



Revisión sistemática de la literatura sobre las estrategias de gestión para el manejo ambiental de los contaminantes emergentes en el agua.

Joan Camilo Benítez Mejía

Universidad Santo Tomás

Medellín, Colombia

2024

Revisión sistemática de la literatura sobre las Estrategias de gestión para el manejo ambiental de los contaminantes emergentes en el agua.

Joan Camilo Benítez Mejía

Trabajo de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas.

Director (a):

Elizabeth Carvajal Flórez Ph.D.

Línea de Investigación:

Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático

Grupo de Investigación:

Centro de Altos Estudios en Cuencas Hidrográficas (CAECHI)

Universidad Santo Tomás

Medellín, Colombia

2024

(Dedicatoria o lema)

Con mucho amor a mi Madre, quien me impulsa a ser mejor cada día y me ayuda a levantarme en cada caída.

Resumen

Este estudio se enfocó en analizar las estrategias de gestión ambiental para los Contaminantes Emergentes (CE) en el agua a nivel global, con el objetivo de contribuir al desarrollo de prácticas más efectivas y sostenibles en la protección y preservación de los recursos hídricos en Colombia. Para lograr este objetivo, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura, donde se identificaron y evaluaron tratamientos utilizados en diferentes regiones del mundo, se examinó el impacto de los CE en la calidad del agua y se revisaron iniciativas de educación ambiental (EA) y participación comunitaria. Los principales hallazgos revelaron una diversidad de enfoques y tecnologías utilizadas para el manejo de CE en el agua, destacando la eficacia de métodos de oxidación avanzada y la importancia de considerar el ciclo urbano del agua en la gestión de estos contaminantes. Se encontró que los CE tienen un impacto significativo en la calidad del agua, lo que subraya la necesidad de abordar este problema de manera integral. Además, se identificaron lecciones aprendidas y mejores prácticas en cuanto a EA y participación comunitaria, resaltando la importancia de involucrar a la sociedad en la protección de los recursos hídricos. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el diseño e implementación de políticas y programas de protección del agua en Colombia, así como para la investigación futura en el campo de la gestión ambiental de los CE.

Palabras Clave: Contaminantes emergentes, gestión ambiental, recursos hídricos.

Abstract

This study focused on analyzing environmental management strategies for emerging pollutants (EC) in water at a global level, with the aim of contributing to the development of more effective and sustainable practices in the protection and preservation of water resources in Colombia. To achieve this objective, a systematic review of the literature was carried out, where treatments used in different regions of the world were identified and evaluated, the impact of ECs on water quality was examined, and environmental education and community engagement initiatives were reviewed. The main findings revealed a diversity of approaches and technologies used for the management of EC in water, highlighting the efficacy of advanced oxidation methods and the importance of considering the urban water cycle in the management of these pollutants. ECs were found to have a significant impact on water quality, underscoring the need to address this issue holistically. In addition, lessons learned and best practices in environmental education and community participation were identified, highlighting the importance of involving society in the protection of water resources. These findings have important implications for the design and implementation of water protection policies and programs in Colombia, as well as for future research in the field of EC environmental management.

Keywords: Emerging pollutants, environmental management, water resources.

Contenido

Introducción.....	13
Planteamiento del problema	16
Pregunta de Investigación	17
Objetivos	18
Objetivos general	18
Objetivos específicos	18
Marco referencial.	19
Marco teórico y conceptual.	19
Contaminantes Emergentes: Definición y clasificación	20
Definición de CE (CEs).....	20
Clasificación de los CE según su origen y naturaleza química	24
Estado del arte.....	28
Metodología.....	36
Diseño Metodológico:.....	36
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos:	37
Métodos e Instrumentos de Recolección de Información:.....	37
Muestra	37
Criterios de Inclusión.....	38
Inclusión.....	38
Categorías análisis	38
Procedimiento	38

Resultados y discusión	39
Categoría de búsqueda “contaminantes emergentes”	39
Categoría de búsqueda “tratamiento de contaminantes emergentes”	43
Análisis de VOSviewer	49
Capítulo 1: Tratamientos Globales para el Manejo de CE en el Agua	52
Tratamientos para el manejo de CE	52
Capítulo 2: Impacto de los CE en la Calidad del Agua: Estudios de Caso y Análisis	57
Metodologías para la Detección y Cuantificación de CE	57
Estudios de caso	58
Tendencias de Estudio:	70
Similitudes en los Hallazgos:	71
Análisis de los estudios de caso	72
Impacto y persistencia de CE en ecosistemas acuáticos:	72
Innovaciones en tratamientos para la remoción de CE:	73
Avances en métodos de detección y análisis de CE:	73
Necesidad de regulaciones y políticas públicas más estrictas:	73
Importancia de enfoques integrados y proactivos:	74
Capítulo 3: Iniciativas de Educación Ambiental y Participación Comunitaria en la	
Mitigación de Contaminantes Emergentes: Lecciones y Prácticas Relevantes	75
Participación Comunitaria y Educación Ambiental	75
Iniciativas de educación ambiental (EA)	78

Prácticas de participación comunitaria	84
Análisis de Políticas Públicas y Legislación.....	85
Brechas en la legislación.....	90
Propuestas para mejorar la regulación	91
Desafíos y Oportunidades en la Gestión de CE	93
Conclusiones	97
Referencias bibliográficas	99

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de los CE.....	26
Tabla 2. Estrategias implementadas para manejar los CE en el agua	31
Tabla 3. Metodologías para la detección y Cuantificación de CE.	58

Lista de figuras

Figura 1. "Contaminantes emergentes" Documentos por año.	40
Figura 2. "Contaminantes emergentes" Documentos por país o territorio.	41
Figura 3. "Contaminantes Emergentes" Documentos por tipo.	42
Figura 4. "Contaminantes emergentes" documentos por área temática.....	43
Figura 5. "Tratamiento de Contaminantes emergentes" Documentos por año.....	44
Figura 6. "Tratamiento de Contaminantes emergentes" documentos por país o territorio	45
Figura 7. "Tratamiento de Contaminantes emergentes" documentos por tipo	46
Figura 8. "Tratamiento de Contaminantes emergentes" documentos por área temática.	47
Figura 9. Redes de conexiones	49
Figura 10. Mapa de Densidades.....	50

Introducción

La gestión ambiental de los CE en el agua es un tema crítico en la agenda global, especialmente en regiones como Colombia. Desde la década de 1970, ha habido un creciente reconocimiento de la importancia de abordar la dimensión ambiental en la educación formal y no formal (Ministerio Del Medio Ambiente & Ministerio De Educación Nacional, 2002). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos legislativos como el Código Nacional de los Recursos Naturales y Renovables y de Protección del Medio Ambiente en Colombia, las acciones para abordar estos desafíos han sido limitadas en su alcance y enfoque (Ministerio Del Medio Ambiente & Ministerio De Educación Nacional, 2002).

Los CE, que incluyen una variedad de compuestos químicos, representan una preocupación creciente debido a su presencia en el ciclo urbano del agua y su potencial impacto en la salud humana y el medio ambiente (Agencia de Noticias UNAL., 2022) y (Peña-Guzmán et al., 2023). Aunque en países como los de Europa y en América del Norte se han realizado estudios exhaustivos sobre estos contaminantes durante más de dos décadas, en América Latina, incluyendo a Colombia, los esfuerzos de investigación y gestión aún están en desarrollo (Peña-Guzmán et al., 2023).

Los CE constituyen una diversa gama de compuestos químicos que incluyen productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes, aditivos industriales y nuevos compuestos químicos o cambios en el uso y disposición de los productos químicos existentes. Su presencia en el agua plantea desafíos significativos para la salud humana y el medio ambiente. Aunque son poco monitoreados en los programas de tratamiento de aguas, su impacto potencial es motivo de preocupación creciente. En Colombia, donde la contaminación

del agua es una preocupación importante, se debe entender y abordar los CE en la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Los desafíos en la gestión de los CE en Colombia incluyen la falta de estudios avanzados debido a los altos costos de detección y análisis, así como la necesidad de herramientas que faciliten la identificación de las fuentes principales de estos contaminantes (Peña-Guzmán et al., 2023). Sin embargo, también hay oportunidades, como el desarrollo de tecnologías innovadoras de tratamiento de agua, como el modelo probado en Medellín que combina la vermifiltración y la oxidación avanzada para degradar compuestos como el meropenem, un antibiótico común (Agencia de Noticias UNAL, 2022).

Este estudio busca analizar las estrategias de gestión ambiental para los CE en el agua a nivel global, con el objetivo de contribuir al desarrollo de prácticas más efectivas y sostenibles en la protección y preservación de los recursos hídricos en Colombia. Este estudio se centra en revisar y analizar las estrategias de gestión ambiental para los CE en el agua a nivel global, con un enfoque en su aplicabilidad en el contexto colombiano. Sin embargo, las limitaciones pueden incluir la disponibilidad de datos y estudios específicos sobre la situación de los CE en Colombia, así como la generalización de las lecciones aprendidas de otros países a la realidad local.

Se utilizará una metodología de revisión sistemática de la literatura para recopilar y analizar estudios relevantes sobre las estrategias de gestión ambiental para los CE en el agua. Se realizará una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas y repositorios especializados para identificar investigaciones pertinentes, que serán evaluadas y sintetizadas para cumplir con los objetivos del estudio. Este estudio tiene el potencial de contribuir significativamente al avance

del campo de la gestión ambiental de los CE en el agua, proporcionando información valiosa sobre las mejores prácticas y lecciones aprendidas a nivel global. Además, los hallazgos podrán aplicarse en el diseño y la implementación de políticas y programas de protección y preservación de los recursos hídricos en Colombia, con el objetivo de mejorar la calidad del agua y promover la sostenibilidad ambiental.

Este estudio tiene el potencial de contribuir significativamente al avance del campo de la gestión ambiental de los CE en el agua, proporcionando información valiosa sobre las mejores prácticas y lecciones aprendidas a nivel global.

Además, los hallazgos podrán aplicarse en el diseño y la implementación de políticas y programas de protección y preservación de los recursos hídricos en Colombia, con el objetivo de mejorar la calidad del agua y promover la sostenibilidad ambiental. En última instancia, este estudio busca no solo entender los desafíos asociados con los CE en el agua, sino también proponer soluciones prácticas y efectivas para abordar esta problemática en el contexto colombiano y contribuir así al bienestar de la sociedad y el medio ambiente.

Planteamiento del problema

La detección de CE como fármacos, pesticidas y químicos industriales y de cuidado personal en aguas residuales y fuentes naturales representa un desafío global para la salud pública y la integridad de ecosistemas acuáticos (Zamora, 2023). A pesar de los avances en técnicas analíticas que han revelado la presencia de estos contaminantes (Pachón, 2018), la falta de legislaciones específicas complica su gestión y control (Zamora, 2023).

Los CE pueden alterar las interacciones tróficas, lo que conlleva a reducir las capacidades competitivas de ciertas especies y también, afectar las dinámicas depredador – presa, provocando desequilibrios entre las poblaciones. Adicionalmente, se pueden establecer efectos adversos en la salud de los organismos lo que incluye la reproducción (disruptores endocrinos) y daños celulares y muerte (toxicidad aguda y crónica). Por último, la presencia de CE puede contribuir a procesos de eutrofización, resultando en la proliferación de algas peligrosas que degradan el ecosistema acuático.

En Colombia, la necesidad de estrategias de gestión ambiental efectivas es urgente, debido a los efectos adversos que estos contaminantes traen consigo como las alteraciones en el sistema endocrino que pueden afectar la homeostasis hormonal (Zamora, 2023), la necesidad de abordajes interdisciplinarios para enfrentar la complejidad de esta contaminación (Friedrichs, 2023), la brecha crítica entre las capacidades actuales de tratamiento y la urgencia de desarrollar soluciones adecuadas para manejar estos contaminantes de forma efectiva (P et al., 2011) y que los tratamientos convencionales no remueven eficientemente los CE en aguas residuales.

Esta situación subraya la importancia de potenciar tecnologías innovadoras, como el empleo de microalgas y nanomateriales celulósicos (Sandoval et al., 2020), así como el uso de

catalizadores basados en celulosa (Nudel et al., 2020). Además, investigadores como (Garcés et al., 2023) plantean la adsorción mediante carbones activados como una alternativa prometedora para contrarrestar estos efectos. Adicionalmente, existen otras alternativas para el tratamiento de los CE a partir de la biorremediación, que intensifican la degradación de contaminantes orgánicos (bacterias degradadoras), ciertos pesticidas y productos farmacéuticos (hongos).

En este escenario, resulta imperativo diseñar e implementar un enfoque interdisciplinario que integre diversos campos del conocimiento y acción. La investigación científica debe desempeñar un papel crucial en la identificación de contaminantes emergentes, su comportamiento en el medio acuático y sus impactos en los ecosistemas y la salud humana. De manera complementaria, la innovación tecnológica es esencial para desarrollar y optimizar métodos avanzados de tratamiento de agua, capaces de eliminar eficazmente estas sustancias antes de que lleguen a los cuerpos hídricos.

Por otro lado, es igualmente necesario establecer políticas públicas sólidas y efectivas que regulen la emisión y el manejo de contaminantes emergentes, promoviendo la adopción de buenas prácticas en las industrias, las comunidades y los sectores relacionados. La educación ambiental, por su parte, juega un rol vital en la sensibilización de la sociedad sobre la problemática, fomentando un cambio en los hábitos de consumo y disposición de productos que contribuyen a la contaminación del agua.

Pregunta de Investigación

De acuerdo con lo planteado anteriormente, se considera necesario cuestionarse ¿Cuáles son las estrategias de gestión ambiental para el manejo de CE en el agua, y qué lecciones y

prácticas pueden adaptarse para mejorar la protección y preservación de los recursos hídricos en Colombia?

Objetivos

Objetivos general

Analizar a través de una revisión sistemática de la literatura las diversas estrategias de gestión ambiental aplicadas a nivel global para abordar eficazmente los CE presentes en el agua, contribuyendo al desarrollo de prácticas más efectivas y sostenibles en la protección y preservación de los recursos hídricos.

Objetivos específicos

- Identificar los tratamientos utilizados en diferentes regiones del mundo para el manejo de CE en el agua, con un enfoque en su eficacia y viabilidad técnica.
- Analizar el impacto de la presencia de CE en la calidad del agua, mediante el examen de estudios de caso y la recopilación de datos relevantes sobre cambios en la composición y las propiedades del agua.
- Examinar las iniciativas de EA y las prácticas de participación comunitaria implementadas para fomentar la acción pública en la mitigación de la contaminación por CE en cuerpos de agua, identificando las lecciones aprendidas y las mejores prácticas.

