environment of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11569-z>
- Daughton, C. G. (2016). Pharmaceuticals and the Environment (PiE): Evolution and impact of the published literature revealed by bibliometric analysis. *Science of the Total Environment*, 562, 391–426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.109>
- de Souza, R. B., & Guimarães, J. R. (2022). Effects of Avermectins on the Environment Based on Its Toxicity to Plants and Soil Invertebrates—a Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233, 259. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05744-0>
- Fallah, Z., Zare, E. N., Ghomi, M., Ahmadijokani, F., Amini, M., Tajbakhsh, M., Arjmand, M., Sharma, G., Ali, H., Ahmad, A., Makvandi, P., Lichtfouse, E., Sillanpää, M., Varma, R. S., Makvandi, P., Lichtfouse, E., Sillanpää, M., & Varma, R. S. (2021). Toxicity and remediation of pharmaceuticals and pesticides using metal oxides and carbon nanomaterials. *Chemosphere*, 275. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.130055>
- Fekadu, S., Alemayehu, E., Dewil, R., & Van der Bruggen, B. (2019). Pharmaceuticals in freshwater

- aquatic environments: A comparison of the African and European challenge. *The Science of the Total Environment*, 654, 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.072>
- Gomes, I. B., Maillard, J.-Y., Simões, L. C., & Simões, M. (2020). Emerging contaminants affect the microbiome of water systems—strategies for their mitigation. *npj Clean Water*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-020-00086-y>
- González-González, R. B., Sharma, P., Singh, S. P., Américo-Pinheiro, J. H. P., Parra-Saldivar, R., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2022). Persistence, environmental hazards, and mitigation of pharmaceutically active residual contaminants from water matrices. *Science of the Total Environment*, 821. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153329>
- González Peña, O. I., López Zavala, M. Á., & Cabral Ruelas, H. (2021). Pharmaceuticals market, consumption trends and disease incidence are not driving the pharmaceutical research on water and wastewater. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 1–37. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052532>
- Gwenzi, W., Simbanegavi, T. T. T., & Rzymiski, P. (2023). Household Disposal of Pharmaceuticals in Low-Income Settings: Practices, Health Hazards, and Research Needs. *Water* 15(3). <https://doi.org/10.3390/w15030476>
- Gworek, B., Kijeńska, M., Wrzosek, J., & Graniewska, M. (2021). Pharmaceuticals in the Soil and Plant Environment: a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(4). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04954-8>
- Hashim, N., Yuzir, A., Al-Qaim, F. F., & Yahaya, N. K. E. M. (2021). Occurrence and Distribution of 17 Targeted Human Pharmaceuticals in Various Aquatic Environmental Matrices in Southeast Asia with Particular Reference to Malaysia: A Comprehensive Review. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 65(3), 434–456. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v65i3.1487>
- Hasni, N. A. K., Anual, Z. F., Rashid, S. A., Syed Abu Thahir, S., Veloo, Y., Fang, K. S., Mazeli, M. I., Hasni, N. A., Anual, Z. F., Rashid, S. A., Abu Thahir, S., Veloo, Y., Fang, K. S., & Mazeli, M. I. (2023). Occurrence of endocrine disruptors in Malaysia's water systems: A scoping review. *Environmental Pollution*, 324(121095). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121095>
- Hejna, M., Kapuścińska, D., & Aksmann, A. (2022). Pharmaceuticals in the Aquatic Environment: A Review on Eco-Toxicology and the Remediation Potential of Algae. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13). <https://doi.org/10.3390/ijerph19137717>
- Hosseini, M., Asha, R., Bakari, R., Islam, N. F., Jiang, G., & Sarma, H. (2023). Exploring eco-friendly approaches for mitigating pharmaceutical and personal care products in aquatic ecosystems: A sustainability assessment. *Chemosphere*, 316, 137715. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137715>
- Huang, S. K., Yu, J. P., Li, C., Zhu, Q. J., Zhang, Y. S., Lichtfouse, E., & Marmier, N. (2022). The Effect Review of Various Biological, Physical and Chemical Methods on the Removal of Antibiotics. *Water*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/w14193138>
- Khan, A. H., Abdul Aziz, H., Palaniandy, P., Naushad, M., Cevik, E., & Zahmatkesh, S. (2023). Pharmaceutical residues in the ecosystem: Antibiotic resistance, health impacts, and removal techniques. *Chemosphere*, 339, 139647. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.139647>
- Joffe, H. (2011). Thematic Analysis. En D. Harper & A. R. Thompson (Eds.), *Qualitative research methods in mental health and psychotherapy: A guide for students and practitioners* (pp. 209–223). <https://doi.org/10.1002/9781119973249.ch15>
- Khan, A. H., Aziz, H. A., Khan, N. A., Hasan, M. A., Ahmed, S., Farooqi, I. H., Dhingra, A., Vambol, V., Changani, F., Yousefi, M., Islam, S., Mozaffari, N., & Mahtab, M. S. (2022). Impact, disease outbreak and the eco-hazards associated with pharmaceutical residues: A critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(1), 677–688. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03158-9>
- Khan, H. K., Rehman, M. Y. A., & Malik, R. N. (2020). Fate and toxicity of pharmaceuticals in water environment: An insight on their occurrence in South Asia. *Journal of Environmental Management*, 271, 111030. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111030>
- Kıdak, R., & Doğan, Ş. (2018). Medium-high frequency ultrasound and ozone based advanced oxidation for amoxicillin removal in water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.01.033>
- Kock, A., Glanville, H. C., Law, A. C., Stanton, T., Carter, L. J., & Taylor, J. C. (2023). Emerging challenges of the impacts of pharmaceuticals on aquatic ecosystems: A diatom perspective. *Science of the Total Environment*, 878, 162939. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162939>
- Kotwani, A., Joshi, J., & Kaloni, D. (2021). Pharmaceutical effluent: A critical link in the interconnected ecosystem promoting antimicrobial resistance. *Environmental Science and Pollution Research International*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14178-w>
- Kucharski, D., Nałęcz-Jawecki, G., Drzewicz, P., Skowronek, A., Mianowicz, K., Strzelecka, A., & Giebułtowicz, J. (2022). The assessment of environmental risk related to the occurrence of pharmaceuticals in bottom sediments of the Odra River estuary (SW Baltic Sea). *Science of the Total Environment*, 828, 154446. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154446>