Marco referencial.

La presencia creciente de CE en el agua es un desafío ambiental y de salud pública significativo. Estos compuestos, como fármacos, productos de cuidado personal y pesticidas, están cada vez más presentes en nuestros sistemas acuáticos debido a la ineficacia de los tratamientos de aguas residuales convencionales para eliminarlos. Esta problemática es relevante no solo por los posibles efectos negativos en los ecosistemas y la biodiversidad, sino también por los riesgos para la salud humana, como alteraciones endocrinas y resistencia a antibióticos. Por lo tanto, es crucial investigar estrategias de gestión ambiental efectivas para abordar estos contaminantes y proteger nuestros recursos hídricos y la salud del planeta y sus habitantes. A continuación, se presenta el marco teórico y conceptual que describe los planteamientos de diferentes autores frente al tema, sus causas, efectos e impacto en la vida cotidiana.

Marco teórico y conceptual.

El marco teórico de esta investigación se construye sobre una revisión exhaustiva de literatura científica y estudios de caso relacionados con las estrategias de gestión ambiental aplicadas a nivel global para enfrentar la problemática de los CE en el agua. Este marco teórico busca, en primer lugar, proporcionar una comprensión detallada de los CE, incluyendo su clasificación, fuentes, vías de introducción en el medio ambiente y efectos conocidos sobre la salud humana y los ecosistemas acuáticos. En segundo lugar, analiza críticamente las diversas tecnologías y métodos de tratamiento empleados en distintas partes del mundo, evaluando su eficacia, viabilidad técnica y sostenibilidad, con el fin de identificar aquellas prácticas más prometedoras que podrían adaptarse o mejorarse para su aplicación en Colombia. Además, el marco teórico explora el rol de la EA y la participación comunitaria en la gestión de los CE,

reconociendo la importancia de la sensibilización y acción colectiva en la mitigación de esta problemática a partir de lecciones y prácticas relevantes, iniciativas de educación ambiental, entre otras. Por último, contempla el análisis de políticas públicas y marcos legislativos existentes, destacando las oportunidades y desafíos para fortalecer la regulación y gestión de los CE.

Al respaldar los objetivos de investigación, este marco teórico no solo fundamenta la necesidad de explorar y analizar estrategias de gestión ambiental para el manejo de los CE en el agua, sino que también orienta el estudio hacia la identificación de soluciones innovadoras y sostenibles. A través de esta base teórica, la investigación aspira a contribuir significativamente al desarrollo de prácticas más efectivas para la protección y preservación de los recursos hídricos, tanto a nivel local como global, enfatizando la importancia de un enfoque integrado y multidisciplinario en la gestión ambiental de los CE.

Contaminantes Emergentes: Definición y clasificación

Definición de CE (CEs)

Los CE constituyen una diversa gama de compuestos químicos que incluyen productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes, aditivos industriales y nuevos compuestos químicos o cambios en el uso y disposición de los productos químicos existentes (M. J. Gil, María Soto, et al., 2012). Estos contaminantes no están generalmente monitoreados en los programas de tratamiento de aguas, lo que limita la información disponible sobre sus efectos en la salud humana y el medio ambiente (Barreto Rosales, 2017).

Se han identificado varios tipos de CE, entre estos se encuentran los farmacéuticos, los cuales, son particularmente preocupantes debido a su estabilidad química, su presencia en bajas concentraciones y su toxicidad, además de la falta de métodos eficientes para su degradación y mineralización (Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 2020). La entrada de productos farmacéuticos al ambiente se da principalmente a través de aguas residuales domésticas y de instalaciones médicas, lo que contribuye a la contaminación de las aguas superficiales y, en ocasiones, subterráneas y de consumo humano (Alean-Flórez et al., 2021).

Los microplásticos también se han identificado como CE, distribuidos en diversos componentes ambientales, como el agua, el sedimento, la atmósfera y la biota, y pueden ser ingeridos por una variedad de especies, lo que plantea preocupaciones sobre sus efectos en los ecosistemas y la salud humana (Costa Redondo et al., 2022).

Los plaguicidas, que incluyen herbicidas, fungicidas e insecticidas, son sustancias químicas utilizadas en la agricultura para el control de plagas, malezas y enfermedades de los cultivos. Su uso en Colombia, como en muchos otros países, conlleva una serie de aspectos toxicológicos importantes que deben ser considerados para la protección de la salud humana y el medio ambiente.

Los CE son considerados como un desafío creciente tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Este grupo diverso de sustancias químicas y materiales ha capturado la atención de la comunidad científica y regulatoria debido a su potencial para impactar negativamente en ambos ámbitos. Según (Prats, 2023), los CE se caracterizan por ser compuestos de origen variado que, hasta hace relativamente poco tiempo, no habían sido detectados debido a sus bajas concentraciones en el medio natural.

Con base en diferentes estudios científicos, las principales causas de la presencia de CE en el agua, incluyen:

- **Uso y disposición de productos químicos:** Los CE comprenden una amplia gama de compuestos químicos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, entre otros, que son utilizados en la industria y la vida cotidiana, y que pueden ingresar al ambiente a través de diversas vías, como el uso doméstico, la disposición inadecuada de residuos y las descargas industriales (Bedoya-Ríos et al., 2018) y (Barreto Rosales, 2017).
- **Actividades humanas:** Factores como la demanda y frecuencia de administración de productos farmacéuticos, la automedicación, el consumo ilícito de drogas y los procesos fisiológicos contribuyen a la carga y persistencia de principios activos en el agua. Además, la incorporación de antibióticos en sistemas hospitalarios puede promover la generación de microorganismos resistentes y alterar la actividad enzimática de la microbiota, afectando los procesos de biodegradación en los cuerpos de agua (Jiménez Cartagena, 2011).
- **Ineficiencia de los sistemas de tratamiento convencionales:** Los sistemas de tratamiento convencionales no siempre son efectivos para eliminar los CE presentes en el agua. Se ha observado que incluso después del tratamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales, persisten concentraciones significativas de CE, como diclofenaco e ibuprofeno. Esto puede deberse a la falta de eficiencia en la remoción de estos contaminantes por parte de los procesos convencionales de tratamiento (Padilla Pino, 2020).

Estos contaminantes, aunque no están incluidos en los programas de seguimiento sistemático, representan un riesgo significativo que requiere una regulación específica basada en sus efectos ecotoxicológicos y toxicológicos, así como en sus niveles en el medio acuático (Prats, 2023). Esta definición es ampliada por (Zamora, 2023), quien señala que los CE no solo representan un riesgo ambiental y para la salud humana, sino que además carecen de una normativa específica que regule su control, convirtiéndolos en una fuente preocupante de contaminación.

Situaciones especialmente alarmante en los ecosistemas acuáticos son subrayadas por (Prats, 2023), entre las que se encuentra el riesgo ambiental de los CE debido a su capacidad para persistir en el ambiente, concentrarse en los tejidos biológicos y exhibir toxicidad. Estos contaminantes pueden acumularse en la cadena alimentaria y provocar efectos nocivos en los seres vivos. En este sentido, (González, 2023), identifica a los CE como compuestos frecuentemente detectados en ecosistemas acuáticos, representando una amenaza significativa para la biodiversidad.

El trabajo de (Nascimento et al., 2015), aportan a la discusión al clasificar a los contaminantes orgánicos emergentes dentro de este grupo, destacando su heterogeneidad y los efectos negativos sobre los organismos acuáticos. Por otro lado, (Escobar, 2019), se enfoca en el origen y destino de los CE, resaltando la contaminación del agua como una preocupación medioambiental clave por el riesgo que supone para la salud y los ecosistemas.

Estas perspectivas consolidan la necesidad de abordar a los CE como un problema ambiental y de salud pública emergente. La reciente atención sobre estos contaminantes y la falta de legislación específica para su manejo resaltan la urgencia de investigar más sobre sus efectos,

desarrollar tecnologías analíticas avanzadas y estrategias de gestión efectivas. El objetivo es permitir una detección temprana, una evaluación de riesgos precisa y una eliminación eficaz de los CE del medio ambiente, mitigando así su impacto.

Enfoque de Educación Ambiental para la Sostenibilidad

Según la UNESCO (2021), la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), promovida por la UNESCO, responde a los graves desafíos que enfrenta el planeta. Las actividades humanas han alterado profundamente los ecosistemas, poniendo en peligro nuestra supervivencia. Estos cambios son cada vez más complejos de revertir. Para evitar que el calentamiento global llegue a niveles devastadores, es fundamental actuar con rapidez.

La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) capacita a las personas con los conocimientos, habilidades, valores, actitudes y comportamientos necesarios para convivir de manera armoniosa con el medio ambiente, la economía y la sociedad. Fomenta que las personas tomen decisiones responsables y acertadas que contribuyan a construir un futuro más justo para todos. Asimismo, El programa EDS de la UNESCO para 2030 genera y comparte conocimientos, ofrece orientación política y apoyo técnico a los países, y lleva a cabo proyectos prácticos. Además, promueve el aprendizaje mutuo y la innovación a través de la información, las redes y las alianzas.

Clasificación de los CE según su origen y naturaleza química

La clasificación de los CE según su origen y naturaleza química es una herramienta esencial para comprender la amplitud y complejidad de esta problemática ambiental. (Prats, 2023) ofrece una clasificación detallada de los CE basada en sus usos, que incluye antibióticos,

antimicrobianos, metabolitos de detergentes, desinfectantes, subproductos de desinfección, compuestos estrógenos, retardantes de llama, fragancias, repelentes de insectos, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, productos de cuidado personal, pesticidas, productos farmacéuticos usados en psiquiatría, plastificantes, hormonas reproductivas, disolventes, esteroides y surfactantes. Prats destaca además cinco grupos particularmente relevantes: retardantes de llama bromados, pesticidas y sus compuestos de degradación, productos farmacéuticos, sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas, y microplásticos.

Por su parte, (Garcés et al., 2023) refuerzan esta clasificación al señalar que los CE comprenden una amplia gama de compuestos que incluyen, entre otros, fármacos, productos químicos industriales, pesticidas y productos de cuidado personal. Esta diversidad subraya la complejidad del tema y la necesidad de enfoques multifacéticos para su gestión y tratamiento.

Desde la perspectiva de (Sanabria & Montagut, 2023) contribuyen al debate al identificar a los CE principalmente como compuestos orgánicos derivados de la actividad humana, no regulados y presentes en el aire, suelo, agua, alimentos y tejidos biológicos en concentraciones reducidas. Su clasificación abarca productos farmacéuticos y de cuidado personal, hormonas, aditivos alimentarios, pesticidas, plásticos, preservativos de madera, detergentes, desinfectantes, surfactantes y retardantes de llama, entre otros. Esta definición amplía el alcance de las sustancias consideradas como CE y resalta la importancia de una vigilancia ambiental y de salud pública constante.

Al igual que (Garcés et al., 2023) y (Goicochea & Medina, 2023), enfatizan la preocupación global por los productos farmacéuticos como uno de los grupos de CE más críticos, destacando su relevancia en las agendas de investigación de organizaciones dedicadas a

la salud pública y la protección del medio ambiente, como la Organización Mundial de la Salud y la Agencia para la Protección del Medio Ambiente. El manejo inadecuado de medicamentos vencidos o deteriorados, que a menudo son desechados incorrectamente en el drenaje sanitario, es señalado como una fuente significativa de contaminación ambiental, resaltando la necesidad de prácticas de eliminación adecuadas y de educación comunitaria sobre el manejo de estos productos.

Estos planteamientos ilustran la diversidad y complejidad de los CE, abarcando desde productos farmacéuticos hasta microplásticos, y destacan la importancia de abordajes integrados que incluyan la regulación, investigación, educación y participación comunitaria para gestionar eficazmente esta problemática ambiental y de salud pública. Según lo anterior, los grandes grupos de CE se clasifican según su origen y composición química de la siguiente manera descrita a continuación:

Tabla 1.

Clasificación de los CE

Contaminantes Emergentes	Clasificación
Productos Farmacéuticos y de Cuidado Personal	Incluye medicamentos, productos de higiene personal, cosméticos y otros productos químicos utilizados en el cuidado personal.
Productos Químicos Industriales	Engloba una amplia variedad de sustancias utilizadas en procesos industriales, como retardantes de llama, disolventes, fragancias y surfactantes.

Contaminantes Emergentes	Clasificación
Pesticidas y Productos Agroquímicos	Comprende pesticidas utilizados en la agricultura y sus compuestos de degradación.
Sustancias Perfluoroalquiladas y Polifluoroalquiladas (PFAS)	Incluye compuestos químicos persistentes y bioacumulativos utilizados en una variedad de productos industriales y de consumo, como recubrimientos impermeables y productos antiadherentes.
Microplásticos	Son partículas de plástico de pequeño tamaño, que pueden provenir de la degradación de productos plásticos o ser fabricados intencionalmente en productos de cuidado personal.

Fuente: Construcción propia, con base en la información suministrada por (Prats, 2023), (Garcés et al., 2023), (Sanabria & Montagut, 2023), (Goicochea & Medina, 2023).

Estos grupos abarcan una amplia gama de compuestos orgánicos y sintéticos que representan una preocupación creciente debido a su presencia en el medio ambiente y su potencial impacto en la salud humana y el ecosistema. La clasificación detallada proporcionada por (Prats, 2023), así como las observaciones adicionales de (Garcés et al., 2023), (Sanabria & Montagut, 2023), y (Goicochea & Medina, 2023), resaltan la complejidad y diversidad de los CE, subrayando la necesidad de enfoques multidisciplinarios y multifacéticos para su gestión y tratamiento adecuados.

Estado del arte

Los antecedentes de la investigación sobre estrategias de gestión para el manejo ambiental de los CE en el agua se fundamentan en varios estudios previos. Uno de estos es presentado por (Elorriaga et al., 2012), quienes analizan la presencia de CE, incluidos compuestos farmacéuticos en aguas residuales y la ineficacia de los tratamientos convencionales para su eliminación. Se destaca la importancia de aumentar el conocimiento sobre estos contaminantes y desarrollar métodos de tratamiento efectivos.

Por su parte (M. J. Gil, Soto, et al., 2012), presentaron un estudio que revisa algunos de los principales CE y sus efectos nocivos en el medio ambiente y la salud humana. Se analizaron diferentes tratamientos potenciales para su eliminación, incluyendo tratamientos fisicoquímicos, biológicos y avanzados.

En un artículo presentado por (Trapote-Jaume, 2016), se revisaron las tecnologías actuales de depuración de aguas residuales y regeneración de aguas depuradas para su reutilización, en este artículo, se destacó la importancia de desarrollar tecnologías orientadas a la eliminación de CE y al uso eficiente de la energía y los recursos naturales.

Por otro lado, una revisión realizada por (Aguayo et al., 2017), sobre la eficacia de diferentes desinfectantes alternativos al cloro, como el ozono, el agua electrolizada y el ácido peroxiacético, en la desinfección de hortalizas de IV Gama, destaca la importancia de utilizar productos desinfectantes que sean amigables con el medio ambiente y mantengan la calidad sensorial del producto. Adicionalmente, La luz ultravioleta (UV-C) ha sido estudiada como un método eficaz para la desactivación de contaminantes emergentes en el agua y en el aire, tiene la capacidad de inactivar microorganismos y descomponer compuestos químicos. Este tratamiento

se basa en la absorción de la luz UV-C por parte de los contaminantes, lo que lleva a la ruptura de sus enlaces químicos y a su degradación en productos menos tóxicos o inertes.

Un estudio que aborda el problema de la contaminación del agua por CE es presentado por (Serna et al., 2018), en el cual, se describen como CE los subproductos de procesos industriales y también abordaron y describieron la necesidad de implementar tratamientos que eliminen estos compuestos. En este estudio se destaca el proyecto LIFE Clean Up (limpieza Life), que busca desarrollar un sistema de eliminación de CE para poder reutilizar aguas tratadas de manera segura.

Un estudio presentado por (Pachón, 2018) evalúa la aplicación de procesos avanzados de oxidación, como Electro Fenton (EF) y Foto-Electro-Fenton (PEF), para la eliminación de CE en aguas residuales y además se investigó la eficiencia de estos procesos en la degradación de fármacos presentes en afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Esta investigación proporcionó información sobre tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas contaminadas con CE.

Un estudio presentado por (Sánchez et al., 2021), se centró en encontrar agentes desinfectantes eficaces económicamente y que no sean perjudiciales para el medio ambiente ni la salud humana. Se destacó el ácido peracético como una alternativa excelente para la desinfección de aguas residuales, cumpliendo con los requisitos de eficacia antimicrobiana y ausencia de productos de desinfección perjudiciales.

Por otra parte, un artículo presentado por (Ortega & Rodríguez, 2021), se analizaron los avances en tratamientos de potabilización de aguas residuales, con énfasis en técnicas avanzadas

como el intercambio iónico y tecnologías de membrana. Se concluye que los tratamientos avanzados de aguas residuales permiten una mayor remoción de contaminantes y son funcionales para procesos de reutilización del agua.

Otro estudio presentado por (Zamora, 2023), se enfocó en la identificación y análisis de microplásticos, un tipo de contaminante emergente, en el medio ambiente acuático. Se describen las técnicas de muestreo, tratamiento y análisis utilizadas para detectar y cuantificar los microplásticos en diferentes matrices acuáticas. Aunque no se enfoca específicamente en la eliminación de contaminantes, proporciona información relevante sobre la detección de CE.

Un estudio presentado por (González, 2023), se enfoca en evaluar la toxicidad de dos fármacos considerados contaminantes emergentes, azitromicina e hidroxiclороquina, sobre la microalga *Chlamydomonas reinhardtii*. Se expone a la microalga a concentraciones crecientes de cada uno de los contaminantes y se evalúa su efecto sobre el crecimiento, la viabilidad celular y la tasa de fotosíntesis. Esta investigación proporciona información importante sobre los efectos de los CE en organismos acuáticos, lo cual es relevante para la gestión ambiental del agua.

Una revisión presentada por (Torres et al., 2023) analizó la situación de los CE en México, su detección, eficiencia de remoción en plantas de tratamiento y legislación. Además, propuso el uso de enzimas oxidoreductasas como alternativa biotecnológica para la degradación de estos contaminantes. Esta investigación ofrece una perspectiva regional sobre los CE y sugiere posibles soluciones biotecnológicas para su eliminación.

Un artículo presentado por (Sanabria & Montagut, 2023), presentó una revisión del impacto ambiental generado por los CE en el entorno acuático y su tratamiento. Se describieron

las tecnologías de tratamiento comunes y terciarias para la remoción de estos contaminantes, destacando su eficiencia en la eliminación. Esta investigación proporciona una visión global del problema de los CE y las posibles soluciones tecnológicas para su gestión.

Una tesis presentada por (Martínez, 2023), estuvo centrada en el desarrollo de nuevos métodos analíticos para la extracción y preconcentración de CE en muestras ambientales. Se utilizaron técnicas de micro extracción, extracción en fase sólida y desarrollo de films para la extracción de diferentes tipos de CE. Esta investigación contribuye al avance en métodos analíticos para la detección de CE en el agua.

En relación con estas investigaciones, las estrategias implementadas para manejar los CEs en el agua incluyen:

Tabla 2.

Estrategias implementadas para manejar los CE en el agua

Estrategia	Descripción	Autor
Utilización de carbón activado derivado de residuos agroindustriales para la adsorción y remoción de fármacos presentes en aguas residuales y potables.	Uso de carbón activado derivado de residuos agroindustriales como método de adsorción para la remoción de fármacos en aguas residuales y potables.	(Garcés et al., 2023)
Aplicación de procesos avanzados de oxidación, como Electro Fenton	Utilización de procesos avanzados de oxidación para degradar CE en aguas	(Pachón, 2018)

Estrategia	Descripción	Autor
(EF) y Foto-Electro-Fenton (PEF), para la degradación de CE en aguas residuales.	residuales mediante la generación de radicales hidroxilo altamente oxidantes.	
Identificación y análisis de microplásticos en el medio ambiente acuático mediante técnicas de muestreo, tratamiento y análisis especializadas.	Implementación de técnicas especializadas para la identificación y análisis de microplásticos en el medio ambiente acuático, incluyendo técnicas de muestreo, tratamiento y análisis especializadas.	(Zamora, 2023)
Evaluación de la toxicidad de los CE en organismos acuáticos para comprender su impacto en los ecosistemas acuáticos.	Estudio de la toxicidad de CE en organismos acuáticos con el fin de comprender su impacto en los ecosistemas acuáticos.	(González, 2023)
Implementación de tratamientos cuaternarios específicos en plantas de tratamiento de aguas residuales para la reducción de micro contaminantes.	Uso de tratamientos cuaternarios específicos en plantas de tratamiento de aguas residuales para reducir la presencia de microcontaminantes.	(Prats, 2023)

Estrategia	Descripción	Autor
Exploración de tecnologías biotecnológicas, como el uso de enzimas oxidorreductasas, para la degradación de CE.	Investigación sobre el uso de tecnologías biotecnológicas, como enzimas oxidorreductasas, para degradar CE en el agua.	(Torres et al., 2023)
Utilización de tecnologías de tratamiento avanzadas, como la oxidación avanzada, para la remoción eficiente de CE en aguas residuales.	Aplicación de tecnologías de tratamiento avanzadas, como la oxidación avanzada, para remover de manera eficiente CE en aguas residuales.	(Sanabria & Montagut, 2023)
Desarrollo de nuevos métodos analíticos para la detección y cuantificación de CE en muestras ambientales.	Investigación y desarrollo de métodos analíticos innovadores para detectar y cuantificar CE en muestras ambientales.	(Martínez, 2023)
Desarrollo de agentes desinfectantes eficaces económicamente y seguros para la desinfección de aguas residuales, como el ácido peracético.	Desarrollo de agentes desinfectantes seguros y económicamente viables, como el ácido peracético, para la desinfección de aguas residuales.	(Sánchez et al., 2021)

Estrategia	Descripción	Autor
Revisión de la eficacia de desinfectantes alternativos al cloro, como el ozono, el agua electrolizada y el ácido peroxiacético, en la desinfección de hortalizas de IV Gama.	Evaluación de la eficacia de desinfectantes alternativos al cloro en la desinfección de hortalizas de IV Gama, destacando productos como el ozono, el agua electrolizada y el ácido peroxiacético.	(Aguayo et al., 2017)
Análisis de avances en tratamientos de potabilización de aguas residuales, incluyendo técnicas avanzadas como el intercambio iónico y tecnologías de membrana.	Estudio de avances en tratamientos de potabilización de aguas residuales, con énfasis en técnicas avanzadas como el intercambio iónico y tecnologías de membrana.	(Ortega & Rodríguez, 2021)
Revisión de tecnologías actuales de depuración de aguas residuales y regeneración de aguas depuradas para su reutilización, con énfasis en la eliminación de CE.	Revisión de tecnologías actuales de depuración de aguas residuales y regeneración de aguas depuradas para su reutilización, con enfoque en la eliminación de contaminantes emergentes.	(Trapote-Jaume, 2016)

Estrategia	Descripción	Autor
Abordaje del problema de la contaminación del agua por CE y desarrollo de sistemas de eliminación para la reutilización segura de aguas tratadas	Estudio del problema de la contaminación del agua por CE y desarrollo de sistemas de eliminación para la reutilización segura de aguas tratadas.	(Serna et al., 2018)
Análisis de la presencia de CE en aguas residuales y la ineficacia de los tratamientos convencionales para su eliminación	Investigación sobre la presencia de CE en aguas residuales y la ineficacia de los tratamientos convencionales para su eliminación.	(Elorriaga et al., 2012)
Revisión de CE y análisis de tratamientos potenciales para su eliminación	Revisión de CEs y análisis de tratamientos potenciales para su eliminación, incluyendo tratamientos fisicoquímicos, biológicos y avanzados.	(M. J. Gil, Soto, et al., 2012)

Fuente: Construcción propia, 2024, con base en lo expuesto por los autores.

Estas estrategias representan enfoques innovadores y prometedores para abordar la problemática de los CE en el agua, contribuyendo así a la gestión ambiental y la protección de la salud humana y los ecosistemas acuáticos.

Metodología

Este marco metodológico está diseñado para guiar la elaboración de una monografía que se basa en una revisión y análisis bibliográfico sobre las estrategias de gestión ambiental para el manejo de CE en el agua, así como las lecciones aprendidas y las prácticas que pueden adaptarse para mejorar la protección y preservación de los recursos hídricos en Colombia.

Asimismo, para elegir la literatura relevante, se aplicó una metodología comúnmente utilizada en los estudios de mapeos sistemáticos (SMS). El propósito de esta revisión es ofrecer una visión general del campo de estudio, destacando áreas de interés, enfoques y tendencias dentro de la investigación. A diferencia de una revisión sistemática de literatura, que busca generar cuerpos de conocimiento, esta revisión es menos detallada y exhaustiva.

A partir del análisis bibliométrico utilizando la base de datos Scopus, el cual se centra en la exploración y evaluación de la literatura científica en dos categorías específicas: "Contaminantes emergentes" y "Tratamiento de contaminantes emergentes". Se identificaron un total de 30 documentos para la categoría de contaminantes emergentes, por ende, se destaca un interés significativo y una amplia base de investigaciones en este campo. En contraste, la categoría de tratamiento de contaminantes emergentes contó con solo 2 documentos, indicando un área potencialmente menos explorada o emergente en la literatura actual.

Diseño Metodológico:

- **Tipo:** Este estudio se enmarca dentro de un diseño de investigación cualitativa y cuantitativa, ya que se combinarán elementos cualitativos y cuantitativos para abordar de manera integral el tema de los CE en el agua y las estrategias de gestión ambiental asociadas.

- **Enfoque:** El enfoque será mixto, integrando tanto la recolección y análisis de datos cuantitativos como cualitativos. Se utilizarán técnicas cualitativas para comprender en profundidad las experiencias relevantes en el manejo de CE en el agua, mientras que las técnicas cuantitativas se emplearán para recopilar datos sobre la eficacia y el impacto de las estrategias de gestión ambiental.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos:

- **Revisión Documental:** Se realizará una revisión exhaustiva de documentos oficiales, informes técnicos, estudios de caso y literatura científica relacionada con el tema de estudio para complementar y enriquecer la información recopilada a través de las entrevistas y encuestas.

Métodos e Instrumentos de Recolección de Información:

- **Análisis de Contenido:** Se empleará el análisis de contenido para analizar las entrevistas transcritas y extraer categorías temáticas relevantes, identificar patrones y tendencias, y comprender las percepciones y experiencias de los participantes.
- **Análisis Estadístico:** Los datos cuantitativos recopilados a través de las encuestas serán analizados utilizando técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales, como análisis de frecuencias, análisis de varianza (ANOVA) y análisis de regresión, según corresponda.

Muestra

La muestra estará compuesta por una selección representativa de fuentes bibliográficas como artículos científicos, informes técnicos y documentos oficiales, estudios de caso y libros

que se elegirán cuidadosamente en función de su relevancia, actualidad y calidad científica, el tipo de muestreo será un muestreo no probabilístico.

Criterios de Inclusión

Inclusión

- Relevancia temática.
- Actualidad.
- Calidad científica.
- Diversidad geográfica y de perspectivas.

Categorías análisis

- Estrategias de gestión ambiental.
- Impacto en calidad del agua.
- Buenas prácticas.

Procedimiento

1. Identificación y Selección de Fuentes Bibliográficas.
2. Recolección y Organización de la Información.
3. Análisis y Síntesis de la Literatura.
4. Aplicabilidad en el Contexto Colombiano.
5. Redacción y Presentación de la Monografía.

Resultados y discusión

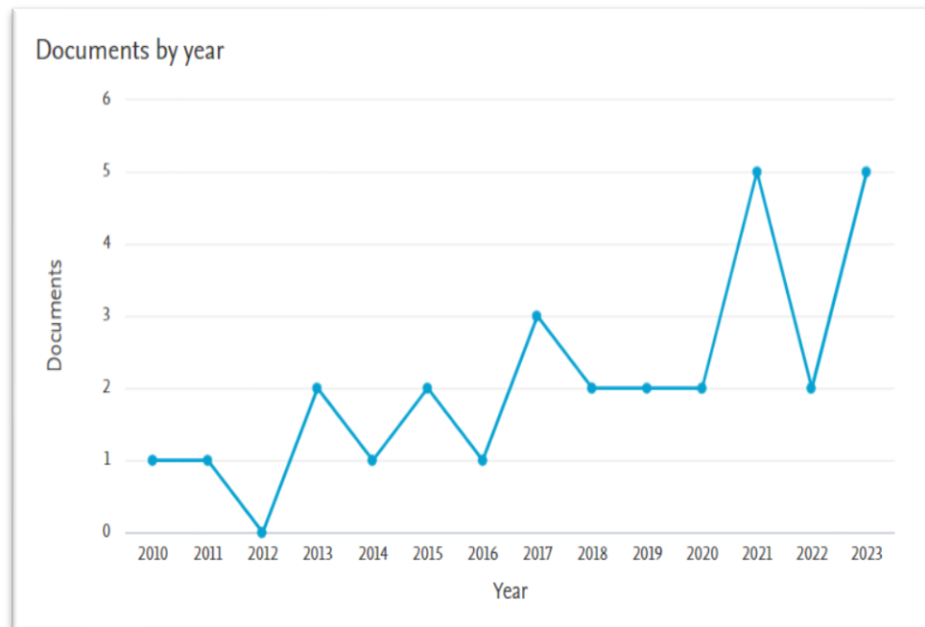
A continuación, se procede a analizar estos documentos (revisión bibliográfica) para obtener una visión más detallada de los temas abordados, las metodologías empleadas, y las tendencias globales dentro de estas áreas de estudio, proporcionando así una comprensión más profunda de cómo se están abordando estos temas críticos en el ámbito académico y científico. El análisis bibliométrico se hará teniendo en cuenta el año en que fueron publicado los documentos, el país o territorio, el tipo de documento publicado y desde que áreas se están haciendo esos estudios.