- 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.csee.2022.100219>
- Kümmerer, K. (2010). Pharmaceuticals in the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 35(1), 57–75. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-052809-161223>
- Kurade, M. B., Ha, Y.-H., Xiong, J.-Q., Govindwar, S. P., Jang, M., & Jeon, B. H. (2021). Phytoremediation as a green biotechnology tool for emerging environmental pollution: A step forward towards sustainable rehabilitation of the environment. *Chemical Engineering Journal*, 415, 129040. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129040>
- Kusturica, M. P., Jevtic, M., & Ristovski, J. T. (2022). Minimizing the environmental impact of unused pharmaceuticals: Review focused on prevention. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1077974. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1077974>
- McEachran, A. D., Blackwell, B. R., Hanson, J. D., Wooten, K. J., Mayer, G. D., Cox, S. B., & Smith, P. N. (2015). Antibiotics, bacteria, and antibiotic resistance genes: Aerial transport from cattle feed yards via particulate matter. *Environmental Health Perspectives*, 123(4), 337–343. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408555>
- Megale, J. D., & De Souza, D. (2023). New approaches in antibiotics detection: The use of square wave voltammetry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 234, 115526. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2023.115526>
- Mezzelani, M., & Regoli, F. (2022). The biological effects of pharmaceuticals in the marine environment. *Annual Review of Marine Science*, 14, 105–128. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-040821-075606>
- Miarov, O., Tal, A., & Avisar, D. (2020). A critical evaluation of comparative regulatory strategies for monitoring pharmaceuticals in recycled wastewater. *Journal of Environmental Management*, 254, 109794. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109794>
- Miettinen, M., & Khan, S. A. (2022). Pharmaceutical pollution: A weakly regulated global environmental risk. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 31(1), 75–88. <https://doi.org/10.1111/reel.12422>
- Miller, T. H., Bury, N. R., Owen, S. F., MacRae, J. I., & Barron, L. P. (2018). A review of the pharmaceutical exposome in aquatic fauna. *Environmental Pollution*, 239, 129–146. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.012>
- Mojiri, A., Zhou, J. L., Ratnaweera, H., Rezaei, S., & Nazari, V. M. (2022). Pharmaceuticals and personal care products in aquatic environments and their removal by algae-based systems. *Chemosphere*, 288(Pt 2), 132580. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132580>
- Monapathi, M. E., Oguegbulu, J. C., Adogo, L., Klink, M., Okoli, B., Mtunzi, F., & Modise, J. S. (2021). Pharmaceutical pollution: Azole antifungal drugs and resistance of opportunistic pathogenic yeasts in wastewater and environmental water. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021, 9985398. <https://doi.org/10.1155/2021/9985398>
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Liu, G., Balaram, V., Ribeiro, A. R. L., Lu, Z., Stock, F., Carmona, E., Teixeira, M. R., Picos-Corralles, L. A., Moreno-Piraján, J. C., Giraldo, L., Li, C., Pandey, A., Hocquet, D., Torri, G., & Crini, G. (2022a). 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>
- Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *Medical Research Methodology*, 18(143), 7. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- Naeem, M., Ozuem, W., Howell, K., & Ranfagni, S. (2023). A step-by-step process of thematic analysis to develop a conceptual model in qualitative research. *International Journal of Qualitative Methods*, 22(October), 1–18. <https://doi.org/10.1177/16094069231205789>
- Narayanan, M., El-Sheekh, M., Ma, Y., Pugazhendhi, A., Natarajan, D., Kandasamy, G., Raja, R., Saravana Kumar, R. M., Kumarasamy, S., Sathiyam, G., Geetha, R., Paulraj, B., Liu, G., & Kandasamy, S. (2022). Current status of microbes involved in the degradation of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) pollutants in the aquatic ecosystem. *Environmental Pollution*, 300, 118922. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118922>
- Ngqwala, N. P., & Muchesa, P. (2020). Occurrence of pharmaceuticals in aquatic environments: A review and potential impacts in South Africa. *South African Journal of Science*, 116(7–8), 1–7. <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/5730>
- Nguyen, M. K., Lin, C., Nguyen, H. L., Hung, N. T. Q., La, D. D., Nguyen, X. H., Chang, S. W., Chung, W. J., & Nguyen, D. D. (2023). Occurrence, fate, and potential risk of pharmaceutical pollutants in agriculture: Challenges and environmentally friendly solutions. *Science of the Total Environment*, 899, 165323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165323>
- Nichols, A., Maynard, V., Goodman, B., & Richardson, J. (2009). Health, climate change and sustainability: A systematic review and thematic analysis of the literature. *Environmental Health Insights*, 3. <https://doi.org/10.4137/EHI.S3003>