Categoría de búsqueda “contaminantes emergentes”

El primer aspecto por analizar con relación a la categoría de búsqueda, “contaminantes emergentes” es documentos por año. Con base en la Figura 1, se evidencia que hay un incremento en la producción de documentos desde 2010 hasta 2023, con picos significativos en 2019 y 2022. Esto puede indicar un creciente interés en el tema de los CE, probablemente debido a la mayor conciencia sobre su impacto ambiental y de salud, o por la evolución de la tecnología y metodologías para detectar y tratar estos contaminantes. Esto implica, un crecimiento en la investigación lo cual sugiere que está emergiendo nueva información y tecnologías, siendo crucial para enfrentar los desafíos que presentan los CE.

Figura 1.

"Contaminantes emergentes" Documentos por año.

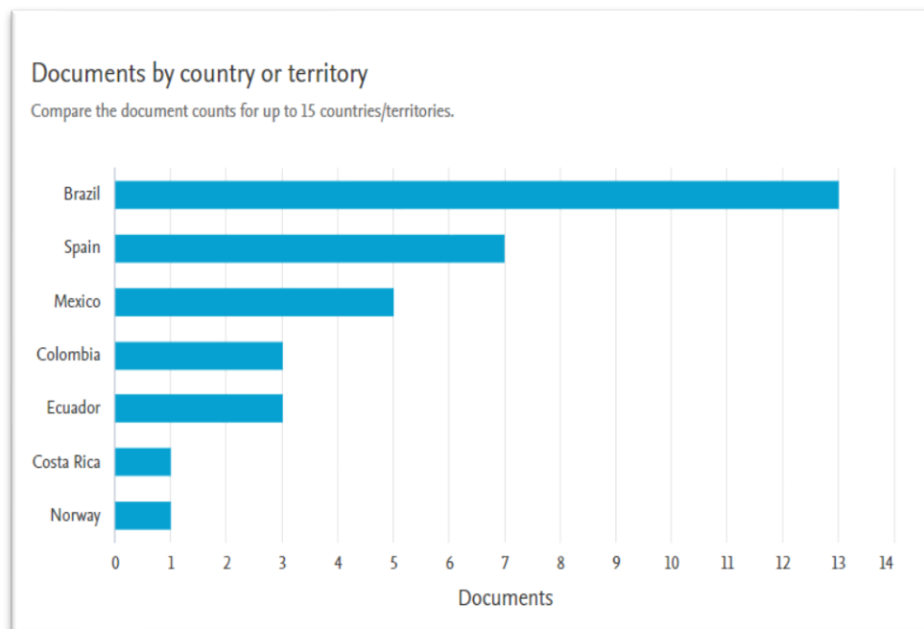


Nota. La figura presenta el incremento de documentos en el tiempo. Tomado de SCOPUS –“Contaminantes Emergentes”.

El segundo aspecto analizado es documentos por país o territorio. En este caso, Brasil lidera claramente en la cantidad de documentos publicados sobre CE, seguido por España y México. Este patrón puede reflejar una mayor inversión y enfoque en la investigación ambiental en estos países, o una mayor prevalencia de problemas relacionados con CE en estas regiones. Esto implica que la distribución geográfica de los estudios podría influir en el desarrollo de políticas específicas regionales y estrategias de mitigación adaptadas a las necesidades y desafíos particulares de cada país. Esto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 2.

“Contaminantes emergentes” Documentos por país o territorio.

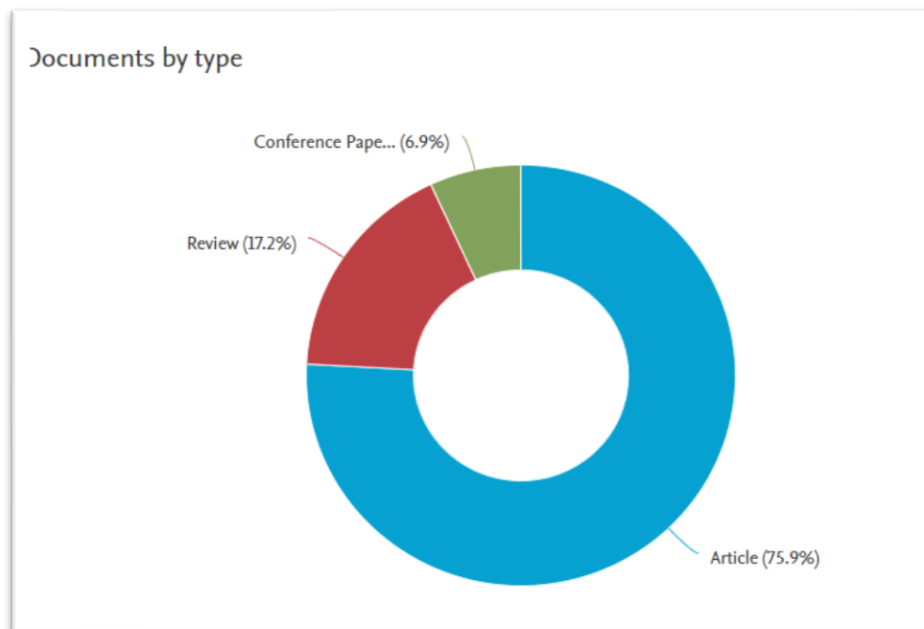


Nota. La figura presenta la cantidad de publicaciones o documentos por países. Tomado de SCOPUS – “Contaminantes Emergentes”.

El tercer aspecto por analizar es documentos por tipo. La mayoría de los documentos son artículos (75.9%), seguidos por revisiones (17.2%) y papeles de conferencias (6.9%). Esto indica que la mayoría de la investigación sobre CE se está comunicando a través de artículos detallados, lo cual es típico en campos científicos que requieren discusión y validación rigurosa. En este sentido, la alta proporción de artículos y revisiones refleja un campo activo y en desarrollo, donde la consolidación de conocimientos existentes y la exploración de nuevas fronteras son cruciales. Esto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 3.

"Contaminantes Emergentes" Documentos por tipo.

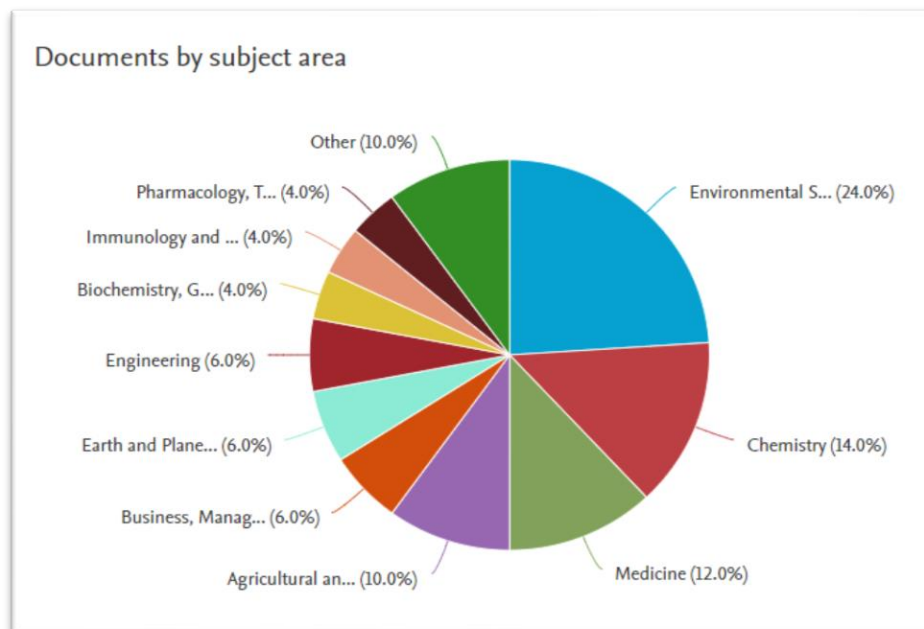


Nota. La figura presenta los tipos de documentos, siendo los artículos los preferidos para tratar los CE. Tomado de SCOPUS – "Contaminantes Emergentes".

El cuarto aspecto por analizar es documentos por área temática. Las áreas temáticas son lideradas por las ciencias ambientales (24.0%), seguidas por la química (14.0%) y la medicina (12.0%). Esto resalta la naturaleza interdisciplinaria de la investigación sobre CE, involucrando aspectos de detección, impacto ambiental y consecuencias para la salud. En este caso, la diversidad en las áreas temáticas subraya la complejidad de los CE y la necesidad de enfoques colaborativos entre distintas disciplinas para abordar efectivamente sus riesgos y manejar su remoción de ambientes afectados. Esto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 4.

"Contaminantes emergentes" documentos por área temática.



Nota. La figura presenta las diferentes áreas de estudio para tratar los CE. Tomado de SCOPUS –“Contaminantes Emergentes”.

Estos análisis ilustran un campo de estudio dinámico y en expansión, con una distribución geográfica y disciplinaria variada que resalta la importancia global de los CE. Las tendencias temporales y la predominancia de artículos detallados sugieren que este campo seguirá desarrollándose rápidamente, impulsado por avances tecnológicos y la urgencia de abordar problemas ambientales y de salud pública.

Categoría de búsqueda “tratamiento de contaminantes emergentes”

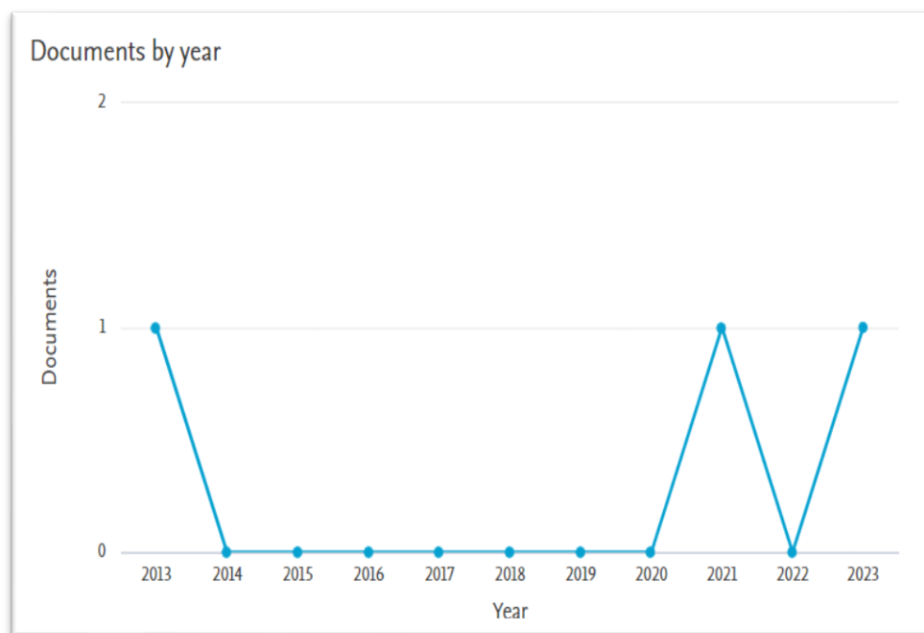
Respecto a la segunda categoría de búsqueda, “Tratamientos de contaminantes emergentes” como ya se había mencionado, solamente se encontraron 2 documentos. A continuación, se presenta el análisis frente a estos resultados obtenidos de Scopus. Es preciso

recordar que los aspectos analizados son los mismos que se utilizaron en la primera categoría estos son, por año, por país o territorio, por tipo y por área temática.

En cuanto a los documentos por año, la gráfica siguiente, muestra una producción documental esporádica a lo largo de la década, con documentos publicados en 2013, 2018, 2020, 2022 y 2023. Este patrón irregular puede indicar que el campo de tratamiento de contaminantes emergentes es altamente especializado y todavía emergente, con incrementos en la investigación posiblemente impulsados por avances tecnológicos específicos o cambios regulatorios. Lo cual implica que el aumento reciente en la publicación de documentos sugiere un renovado interés o avances en este campo, que podrían estar relacionados con la creciente necesidad global de soluciones eficaces para tratar contaminantes emergentes. Esto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 5.

"Tratamiento de Contaminantes emergentes" Documentos por año.

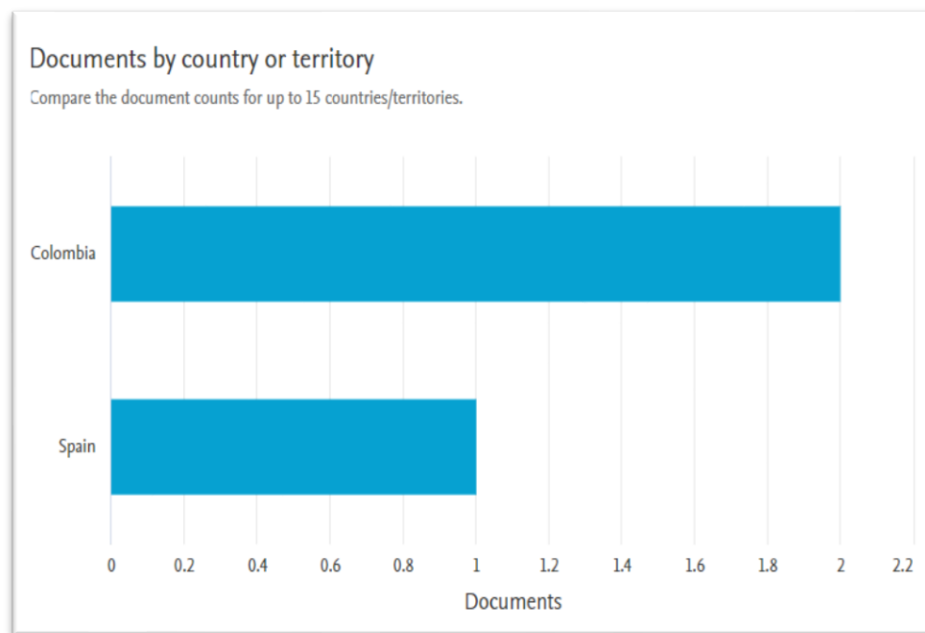


Nota. La figura presenta el incremento de documentos en el tiempo. Tomado de SCOPUS – “Tratamiento de CE”.