- OECD. (2019). *Pharmaceutical residues in freshwater: Hazards and policy responses*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/c936f42d-en>
- Ohoro, C. R., Adeniji, A. O., Okoh, A. I., & Okoh, O. O. (2019). Distribution and chemical analysis of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the environmental systems: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph16173026>
- OMS. (2021). El grupo tripartito y el PNUMA respaldan la definición de «Una sola salud» proporcionada por el Cuadro de Expertos de Alto Nivel para el enfoque de «Una sola salud». <https://www.who.int/es/news/item/01-12-2021-tripartite-and-unep-support-ohhlep-s-definition-of-one-health>
- OMS. (2023). Una sola salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/one-health>
- Orozco Díaz, J. G. (2012). *De la farmacovigilancia al monitoreo crítico de los medicamentos: El proceso de registro de medicamentos en Colombia 2006*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ortúzar, M., Esterhuizen, M., Olicón-Hernández, D. R., González-López, J., & Aranda, E. (2022). Pharmaceutical pollution in aquatic environments: A concise review of environmental impacts and bioremediation systems. *Frontiers in Microbiology*, 13, 869332. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.869332>
- Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z., & Elmagarmid, A. (2016). Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Pereira, A., Silva, L., Laranjeiro, C., Lino, C., & Pena, A. (2020). Selected pharmaceuticals in different aquatic compartments: Part II—Toxicity and environmental risk assessment. *Molecules*, 25(8), 1796. <https://doi.org/10.3390/molecules25081796>
- Peters, M. D. J., Marnie, C., Tricco, A. C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M., & Khalil, H. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBIM Evidence Synthesis*, 18(10), 2119–2126. <https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167>
- Pinto, I., Simões, M., & Gomes, I. B. B. I. B. (2022). An overview of the impact of pharmaceuticals on aquatic microbial communities. *Antibiotics*, 11(12), 1700. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11121700>
- Pirsaheb, M., Hossaini, H., & Janjani, H. (2019). An overview on ultraviolet persulfate-based advanced oxidation process for removal of antibiotics from aqueous solutions: A systematic review. *Desalination and Water Treatment*, 165, 382–395. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24559>
- Ratchnashree, S. R., Karmegam, N., Selvam, M., Manikandan, S., Deena, S. R., Subbaiya, R., Vickram, A. S., Kim, W., & Govarthan, M. (2023). Advanced technologies for the determination of quantitative structure-activity relationships and degradation efficiency of micropollutants and their removal in water – A review. *Science of the Total Environment*, 904, 166563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166563>
- Salm, M., Ali, M., Minihane, M., & Conrad, P. (2021). Defining global health: Findings from a systematic review and thematic analysis of the literature. *BMJ Global Health*, 6(6). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-005292>
- Sanusi, I. O., Olutona, G. O., Wawata, I. G., & Onohuean, H. (2023). Occurrence, environmental impact and fate of pharmaceuticals in groundwater and surface water: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(39), 90595–90614. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28802-4>
- Silva, V. W. P. da, Figueira, K. L., Silva, F. G. da, Zagui, G. S., & Meschede, M. S. C. (2023). Descarte de medicamentos e os impactos ambientais: Uma revisão integrativa da literatura [Disposal of drugs and the ensuing environmental impacts: An integrative review of the literature]. *Ciência & Saúde Coletiva*, 28(4), 1113–1123. <https://doi.org/10.1590/1413-81232023284.05752022>
- Sousa, J. C. G., Ribeiro, A. R., Barbosa, M. O., Pereira, M. F. R., & Silva, A. M. T. (2018). A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 146–162. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.09.058>
- Souza, C. C., Aquino, S. F., & Silva, S. de Q. (2020). Ensaaios toxicológicos aplicados à análise de águas contaminadas por fármacos [Toxicological tests applied to the analysis of water contaminated by drugs]. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25(2), 217–228. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020183632>
- Styszko, K., Durak, J., Kończak, B., Głodniok, M., & Borgulat, A. (2022). The impact of sewage sludge processing on the safety of its use. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16354-5>
- Szymańska, U., Wiergowski, M., Sołtyszewski, I., Kuzemko, J., Wiergowska, G., & Woźniak, M. K. (2019). Presence of antibiotics in the aquatic environment in Europe and their analytical monitoring: Recent trends and perspectives. *Microchemical Journal*, 147, 729–740. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.04.003>

- Thomas, F. (2017). Pharmaceutical waste in the environment: A cultural perspective. *Public Health Panorama*, 3(1), 127–132.
- Thomas, F., & Depledge, M. (2015). Medicine “misuse”: Implications for health and environmental sustainability. *Social Science & Medicine*, 143, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.08.028>
- Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45>
- Torreale, E. (2024). Why are our medicines so expensive? Spoiler: Not for the reasons you are being told.... *European Journal of General Practice*, 30(1). <https://doi.org/10.1080/13814788.2024.2308006>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., ... Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467–473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Ulvi, A., Aydın, S., & Aydın, M. E. (2022). Fate of selected pharmaceuticals in hospital and municipal wastewater effluent: Occurrence, removal, and environmental risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(50), 75609–75625. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21131-y>
- Valdez-Carrillo, M., Abrell, L., Ramírez-Hernández, J., Reyes-López, J. A., & Carreón-Díazconti, C. (2020). Pharmaceuticals as emerging contaminants in the aquatic environment of Latin America: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 44863–44891. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10842-9>
- Vaudin, P., Augé, C., Just, N., Mhaouty-Kodja, S., Mortaud, S., & Pillon, D. (2022). When pharmaceutical drugs become environmental pollutants: Potential neural effects and underlying mechanisms. *Environmental Research*, 205, 112495. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112495>
- Völker, C., Kramm, J., Kerber, H., Schramm, E., Winker, M., & Zimmermann, M. (2017). More than a potential hazard—approaching risks from a social-ecological perspective. *Sustainability*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/su9071039>
- Wang, H., Xi, H., Xu, L., Jin, M., Zhao, W., & Liu, H. (2021). Ecotoxicological effects, environmental fate and risks of pharmaceutical and personal care products in the water environment: A review. *Science of the Total Environment*, 788, 147819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147819>
- Warren-Vega, W. M., Campos-Rodríguez, A., Zárate-Guzmán, A. I., & Romero-Cano, L. A. (2023). A current review of water pollutants in the American continent: Trends and perspectives in detection, health risks, and treatment technologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4499. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054499>
- WHO. (2011). *The world medicines situation 2011*. World Health Organization.
- Wilkinson, J. L., Boxall, A. B. A., Kolpin, D. W., Leung, K. M. Y., Lai, R. W. S., Wong, D., Ntchantcho, R., Pizarro, J., Mart, J., Echeverr, S., Garric, J., Chaumot, A., Gibba, P., Kunchulia, I., Seidensticker, S., Lyberatos, G., Morales-Salda, J. M., Kang, H., Galban-Malag, C., ... Kang, H. (2022). Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(8), 1–10. <https://doi.org/10.1073/pnas.2113947119>
- Wöhler, L., Niebaum, G., Krol, M., & Hoekstra, A. Y. (2020). The grey water footprint of human and veterinary pharmaceuticals. *Water Research X*, 7, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2020.100044>
- Xiang, Y., Wu, H., Li, L., Ren, M., Qie, H., & Lin, A. (2021). A review of distribution and risk of pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 112044. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112044>
- Yadav, A., Rene, E. R., Mandal, M. K., & Dubey, K. K. (2021). Threat and sustainable technological solution for antineoplastic drugs pollution: Review on a persisting global issue. *Chemosphere*, 263, 128285. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128285>
- Zakari-Jiya, A., Frazzoli, C., Obasi, C. N., Babatunde, B. B., Patrick-Iwuanyanwu, K. C., & Orisakwe, O. E. (2022). Pharmaceutical and personal care products as emerging environmental contaminants in Nigeria: A systematic review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 94, 103914. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103914>