Por otro lado, los documentos por país o territorio, es uno de los aspectos analizados y se evidenció que en Colombia y España son los únicos dos países que contribuyen a la literatura en esta área, con Colombia liderando en la cantidad de publicaciones. Esto podría reflejar una mayor sensibilidad o exposición a problemas específicos relacionados con contaminantes emergentes en estas regiones, o bien, un enfoque académico y de investigación más desarrollado en este tema. Este enfoque regional podría ser un indicativo de las prioridades en políticas ambientales y de salud pública en estos países, destacando la importancia de soluciones adaptadas a contextos específicos. Esto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 6.

"Tratamiento de Contaminantes emergentes" documentos por país o territorio

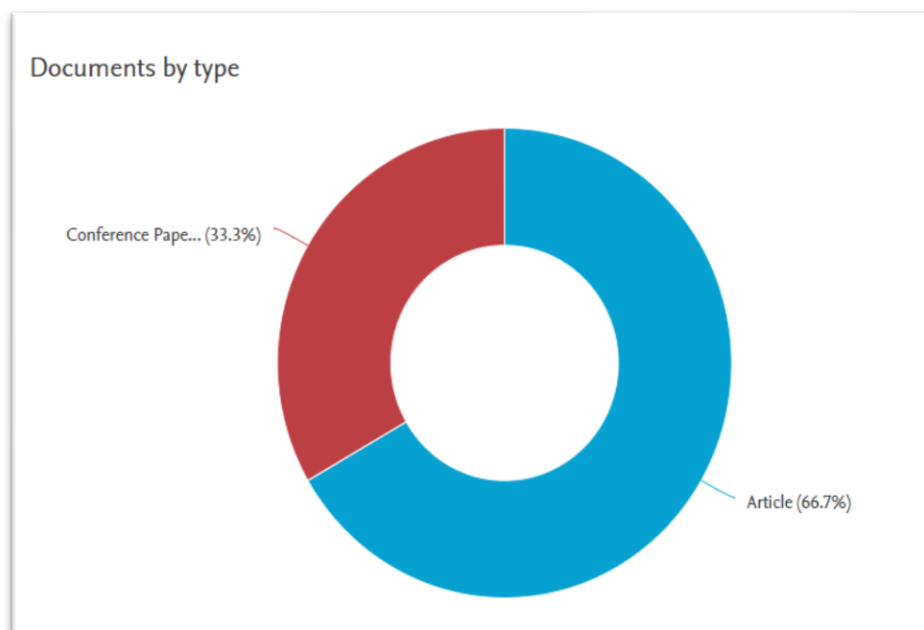


La figura presenta la cantidad de publicaciones o documentos por países. Tomado de SCOPUS – “Tratamiento de CE”.

Otro aspecto es documentos por tipo, sobre el cual se puede analizar que uno de los documentos es un artículo, mientras que el otro es un papel de conferencias. Este equilibrio entre artículos y contribuciones a conferencias muestra una mezcla de investigación rigurosa y discusiones preliminares en foros académicos, lo que es típico en campos en desarrollo. La presencia significativa de papeles de conferencias puede indicar que el campo está en una fase dinámica de intercambio de ideas y exploración de nuevas tecnologías o metodologías. Esto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 7.

"Tratamiento de Contaminantes emergentes" documentos por tipo



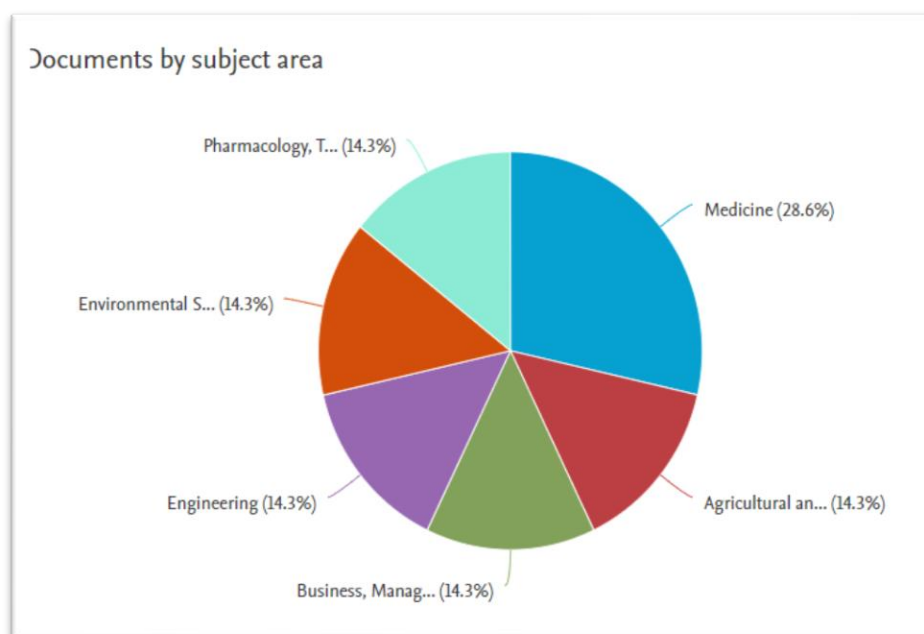
Nota. La figura presenta los tipos de documentos, siendo los artículos los preferidos para tratar los tratamientos sw CE. Tomado de SCOPUS – “Tratamientos de CE”.

En lo que respecta a documentos por área temática, se evidencia que estas son bastante diversificadas, abarcando desde medicina y ciencias ambientales hasta ingeniería y agricultura.

Esta diversidad refleja la naturaleza interdisciplinaria del tratamiento de contaminantes emergentes, que aborda cuestiones tanto de impacto humano como ambiental. La amplia gama de disciplinas involucradas subraya la necesidad de colaboración entre diferentes campos del saber para desarrollar soluciones eficaces que aborden tanto la eliminación de contaminantes como la protección de la salud y el medio ambiente. Esto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 8.

"Tratamiento de Contaminantes emergentes" documentos por área temática.



Nota. La figura presenta las diferentes áreas de estudio para tratar los CE. Tomado de SCOPUS – “Tratamiento de CE”.

El análisis muestra que, aunque el volumen de investigación sobre el tratamiento de contaminantes emergentes es limitado, ha habido un esfuerzo consistente y diversificado a lo largo de los años para abordar este tema crítico. El interés geográficamente concentrado y la

participación de varias disciplinas sugieren un área de estudio con importantes implicaciones prácticas, que requiere más atención y recursos para expandir su impacto y efectividad.

Análisis de VOSviewer

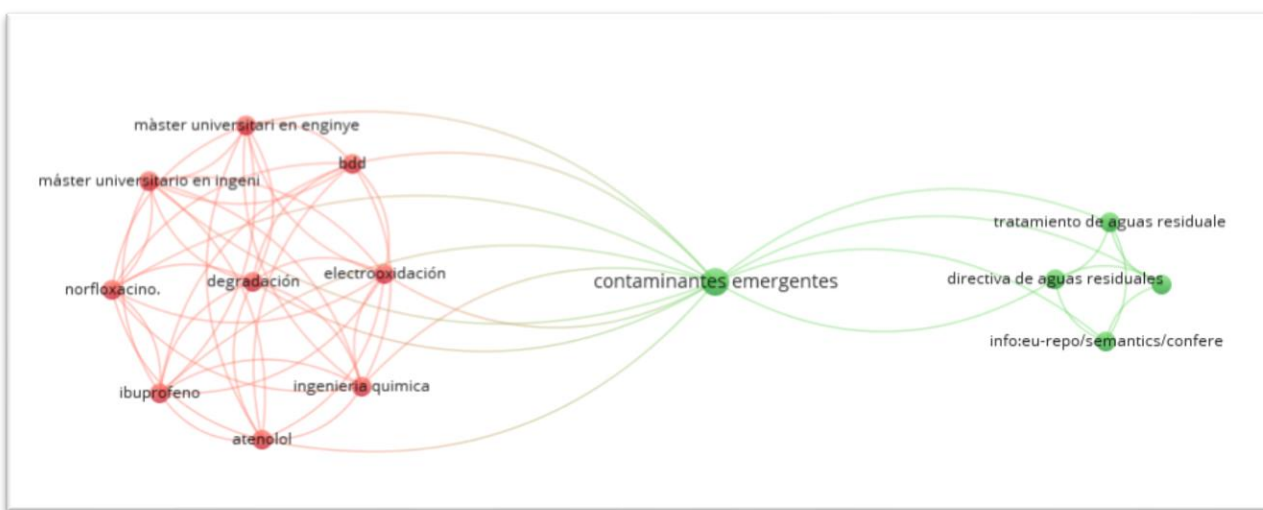
Los gráficos generados en VOSViewer ofrecen una visualización de los términos clave y su asociación dentro de las categorías "Contaminantes emergentes" y "Tratamiento de contaminantes emergentes". A continuación, se analizan los elementos clave de dos gráficos obtenidos de VOSViewer:

Análisis del Gráfico (Red de Conexiones)

Este gráfico muestra la red de términos utilizados en documentos relacionados con las dos categorías mencionadas. Los términos están interconectados y coloreados según su categoría:

Figura 9.

Redes de conexiones



Nota. Figura propia y realizada en VOSviewer.

- **Red (Contaminantes emergentes):** Se observan términos como ibuprofeno, atenolol, norfloxacino, degradación, y electrooxidación. Estos términos indican una concentración en la identificación y el estudio de la degradación de fármacos específicos y técnicas de

tratamiento avanzadas como la electrooxidación. La densidad de conexiones en esta zona sugiere un enfoque activo y detallado en el estudio de cómo se pueden descomponer o transformar estos contaminantes en entornos controlados.

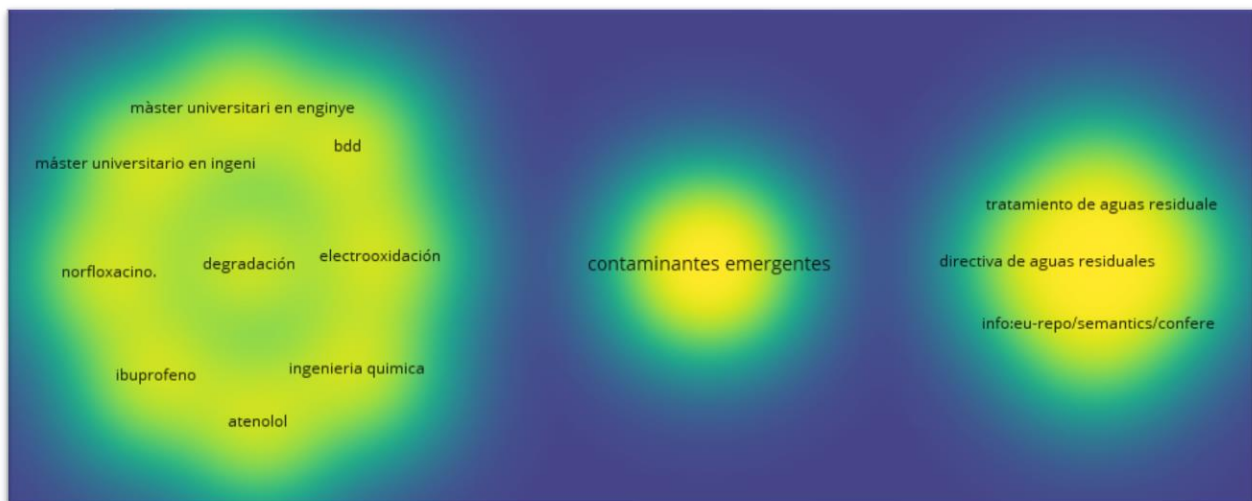
- **Green (Tratamiento de aguas residuales):** Los términos como tratamiento de aguas residuales y directiva de aguas residuales se vinculan menos densamente, pero están conectados con la categoría de contaminantes emergentes, lo que implica una discusión sobre las regulaciones y técnicas de tratamiento en el contexto de la gestión de contaminantes emergentes.

Análisis del Gráfico (Mapa de Densidad)

Este gráfico representa la densidad de los términos, ofreciendo una visión de las áreas de mayor actividad o foco dentro del campo de estudio:

Figura 10.

Mapa de Densidades



Nota. Figura propia y realizada en VOSviewer.

- **Área densamente coloreada (tonos más oscuros):** Indica una mayor concentración de los términos como ibuprofeno, atenolol, y norfloxacino en la categoría de CE. Esto refuerza la idea de que hay un interés particular en estos compuestos, posiblemente debido a su prevalencia y persistencia en el ambiente.
- **Área menos densa (tonos más claros):** Correspondiente a términos como tratamiento de aguas residuales, sugiere que, aunque es un área de estudio relevante, hay menos concentración de investigación o menos términos asociados directamente comparado con la investigación específica sobre CE.

Implicaciones del Análisis

- **Foco en Farmacéuticos:** La presencia prominente de fármacos en los documentos sugiere una preocupación significativa sobre su impacto ambiental y la eficacia de los métodos actuales para su tratamiento y eliminación.
- **Interdisciplinariedad:** La interconexión entre ingeniería química, tratamiento de aguas residuales y normativas ambientales indica un enfoque interdisciplinario necesario para abordar la complejidad de los contaminantes emergentes.
- **Necesidad de Innovación en Tratamientos:** La presencia de términos relacionados con técnicas avanzadas de degradación refleja una búsqueda continua por soluciones más eficaces y eficientes para mitigar el impacto de estos contaminantes.

Estos gráficos proporcionan una visión clara de las prioridades y tendencias en la investigación sobre CE y su tratamiento, destacando áreas clave de interés y métodos en

evolución que podrían ser cruciales para el desarrollo futuro de estrategias de mitigación y regulación.

Capítulo 1: Tratamientos Globales para el Manejo de CE en el Agua

Tratamientos para el manejo de CE

Los CE son persistentes en el ambiente y pueden resistir los tratamientos convencionales de aguas residuales, lo que hace necesario considerar tratamientos combinados, incluyendo tratamientos químicos, para su eliminación efectiva (Jaimes Arias, 2020). La presencia de CE en el agua cruda puede no ser completamente removida mediante procesos convencionales de potabilización, lo que plantea preocupaciones sobre la salud humana y los ecosistemas (Álvarez Mayona, 2021). El manejo de CE en el ambiente, especialmente en las aguas residuales, ha impulsado el desarrollo y aplicación de diversas estrategias de tratamiento, clasificadas en categorías principales: biológicas, físicas, químicas y combinadas. Cada una de estas estrategias ofrece ventajas únicas y enfrenta ciertos desafíos en la eliminación efectiva de CE.

Tratamientos Biológicos: estos tratamientos se basan en el uso de microorganismos o enzimas para degradar los CE. (Torres et al., 2023) subrayan que los tratamientos biológicos son opciones ecológicas y de bajo costo destacando la biodegradación como una técnica segura y sostenible. Sin embargo, su eficacia puede variar según la naturaleza del contaminante. La aplicación de enzimas oxidorreductasas, capaces de transformar CE en compuestos más simples, es notable, aunque se requiere más investigación para identificar los productos finales de estas reacciones.

Tratamientos Físicos: estos tratamientos implican la utilización de métodos físicos y mecánicos para la eliminación de contaminantes. (Gutiérrez et al., 2023) destacan la eficacia de

la sedimentación primaria en plantas de tratamiento de aguas residuales para aislar partículas de plástico, aprovechando su densidad. A pesar de su utilidad, se está trabajando en optimizar la separación de microplásticos de sólidos sedimentados.

Tratamientos Químicos: los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs) son destacados por (Vázquez, 2023) como soluciones efectivas contra contaminantes recalcitrantes. Estos procesos se dividen en fotoquímicos y no fotoquímicos, siendo la fotocatálisis heterogénea, un proceso fotoquímico, especialmente valorada por su capacidad para mineralizar compuestos orgánicos a temperatura ambiente, representando una tecnología verde y energéticamente eficiente.

Tratamientos Combinados: es la integración de distintos procesos de tratamiento es crucial para abordar de manera efectiva los CE. (Cantero, 2024) menciona las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs), que aplican múltiples procesos para reducir la contaminación del agua. Aunque las EDARs convencionales se centran en la eliminación de carbono, nitrógeno, fósforo y microorganismos, no están diseñadas para eliminar CE en concentraciones muy bajas, subrayando la necesidad de combinar tratamientos.

Desarrollo de Métodos Analíticos: la investigación y el desarrollo de nuevos métodos analíticos para la detección de CE son esenciales para un monitoreo ambiental efectivo y sostenible. (Martínez, 2023), propone métodos innovadores y ecológicos, como la micro extracción coacervativa y la extracción en fase sólida con nanopartículas a base de carbono, que minimizan el uso de reactivos y residuos químicos, alineándose con los principios de la química verde. Entre los métodos de tratamiento y extracción de contaminantes emergentes, mencionados por el autor en su tesis se encuentran los siguientes:

- **Micro extracción Coacervativa:** se basa en la solidificación de gotas flotantes de surfactante para la determinación de glibenclamida, un antidiabético oral. Este enfoque se caracteriza por ser minimizador del uso de solventes orgánicos y por su eficiencia en la preconcentración del analito (Martínez, 2023).
- **Extracción en fase sólida con nanopartículas a base de carbono:** se emplearon nanotubos de carbono oxidados como adsorbentes para la extracción de progestinas de muestras de agua. Este método destaca por la selección de adsorbentes de alta afinidad por los contaminantes, mejorando la eficacia de la extracción (Martínez, 2023).
- **Utilización de films de agarosa y nanopartículas para extracción en fase sólida:** Se desarrollaron films de agarosa combinados con nanopartículas para la extracción y preconcentración de antiinflamatorios no esteroideos y progestágenos. Estos films permiten una fácil manipulación y una eficiente extracción de los contaminantes de interés (Martínez, 2023).

Estos métodos no sólo buscan la eficiencia analítica sino también reducir el impacto ambiental asociado a las técnicas de extracción tradicionales, alineándose con los principios de la química verde. La incorporación de materiales renovables, la minimización del uso de solventes tóxicos, y la reducción de residuos, son características centrales de las metodologías propuestas en esta investigación.

En el contexto de los sistemas de tratamiento no convencionales, (Lugo & Lugo, 2018) enfatizan la importancia de tecnologías de bajo costo para la purificación del agua en comunidades rurales. (Usma et al., 2013), (Urbina & Solano, 2020), y (Ocampo-Rodríguez et al., 2022), también destacan la relevancia de tratamientos combinados y procesos químicos de

oxidación avanzada en la mejora de la biodegradabilidad de las aguas residuales y en la eliminación de CE.

El uso de Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) con energía solar es explorado por (Zuñiga-Benitez et al., 2021), para reducir el consumo energético y los costos asociados. La fotocatalisis heterogénea, en particular, se presenta como una opción prometedora para la degradación de contaminantes utilizando luz solar.

Otros tratamientos para abordar la presencia de CE en el agua incluyen:

- **Monitoreo, control y normatividad:** Se sugiere la implementación de estrategias de manejo que incluyan monitoreo, control y normatividad para abordar la presencia de CE en el agua. Esto implica el establecimiento de regulaciones y políticas que permitan identificar, controlar y reducir la entrada de estos contaminantes al ambiente (Bedoya-Ríos et al., 2018).
- **Investigación continua:** Es necesario continuar con investigaciones que permitan comprender mejor el problema de los contaminantes emergentes, así como desarrollar y evaluar nuevas tecnologías y estrategias de tratamiento que sean más efectivas para la eliminación de estos contaminantes del agua (Bedoya-Ríos et al., 2018).
- **Mejora de los sistemas de tratamiento:** Se requiere mejorar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para garantizar una mayor remoción de los CE. Esto puede implicar la implementación de tecnologías avanzadas de tratamiento que sean capaces de eliminar estos contaminantes de manera más efectiva (Padilla Pino, 2020).

Por lo tanto, la gestión de CE en el ambiente, especialmente en las aguas residuales, requiere una combinación de tratamientos biológicos, físicos, químicos y combinados, así como el desarrollo de métodos analíticos innovadores para su detección y eliminación eficaz. La investigación y el desarrollo continuos en este campo son cruciales para mejorar la eficacia de estos tratamientos y proteger tanto la salud humana como también el medio ambiente.

A partir de lo anterior se evidencia la diversidad de estrategias disponibles para el tratamiento de CE, cada una con sus propias ventajas y limitaciones. La elección de la estrategia o combinación de estrategias más adecuada depende de la naturaleza específica de los CE presentes, así como de las condiciones locales y los recursos disponibles. La continua investigación y desarrollo en este campo son esenciales para mejorar la eficacia de estos tratamientos y proteger la salud humana y el medio ambiente.

Capítulo 2: Impacto de los CE en la Calidad del Agua: Estudios de Caso y Análisis

La creciente preocupación sobre los CE en los cuerpos de agua resalta la importancia de su detección, cuantificación, y el entendimiento de su impacto en la calidad del agua y en los ecosistemas acuáticos. Los CE incluyen una amplia gama de sustancias químicas como fármacos, microplásticos, disruptores endocrinos, entre otros, cuya presencia en el ambiente acuático puede tener efectos perjudiciales en la salud humana y la biodiversidad.

Metodologías para la Detección y Cuantificación de CE

La detección y cuantificación de CE en diferentes cuerpos de agua es fundamental para evaluar su impacto y diseñar estrategias de mitigación. (Flórez et al., 2021), emplearon la cromatografía líquida de alta eficiencia con detector de arreglo de diodos y fluorescencia molecular (HPLC-DAD-FLD) para evaluar la presencia de ocho CE en distritos de riego en Colombia, destacando la importancia de técnicas analíticas avanzadas en el monitoreo ambiental. Por otro lado, (Franco-Zambrano et al., 2022), utilizaron la cromatografía líquida de alta eficacia con detector ultravioleta - visible multiespectral de arreglo de diodos (HPLC-DAD) para determinar la presencia de antiinflamatorios no esteroideos en el río Portoviejo, aunque sus resultados indicaron la necesidad de técnicas más sensibles para detectar estos contaminantes a niveles de ng/L.

Tabla 3.
Metodologías para la detección y Cuantificación de CE.

Metodología	Descripción	Autor
Cromatografía líquida de alta eficiencia con detector de arreglo de diodos y fluorescencia molecular (HPLC-DAD-FLD)	Empleado para la detección y cuantificación de ocho CE en distritos de riego en Colombia. Este método analítico avanzado permite evaluar la presencia de CE en el agua.	. (Flórez et al., 2021)
Cromatografía líquida de alta eficacia con detector ultravioleta-visible multiespectral de arreglo de diodos (HPLC-DAD)	Utilizado para determinar la presencia de antiinflamatorios no esteroideos en el río Portoviejo, Ecuador. A pesar de su utilidad, se encontró que este método no era lo suficientemente sensible para detectar los contaminantes a niveles de ng/L, lo que sugiere la necesidad de técnicas más sensibles.	(Franco-Zambrano et al., 2022)

Fuente: Construcción propia, 2024. Con base en lo planteado por (Flórez et al., 2021) y (Franco-Zambrano et al., 2022)

Estudios de caso

Diversos estudios han ilustrado el impacto de los CE en la calidad del agua y en los ecosistemas acuáticos. Uno de esos estudios es presentado por (Rubio Clemente et al., 2013) quienes identificaron una carencia significativa en la eficacia de los procesos convencionales utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales para degradar contaminantes

orgánicos emergentes. Frente a esta problemática, propusieron la evaluación y optimización de tecnologías avanzadas, como la oxidación avanzada y la filtración por membranas. Su investigación sugiere que la combinación de estas tecnologías con procesos biológicos puede ofrecer una solución más efectiva para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con estos contaminantes, dado que cada tecnología presenta limitaciones cuando se utiliza de manera independiente. Este planteamiento resalta la importancia de adoptar enfoques integrados y avanzados para mejorar significativamente la calidad del agua tratada y abordar de manera eficiente la presencia de CE en las aguas residuales.

Por otro lado, (Silveira et al., 2013) se centraron en el desarrollo y validación de un método analítico robusto para la detección de contaminantes emergentes, tales como fármacos y productos de cuidado personal, en muestras de agua. Mediante la utilización de la extracción en fase sólida (SPE) y cromatografía líquida con ionización electrospray acoplada a espectrometría de masas en serie, lograron establecer un método que demostró buena linealidad, así como límites de detección y cuantificación adecuados para los compuestos estudiados. Aplicando este método, detectaron la presencia de PPCPs en aguas superficiales y potables, con concentraciones en el rango de microgramos por litro. Esta investigación proporciona una herramienta esencial para el monitoreo y cuantificación de CE en diversos tipos de aguas, lo que es crucial para evaluar su impacto en la calidad del agua y para implementar medidas efectivas que mitiguen su presencia.

Los estrógenos representan otro tipo de riesgo de CE, tanto para la salud humana como para la flora y fauna, según lo que plantean (Ramírez-Sánchez et al., 2015). Según estos autores,

es una necesidad implementar procesos de tratamiento específicos para estos contaminantes con el fin de mitigar su presencia en el agua y reducir su impacto ambiental.

La revisión realizada por (Melgarejo-Moreno & López-Ortiz, 2016a), quienes ofrecen un análisis detallado de las sanciones impuestas a España por el incumplimiento de normativas sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, evidenciando la urgencia de mejorar la gestión de los recursos hídricos para evitar problemas de contaminación y garantizar un suministro seguro de agua potable. Las consecuencias del incumplimiento fueron particularmente graves en algunas regiones de España, como Andalucía, donde hasta 13 zonas urbanas vertían aguas residuales directamente al mar, generando problemas de contaminación por aguas fecales en lugares sensibles como el Parque Nacional de Doñana. En Galicia, nueve ciudades incumplían la normativa, lo que había llevado al cierre del marisqueo en algunas rías durante años.

Por su parte, (R. F. Silva et al., 2016) evaluaron la presencia de CE en aguas residuales sanitarias, tanto crudas como tratadas, utilizando técnicas avanzadas como la cromatografía líquida y la espectrometría de masas. Los resultados revelaron que los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales son ineficaces para degradar adecuadamente estos contaminantes, lo que subraya la urgencia de desarrollar y aplicar tecnologías más efectivas para su eliminación.

En otro contexto, (Robledo Zacarías et al., 2017) resaltaron la situación preocupante en México, donde la mayoría del agua residual (AR) no recibe un tratamiento adecuado, lo que representa un riesgo significativo tanto para la salud humana como para la biota acuática. En su estudio sobre una planta de tratamiento de aguas residuales en Morelia, se detectaron diversos fármacos y drogas de abuso, con una eficiencia de remoción del 25.8%. Este hallazgo destaca la

necesidad imperiosa de mejorar los procesos de tratamiento de aguas residuales para mitigar el impacto de los contaminantes emergentes.

Por otro lado, los estudios realizados por (Oropesa A.L et al., 2017) han proporcionado evidencias significativas sobre la presencia frecuente de CE, como el 17α -etinilestradiol y el nonilfenol, en aguas superficiales y sedimentos. La investigación se centró en el análisis histopatológico en peces, identificando lesiones que funcionan como biomarcadores efectivos de exposición a estos contaminantes. Estos cambios subclínicos en los tejidos de los peces, que persisten bajo condiciones ambientales constantes, subrayan la importancia crítica de monitorizar y gestionar estos contaminantes para proteger la salud de los ecosistemas acuáticos.

Por su parte, (Montagner et al., 2017) se enfocaron en revisar la literatura existente sobre la presencia de CE en matrices acuáticas brasileñas y discutir sus impactos biológicos, aspectos legislativos y analíticos. A través de un análisis detallado de 58 artículos publicados entre 1997 y 2016, el estudio identificó la ocurrencia de diversos compuestos como productos de cuidado personal, fármacos, drogas ilícitas, hormonas, pesticidas y otros disruptores endocrinos en varias regiones de Brasil. Los resultados mostraron variaciones significativas en las concentraciones de estos contaminantes según la región y el tipo de compuesto, lo cual se ve agravado por el bajo nivel de saneamiento y la alta tasa de consumo de productos. Concluyen que estos hallazgos proporcionan una base sólida para la realización de futuras investigaciones y para la toma de decisiones regulatorias en políticas públicas, resaltando la urgencia y la necesidad de abordar de manera efectiva la problemática de los contaminantes emergentes.