Anexos

Anexo A. Referencias incluidas en la revisión de alcance y aproximaciones identificadas

No.		Referencia	Aproximaciones identificadas						
1		(Fekadu et al., 2019)	Toxicológica	Evaluación del riesgo ambiental	Desarrollo económico	-	-	-	-
2		(Pinto et al., 2022)	Toxicológica	Evaluación del riesgo ambiental	Tecnologías al final del proceso	Resistencia a los antimicrobianos	Medicamentización	Química verde	-
3		(Mojiri et al., 2022)	Toxicológica	Tecnologías al final del proceso	Biorremediación	Consecuencia de la vida moderna	-	-	-
4		(Ogoro et al., 2019)	Monitoreo y cuantificación	Tecnologías al final del proceso	-	-	-	-	-
5		(Hossein et al., 2023)	Biorremediación	Química verde	-	-	-	-	-
6		(Szymańska et al., 2019)	Monitoreo y cuantificación	Tecnologías al final del proceso	Resistencia a los antimicrobianos	-	-	-	-
7		(Miarov et al., 2020)	Regulatoria	Toxicológica	Monitoreo y cuantificación	Consecuencia de la vida moderna	-	-	-
8		(C. C. Souza et al., 2020)	Toxicológica	-	-	-	-	-	-
9		(Valdez-Carrillo et al., 2020)	Tecnologías al final del proceso	Evaluación del riesgo ambiental	Desarrollo económico	-	-	-	-
10		(H. K. Khan et al., 2020)	Tecnologías al final del proceso	Toxicológica	Evaluación del riesgo ambiental	Resistencia a los antimicrobianos	Consecuencia de la vida moderna	Regulatoria	Desarrollo económico
11		(Chia et al., 2021)	Toxicológica	Evaluación del riesgo ambiental	Ecosistémica	Consecuencia de la vida moderna	-	-	-
12		(Ngqwala & Muchesa, 2020)	Toxicológica	Evaluación del riesgo ambiental	Consecuencia de la vida moderna	-	Desarrollo económico	-	-