El análisis realizado por (Serra Martins & Montagner, 2018) se aborda la evolución de las preocupaciones humanas en relación con los riesgos ambientales, desde los desafíos impuestos

por animales grandes durante el Neolítico hasta los microorganismos y, más recientemente, las moléculas contaminantes. Este enfoque histórico y reflexivo resalta la importancia de estar adecuadamente preparados para enfrentar diferentes agentes causantes de enfermedades, enfatizando el papel significativo de los CE en el contexto actual. El estudio propone estrategias de intervención a corto, medio y largo plazo, diseñadas para prevenir la contaminación de recursos hídricos vitales y mejorar la calidad de vida de las personas. Estas propuestas constituyen un llamado a la acción para gestionar de manera integral y proactiva la problemática de los contaminantes emergentes, enfocándose tanto en la prevención como en la mitigación.

Así mismo los investigadores (Ramírez-Cando et al., 2019) evaluaron la presencia de residuos de antibióticos en los ríos San Pedro y Pita de Ecuador, encontrando un porcentaje considerable de muestras con residuos de estos compuestos. Esto resalta la necesidad urgente de monitorear y gestionar la presencia de estos contaminantes en los cuerpos de agua.

Por su parte, (Vélez et al., 2019) realizaron una revisión exhaustiva sobre la presencia de CE en aguas residuales y su impacto en la salud y el medio ambiente. La revisión enfatizó la necesidad de desarrollar estrategias efectivas para la gestión de estos contaminantes, incluyendo su detección, ocurrencia en matrices ambientales, tratamientos para su remoción, y los riesgos asociados. Este análisis subraya la importancia de abordar de manera integral la problemática de los CE para proteger tanto la calidad del agua como la salud pública.

Los investigadores, (Hernández-Quiroz et al., 2019) desarrollaron y validaron un método analítico para estudiar la presencia de CE en aguas intersticiales de sedimentos de humedales. Sus hallazgos revelaron concentraciones elevadas de estos contaminantes cerca de áreas donde se descargan aguas residuales tratadas, destacando la importancia de contar con métodos analíticos

robustos para evaluar la presencia y distribución de CE en entornos complejos como los humedales. Estos estudios juntos proporcionan una base importante para futuras investigaciones y el desarrollo de políticas más efectivas en la gestión de contaminantes emergentes.

En el ámbito de la gestión de aguas residuales y la evaluación de riesgos ambientales, (Martínez-Alcalá et al., 2020) llevaron a cabo un estudio para identificar la presencia de antibióticos en plantas de tratamiento de aguas residuales (WWTP) y evaluar los riesgos ecotoxicológicos de sus efluentes. Descubrieron que la azitromicina era el antibiótico más frecuentemente encontrado en los efluentes tratados, presentando un riesgo ecotoxicológico medio. Este hallazgo resalta la necesidad crítica de mejorar los procesos de purificación en las WWTPs para minimizar los riesgos ambientales derivados de la liberación de antibióticos en el medio ambiente.

En un estudio paralelo, (Mora Cabrera et al., 2020) evaluaron la eficacia de un sistema híbrido UASB+SMEBR en la eliminación de contaminantes orgánicos y emergentes. Sus resultados indicaron altas tasas de remoción de materia orgánica y nutrientes, así como una eliminación efectiva de fármacos emergentes como el ibuprofeno y el diclofeno. Este estudio destaca el potencial de los sistemas híbridos de tratamiento para mejorar la calidad de las aguas residuales y reducir la presencia de contaminantes emergentes.

La investigación llevada a cabo por (Flórez et al., 2021) en Colombia revela la presión antropogénica sobre los distritos de riego mediante la detección de Compuestos Emergentes, lo que podría acarrear riesgos ambientales futuros y afectar las actividades agrícolas debido a la acumulación de estos compuestos en los cultivos. En un contexto similar, (Jacobo-Marín & de León, 2021) enfatizan la necesidad de una regulación jurídica eficiente de los CE en las fuentes y

cuerpos de agua en México, subrayando la importancia de políticas de calidad del agua más sólidas para salvaguardar el derecho humano al agua y al saneamiento.

Por otro lado, (Jacobo-Marín & Santacruz de León, 2021) exploraron el marco regulatorio de los CE en fuentes de agua en México, estableciendo comparaciones con las legislaciones de Chile y Europa. Su estudio reveló una creciente preocupación por estos contaminantes, tradicionalmente ignorados a pesar de su potencial daño ecológico y riesgos para la salud humana. La investigación concluyó que la falta de regulación específica dificulta el cumplimiento de los derechos humanos relacionados con el acceso al agua y el saneamiento, y recomendó la implementación de regulaciones basadas en el principio de precaución para fortalecer la gestión y protección de los recursos hídricos.

El Riesgo (RQ) de CE en varias cuencas hidrográficas brasileñas fue analizado por autores como (Branco; et al., 2021). Mediante revisión bibliográfica y cálculos basados en las concentraciones sin efecto predicho (PNEC) y las concentraciones ambientales medidas (MEC), identificaron 79 compuestos con un RQ superior a 1. Los compuestos más preocupantes incluyeron pesticidas, medicamentos y otros productos de uso industrial y personal, con los hormonos presentando los valores más elevados de RQ. Este estudio subraya la urgencia de ampliar las investigaciones en estas áreas, especialmente en regiones menos estudiadas como el Norte y Noreste de Brasil, debido a la presión significativa que estos contaminantes pueden ejercer sobre la extinción de especies.

En otra investigación, los autores, (Checa-Artos et al., 2021) investigaron la capacidad de la especie de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para remover cinco fármacos comúnmente prescritos de cuerpos de agua dulce. Utilizando técnicas como espectrofotometría UV-VIS y

metodología de superficie de respuesta para el análisis estadístico, encontraron que esta planta tenía una alta capacidad de remoción para diclofenaco, ciprofloxacina y acetaminofén, aunque menos efectiva para ibuprofeno y sulfametoxazol. Este hallazgo resalta el potencial de *E. crassipes* en la fitoremediación de contaminantes emergentes, proponiendo su uso en la gestión ambiental.

Por otro lado, (Hirose Miyabara et al., 2021) utilizaron el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para evaluar metodologías para detectar CE como hormonas y cafeína en aguas superficiales. Compararon técnicas como la Extracción en Fase Sólida (SPE) y la Cromatografía Líquida con Espectrometría de Masas (LC-MS/MS) frente a la Fluorescencia de Rayos X (XRF) y la Espectroscopía Raman usando biosorbente de mazorca de maíz. Encontraron que la combinación de biosorbente de mazorca de maíz y XRF era superior, destacando por su rapidez, sensibilidad y bajo costo, lo que la hace una metodología válida y útil para la toma de decisiones en el análisis de contaminantes emergentes.

Respecto a los métodos de tratamiento para eliminar los CE en el agua, (Vallés Ferrer et al., 2021) enfocaron sus esfuerzos en investigar cómo mejorar la eficacia de los métodos convencionales, proponiendo el uso de compuestos fenólicos, específicamente catecol, para incrementar la disponibilidad de hierro en los procesos basados en Fenton. Tras realizar pruebas en agua salada y seleccionar seis CE como objetivo, descubrieron que el catecol mejoraba significativamente la eficiencia del proceso, reduciendo el tiempo de reacción y facilitando la conversión de los compuestos fenólicos a benzoquinonas durante la reacción. Estos hallazgos indican que los compuestos fenólicos pueden potenciar considerablemente la eficacia de los

tratamientos de (foto)-Fenton, ofreciendo una innovación prometedora para la eliminación de contaminantes emergentes.

En la Cuenca Alta del Iguazú en Brasil, (Baudisch et al., 2022) llevaron a cabo un estudio exhaustivo sobre la presencia de contaminantes emergentes. Durante tres campañas de muestreo en siete estaciones a lo largo de tres ríos, investigaron la concentración de sustancias como etinilestradiol, fenofibrato, ibuprofeno y triclosán. Los resultados indicaron que ciertos grupos faunísticos, particularmente los Tubificinae, conocidos indicadores de estrés ambiental mostraron correlaciones positivas con los niveles de contaminantes. A través de análisis de redundancia (RDA), se determinó que las variables antropogénicas eran las más influyentes en la distribución de la macrofauna bentónica, sugiriendo un impacto negativo significativo sobre la biodiversidad y el equilibrio ecológico de la región debido a la contaminación.

En un estudio realizado por (Alves et al., 2022), se analizó la calidad del agua en Cuiabá-MT, Brasil, mediante el uso de datos secundarios de 2014 a 2019 y datos primarios recolectados en junio y noviembre de 2019 en tres sitios de bombeo. Para evaluar la calidad del agua, emplearon el Índice de Conformidad con las Directrices. Los resultados mostraron una disminución en la calidad del agua en áreas urbanizadas, principalmente debido al vertido de aguas residuales domésticas sin tratar y a la escorrentía superficial. Esto subraya la necesidad crítica de implementar medidas para mejorar la recolección y tratamiento de efluentes para proteger las fuentes de agua destinadas al suministro humano y evitar la contaminación de los ríos.

El problema de los antibióticos fue abordado (Álvarez-Gómez et al., 2023) en ambientes acuáticos y la resistencia bacteriana que pueden generar. Focalizados en tres sulfonamidas

(sulfadiazina, sulfameracina y sulfametacina), evaluaron su degradación bajo condiciones de estrés como radiación UV y ozonización, tanto de forma individual como combinada. Mediante el uso de técnicas como espectrofotometría UV/Vis y HPLC, demostraron que la combinación de radiación UV y ozonización resultó ser el método más eficaz para degradar estas sustancias. Este hallazgo es esencial para el desarrollo de métodos de tratamiento de aguas que no solo mitiguen la presencia de antibióticos, sino que también reduzcan el riesgo de resistencia bacteriana.

Los riesgos asociados tanto para la salud humana como para los ecosistemas son resaltados por (W. M. das Chagas et al., 2023). A través de una revisión bibliográfica sobre el uso de técnicas voltamétricas para la determinación de CE en muestras de agua brasileñas entre 2000 y 2020, evaluaron la efectividad de estas técnicas analíticas. Destacaron la importancia de las técnicas volta métricas para la identificación y el monitoreo de contaminantes, promoviendo su incorporación en medidas de control y legislación ambiental. Esta revisión ofrece una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la gestión de la calidad del agua.

La investigación de (M. L. Gil et al., 2023) aborda un tema crucial en el ámbito de los CE en ambientes costeros brasileños, enfocándose en la distribución y ocurrencia de estos compuestos. Este estudio, que recopiló datos de 102 artículos científicos entre 2000 y 2020, destacó la presencia de diversos contaminantes como esteroides, estrógenos, fármacos, productos de cuidado personal, hidrocarburos y bifenilos policlorados, especialmente en sedimentos de la región Sudeste de Brasil. A través de técnicas avanzadas de análisis como extracción en fase sólida y Soxhlet para la preconcentración, y GC-MS, CG-DIC, LC-MS y HPLC para la identificación y cuantificación, el estudio reveló una falta general de enfoques integrales en la

investigación existente, sugiriendo la necesidad de futuros estudios para fundamentar la toma de decisiones en la regulación y políticas públicas.

Por otro lado, (Falda et al., 2023) centraron su atención en la susceptibilidad de los cuerpos de agua destinados al abastecimiento público a varios contaminantes, cuestionando la eficiencia del tratamiento convencional de agua. Evaluaron la eficacia de diferentes concepciones de biofiltración para la remoción y biodegradación de diurón y microcistinas. Sus experimentos mostraron que la biofiltración con activación biológica natural era más efectiva que la activación específica, y que los filtros de arena de grano más grueso ofrecían ventajas operativas, sugiriendo mejoras potenciales en las técnicas de tratamiento de agua.

Desde otra perspectiva los investigadores (Gutiérrez et al., 2023), discutieron acerca de cómo la presencia de microplásticos en el ambiente puede afectar la salud humana, incluyendo riesgos de enfermedades neurodegenerativas y cáncer, debido a su capacidad de penetrar tejidos humanos y liberar sustancias tóxicas. Por su parte, los investigadores, (Sanabria & Montagut, 2023), resaltan los efectos negativos de los CE en la diversidad de los macroinvertebrados y en la población de peces, así como su potencial cancerígeno en humanos. Además, (García, 2024), presenta un estudio sobre la contaminación del Río Santiago (MEX), donde se encontró una gran variedad de compuestos orgánicos y metales pesados que representan un riesgo significativo para los habitantes de la región.

Recientemente los investigadores, (Peña-Guzmán et al., 2024) realizaron una investigación detallada sobre la identificación y cuantificación de CE en distintos tipos de aguas, destacando los retos asociados a su detección debido a las bajas concentraciones y la necesidad de técnicas especializadas y costosas. Mientras que en países desarrollados existen programas de

seguimiento bien establecidos, en América Latina estos esfuerzos están aún en etapas iniciales. Como parte de su contribución, presentaron una herramienta computacional innovadora, el plugin CE para QGIS, diseñado para facilitar la identificación de CE en sectores industriales. Este plugin permite vincular el tipo de sector empresarial con los procesos de producción y el catastro de redes sanitarias para optimizar los puntos de muestreo. Incluyeron una guía detallada para el uso del plugin y un estudio de caso en Bogotá, demostrando su utilidad en la gestión ambiental.

A partir de las evidencias presentadas en los casos anteriores, se comprende que la presencia de CE en los cuerpos de agua es un asunto de creciente relevancia debido a sus posibles impactos negativos en la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Es crucial implementar metodologías avanzadas para detectar y cuantificar estos contaminantes con el fin de comprender su distribución y concentración. Los estudios de caso mencionados ilustran la diversidad de efectos que los CE pueden tener, lo que subraya la urgencia de desarrollar estrategias de mitigación y tratamiento efectivas. La investigación continua y el desarrollo de tecnologías de monitoreo y tratamiento son esenciales para proteger nuestros recursos hídricos y asegurar un entorno seguro para las generaciones venideras.

El análisis integral de estos estudios sobre CE revela tendencias claras y desafíos persistentes en la gestión de la calidad del agua y la protección de los ecosistemas acuáticos. Las investigaciones de (Rubio Clemente et al., 2013) y (Silveira et al., 2013), junto con los trabajos de (Ramírez-Sánchez et al., 2015) y otros estudios similares, destacan una preocupación común sobre la ineficacia de los métodos de tratamiento de aguas residuales convencionales frente a los CE y la necesidad urgente de desarrollar tecnologías avanzadas para su mitigación efectiva.