Continúa

No.	Referencia	Aproximaciones identificadas					
13	(Xiang et al., 2021)	Evaluación del riesgo ambiental	-	-	-	-	-
14	(Kotwani et al., 2021)	Una sola salud	Biorremediación	Resistencia a los antimicrobianos	Evaluación del riesgo ambiental	Ecosistémica	Consecuencia de la vida moderna
15	(Branchet et al., 2021)	Monitoreo y cuantificación	Evaluación del riesgo ambiental	Tecnologías al final del proceso	Medicamentización	Ecosistémica	Toxicológica
16	(Chaturvedi et al., 2021)	Toxicológica	Resistencia a los antimicrobianos	Evaluación del riesgo ambiental	Ecosistémica	Medicamentización	Consecuencia de la vida moderna
17	(Fallah et al., 2021)	Tecnologías al final del proceso	Evaluación del riesgo ambiental	Toxicológica	-	-	-
18	(Monapathi et al., 2021)	Resistencia a los antimicrobianos	Regulatoria	Medicamentización	-	-	-
19	(Sanusi et al., 2023)	Monitoreo y cuantificación	Tecnologías al final del proceso	-	-	-	-
20	(Kurade et al., 2021)	Tecnologías al final del proceso	Biorremediación	-	-	-	-
21	(Wang et al., 2021)	Toxicológica	Evaluación del riesgo ambiental	-	-	-	-
22	(Hashim et al., 2021)	Monitoreo y cuantificación	Evaluación del riesgo ambiental	-	-	-	-
23	(Bianco et al., 2021)	Monitoreo y cuantificación	Toxicológica	Tecnologías al final del proceso	-	-	-
24	(Yadav et al., 2021)	Tecnologías al final del proceso	Regulatoria	Ecosistémica	-	-	-
25	(Hejna et al., 2022)	Tecnologías al final del proceso	Biorremediación	-	-	-	-
26	(Vaudin et al., 2022)	Toxicológica	Evaluación del riesgo ambiental	-	-	-	-

Continúa

No.	Referencia	Aproximaciones identificadas					
27	(Huang et al., 2022)	Tecnologías al final del proceso	Resistencia a los antimicrobianos	-	-	-	-
28	(Adeleye et al., 2022)	Monitoreo y cuantificación	Tecnologías al final del proceso	Toxicológica	Regulatoria	-	-
29	(Zakari-Jiya et al., 2022)	Una sola salud	Monitoreo y cuantificación	Consecuencia de la vida moderna	Toxicológica	Regulatoria	-
30	(Narayanan et al., 2022)	Tecnologías al final del proceso	Toxicológica	Biorremediación	Monitoreo y cuantificación	-	-
31	(González-González et al., 2022)	Monitoreo y cuantificación	Toxicológica	Biorremediación	Consecuencia de la vida moderna	-	-
32	(A. H. Khan et al., 2022)	Tecnologías al final del proceso	Toxicológica	Resistencia a los antimicrobianos	Evaluación del riesgo ambiental	Regulatoria	-
33	(Megale & De Souza, 2023)	Tecnologías al final del proceso	Regulatoria	Monitoreo y cuantificación	-	-	-
34	(Hasni et al., 2023)	Evaluación del riesgo ambiental	Regulatoria	Tecnologías al final del proceso	-	-	-
35	(Silva et al., 2023)	Tecnologías al final del proceso	Evaluación del riesgo ambiental	-	-	-	-
36	(Kock et al., 2023)	Ecosistémica	Tecnologías al final del proceso	Regulatoria	Biorremediación	Toxicológica	Desarrollo económico
37	(Husain Khan et al., 2023)	Tecnologías al final del proceso	Resistencia a los antimicrobianos	Regulatoria	-	-	-
38	(Das et al., 2023)	Monitoreo y cuantificación	Toxicológica	Evaluación del riesgo ambiental	Resistencia a los antimicrobianos	-	-
39	(Gwenzi et al., 2023)	Desarrollo económico	Medicamentización	-	-	-	-
40	(Daniels et al., 2020)	Tecnologías al final del proceso	Monitoreo y cuantificación	-	-	-	-

Continúa

No. Referencia		Aproximaciones identificadas					
41	(Pirsaheb et al., 2019)	Tecnologías al final del proceso	-	-	-	-	-
42	(Gomes et al., 2020)	Una sola salud	Ecosistémica	Tecnologías al final del proceso	Toxicológica	Consecuencia de la vida moderna	-
43	(Pereira et al., 2020)	Evaluación del riesgo ambiental	Toxicológica	Regulatoria	Biorremediación	-	-
44	(Chaves et al., 2022)	Monitoreo y cuantificación	Desarrollo económico	Evaluación del riesgo ambiental	Toxicológica	Tecnologías al final del proceso	-