Tendencias de Estudio:

- **Innovación en Tecnologías de Tratamiento:** Existe un consenso sobre la necesidad de optimizar y combinar tecnologías de tratamiento como la oxidación avanzada, la filtración por membranas y procesos biológicos (Rubio Clemente et al., 2013). Otros investigadores propusieron el catecol para aumentar la disponibilidad de hierro, un catalizador clave en los procesos de Fenton y foto-Fenton, lo que mejora significativamente la tasa de degradación de los contaminantes (Vallés Ferrer et al., 2021). Este enfoque también se destacó por reducir el tiempo de reacción necesario para eliminar los CE a un pH más neutro que el típicamente requerido para los procesos Fenton. Por su parte, (Mora Cabrera et al., 2020) propuso, la combinación de un tratamiento anaeróbico y un bioreactor electro-sumergido con membranas que mostró una capacidad superior para remover tanto materia orgánica como contaminantes farmacéuticos, como el ibuprofeno y el diclofenaco. Este sistema híbrido promete ser una solución efectiva y eficiente para el tratamiento avanzado de aguas residuales urbanas. Estas técnicas integradas buscan superar las limitaciones de las tecnologías por separado, ofreciendo soluciones más efectivas para la eliminación de CE. De esta forma, estos estudios reflejan una tendencia hacia el desarrollo de tecnologías de tratamiento más eficientes y específicas para los CE, que a menudo requieren métodos más avanzados que los tratamientos convencionales para ser efectivamente eliminados de las aguas residuales. La adopción de estas tecnologías innovadoras podría ser crucial para garantizar la seguridad del agua y la protección de los ecosistemas acuáticos en un futuro cercano.

- **Desarrollo de Métodos Analíticos:** Los estudios enfatizan la importancia de métodos analíticos robustos y precisos para detectar y cuantificar CE en diversas matrices acuáticas. (Silveira et al., 2013) y otros investigadores han trabajado en la optimización de técnicas como la cromatografía líquida y la espectrometría de masas para mejorar la capacidad de monitoreo de estas sustancias.
- **Impacto Ecológico y de Salud:** La presencia de CE como el 17α -etinilestradiol y el nonilfenol en cuerpos de agua ha sido vinculada a efectos adversos en la fauna acuática, destacando su papel como disruptores endocrinos y contaminantes persistentes que requieren atención urgente (Oropesa A.L et al., 2017).

Similitudes en los Hallazgos:

- **Persistencia de Contaminantes en el Medio Ambiente:** Muchos estudios coinciden en que los CE resisten los procesos de tratamiento convencionales y persisten en el ambiente, lo cual plantea riesgos significativos para los ecosistemas acuáticos y la salud humana.
- **Necesidad de Regulación y Mejora de Infraestructuras:** Existe una llamada común a mejorar las infraestructuras de tratamiento y a desarrollar marcos regulatorios más estrictos para controlar la liberación y el impacto de los CE.
- **Impacto de los CE en la Calidad del Agua:** El impacto acumulativo de los CE en la calidad del agua se manifiesta en la reducción de la biodiversidad acuática, la alteración de procesos ecológicos clave y potenciales riesgos para la salud humana a través del consumo de agua contaminada. Los estudios sugieren que, sin intervenciones

significativas para mejorar los tratamientos de agua y las prácticas de monitoreo, los riesgos asociados con los CE continuarán escalando.

En conjunto, estas investigaciones subrayan la importancia de abordar la problemática de los CE desde una perspectiva integral, combinando avances tecnológicos en tratamiento, regulaciones efectivas y una mayor conciencia pública para mitigar su presencia y proteger tanto la salud pública como los ecosistemas acuáticos.

Análisis de los estudios de caso

Los estudios mencionados abordan de diversas maneras el desafío que representan los CE en las aguas residuales, superficiales y potables, y destacan por su variedad en enfoques metodológicos, tecnológicos y analíticos. A continuación, se proporciona un análisis más profundo que sintetiza los hallazgos relevantes y propone un enfoque holístico para entender mejor el impacto ambiental y la eficacia de las intervenciones propuestas.

Impacto y persistencia de CE en ecosistemas acuáticos:

- **Oropesa A.L et al., (2017):** Este estudio resaltó la presencia frecuente de compuestos como el 17 α -etinilestradiol y el nonilfenol en aguas superficiales y sedimentos, y cómo estos contaminantes funcionan como disruptores endocrinos, afectando a la fauna acuática. Identificaron lesiones histopatológicas en peces que sirven como biomarcadores efectivos de contaminación.
- **Ramírez-Sánchez et al. (2015) y Montagner et al. (2017):** Ambos estudios subrayaron la necesidad urgente de abordar la presencia de estrógenos y otros CE en cuerpos de agua, señalando su impacto negativo tanto en la salud humana como en la vida silvestre.

Innovaciones en tratamientos para la remoción de CE:

- **Vallés Ferrer et al. (2021) y Mora Cabrera et al. (2020):** Estos estudios exploraron métodos avanzados para mejorar la remoción de CE. Vallés Ferrer et al. demostraron cómo los compuestos fenólicos pueden potenciar los procesos de Fenton para una eliminación más eficaz de CE en agua salada, mientras que Mora Cabrera et al. evaluaron la eficacia de un sistema híbrido UASB+SMEBR en la eliminación de contaminantes orgánicos y emergentes, mostrando altas tasas de remoción.

Avances en métodos de detección y análisis de CE:

- **(Silveira et al., 2013):** Desarrollaron y validaron un método analítico utilizando SPE y LC-MS/MS para detectar fármacos y productos de cuidado personal en aguas, proporcionando una herramienta esencial para el monitoreo eficiente de CE.
- **(Hirose Miyabara et al., 2021):** Compararon técnicas analíticas y destacaron la eficacia del uso de biosorbentes de mazorca de maíz en combinación con XRF para la detección de hormonas y cafeína, ofreciendo una alternativa costo-eficiente para el monitoreo de CE.

Necesidad de regulaciones y políticas públicas más estrictas:

- **(Melgarejo-Moreno & López-Ortiz, 2016):** Su análisis sobre las sanciones impuestas a España por incumplir normativas de tratamiento de aguas residuales urbanas resalta la urgencia de mejorar la gestión de los recursos hídricos y la implementación de políticas más efectivas para garantizar un suministro seguro de agua potable.

Importancia de enfoques integrados y proactivos:

- **(Serra Martins & Montagner, 2018):** Propusieron estrategias de intervención a corto, medio y largo plazo para prevenir la contaminación de recursos hídricos vitales, subrayando la necesidad de estar preparados para enfrentar diferentes agentes causantes de enfermedades, incluidos los CE.

Estos estudios colectivamente sugieren que los CE presentan desafíos significativos para los sistemas de tratamiento de agua existentes y exigen un enfoque multidisciplinario que incluya la mejora de las tecnologías de tratamiento, el desarrollo de métodos analíticos precisos y la implementación de políticas regulatorias robustas. Además, destacan la importancia de una cooperación amplia entre científicos, reguladores, y el sector público para mitigar efectivamente los riesgos asociados con los contaminantes emergentes.

Capítulo 3: Iniciativas de Educación Ambiental y Participación Comunitaria en la Mitigación de Contaminantes Emergentes: Lecciones y Prácticas Relevantes

Participación Comunitaria y Educación Ambiental

La participación comunitaria, según diversos autores, representa un enfoque crucial en la gestión ambiental y el desarrollo sostenible (Bronfman & Gleizer, 1994); (Polo-Garzón & Villa Velasco, 2021). Este concepto implica la activa involucración de los miembros de una comunidad en la identificación, planificación, ejecución y evaluación de acciones destinadas a mejorar su entorno y calidad de vida. Autores como Bronfman & Gleizer (1994) la conciben como una estrategia para maximizar la accesibilidad y disponibilidad de servicios, considerándola un medio neutral para alcanzar un fin determinado. Por otro lado, Polo-Garzón & Villa Velasco (2021) resaltan el papel activo de las comunidades locales, destacando su capacidad para compartir conocimientos, planificar y monitorear acciones que mejoren sus condiciones de vida.

Esta participación comunitaria se fundamenta en la noción de que las comunidades locales son las que mejor conocen sus necesidades y contextos específicos. Según Morúa (2010), la comunidad es un elemento central en la búsqueda de soluciones efectivas a los problemas ambientales y de calidad de vida en su entorno. Por lo tanto, involucrar a la comunidad en los procesos de toma de decisiones y ejecución de proyectos, garantiza una mayor pertinencia y efectividad en las acciones emprendidas.

Desde una perspectiva de salud pública, Casseti et al. (2023) definen la participación comunitaria en salud como el proceso mediante el cual los individuos y las familias asumen la responsabilidad de su propia salud y la de la colectividad. Esto implica una mayor autonomía y

empoderamiento de la comunidad para gestionar sus propios recursos y tomar decisiones informadas que beneficien su bienestar general.

En este sentido, la participación comunitaria no solo promueve la resolución de problemas locales, sino que también fortalece el tejido social y la cohesión comunitaria. La implementación de proyectos con participación comunitaria, como lo enfatizan Polo-Garzón & Villa Velasco (2021), promueven características como el empoderamiento, la participación social y la sustentabilidad. Esto se traduce en un mayor control sobre las acciones y decisiones que afectan la vida de la comunidad, así como en la generación de soluciones más efectivas y sostenibles a largo plazo.

La participación comunitaria es un elemento fundamental en el desarrollo de prácticas para el manejo ambiental, ya que promueve el empoderamiento de la comunidad, la generación de soluciones pertinentes y sostenibles, y el fortalecimiento del tejido social. Al involucrar a los miembros de la comunidad en la toma de decisiones y la implementación de proyectos, se garantiza una mayor efectividad y pertinencia en las acciones emprendidas, así como un mayor compromiso y sentido de responsabilidad hacia el entorno y el bienestar colectivo.

Por otro lado, la educación ambiental (EA), según diversos expertos, es un proceso fundamental que permite a los individuos comprender las interdependencias entre ellos y su entorno, abarcando aspectos biofísicos, sociales y políticos (Pita-Morales, 2016); (Chucchucan & Huatay, 2017). Esta comprensión es crucial para fomentar la valoración y el respeto hacia el ambiente. Autores como Pita-Morales (2016), enfatizan que la EA debe ser dinámica, participativa y orientada a la formación de personas críticas y reflexivas, capaces de comprender la problemática ambiental a diferentes escalas.

La relevancia de la EA radica en su capacidad para transformar comportamientos y conocimientos hacia acciones pro-ambientales. López de Parra et al. (2022), destacan que este proceso implica un intercambio de saberes entre la comunidad y la academia, promoviendo el pensamiento crítico y reflexivo. Sin embargo, existe una carencia de análisis de problemas socioambientales en algunos contextos, lo que limita el fomento de prácticas como el ecoturismo desde la EA.

En escenarios como el cubano, donde la conciencia ambiental es insuficiente, la EA cobra aún más importancia. Ortega Pujol & Brito Montero (2016), argumentan que es necesario desarrollar acciones educativas que promuevan el cuidado del medio ambiente, involucrando tanto a la comunidad como a los entes decisores. De esta manera, se busca integrar la dimensión ambiental en todos los ámbitos de la sociedad.

La educación ambiental (EA) también se presenta como un eje transversal e interdisciplinario en el ámbito educativo. Autores como Henao Hueso & Sánchez Arce (2019), sostienen que este enfoque permite abordar las problemáticas ambientales desde diversas perspectivas y disciplinas, contribuyendo al empoderamiento de los actores sociales y a la construcción de conocimientos significativos.

Con base en lo anterior, la EA es un proceso fundamental para promover la valoración y el cuidado del medio ambiente. Su enfoque participativo, crítico y reflexivo permite generar cambios en los comportamientos y conocimientos de las personas, contribuyendo así a la mitigación de CE y al desarrollo sostenible.

La relación entre la Educación Ambiental (EA) y la Participación Comunitaria es fundamental para abordar los desafíos ambientales contemporáneos debido a que ambas estrategias se complementan y fortalecen mutuamente. La EA proporciona los conocimientos y las herramientas necesarias para que la comunidad comprenda los problemas ambientales y sus posibles soluciones. Al mismo tiempo, la Participación Comunitaria permite que estos conocimientos se traduzcan en acciones concretas y en la creación de soluciones adaptadas a las necesidades locales.

A continuación, se describirán con más detalles las Iniciativas de EA y Participación Comunitaria en la Mitigación de Contaminantes Emergentes: Lecciones y Prácticas Relevantes. Estas iniciativas destacan el papel crucial que juegan la educación y la participación comunitaria en la búsqueda de soluciones efectivas para mitigar la presencia de CE en nuestro entorno.

Iniciativas de educación ambiental (EA)

Las iniciativas de EA en la gestión de CE han sido abordadas por diversos autores con el objetivo de concienciar y movilizar a la comunidad en la protección del medio ambiente. Una de estas iniciativas, descrita por Chucchucan & Huatay (2017), se enfocó en integrantes de la organización reguladora de la calidad ambiental en Cajamarca. A través de encuestas, se identificó que los participantes realizaban actividades como el reciclaje, el cuidado de áreas verdes y tenían un alto conocimiento sobre la importancia del agua para la vida en la tierra. Estos hallazgos resaltan la relación entre la EA y la adopción de prácticas positivas en pro del medio ambiente.

Otra iniciativa destacada es el Proyecto Ambiental Escolar (PRAE), mencionado por el Ministerio de Educación Nacional (2005). Este proyecto involucra a estudiantes, docentes,

padres de familia, instituciones y organizaciones sociales en la identificación y solución de problemas ambientales locales. A través de actividades como la recuperación de cuencas hidrográficas, la reforestación y el manejo de residuos sólidos, se promueve la participación activa de la comunidad en la gestión ambiental sostenible.

Además, Ortega Pujol & Brito Montero (2016), describen una estrategia de participación comunitaria para la EA en el sector empresarial del municipio San José de las Lajas. Esta estrategia se diseñó con base en un diagnóstico de la situación actual y tiene como objetivo insertar al sector empresarial en los procesos de EA a través de la participación comunitaria.

Otro ejemplo es presentado por Diaz et al. (2022), quienes realizaron un análisis socioambiental de la ciénaga Grande de Malambo para identificar los factores que contribuyen a su deterioro, especialmente la falta de conciencia ambiental de los pobladores de la vereda el Espinal. Mediante la metodología de acción participativa, se llevaron a cabo actividades de limpieza y dragado de los arroyos que alimentan la ciénaga, lo que generó un sentido de pertenencia y cuidado del entorno. Además, se implementaron talleres de sensibilización y prácticas para abordar el manejo inadecuado de residuos sólidos, promoviendo la reflexión y la adopción de prácticas responsables por parte de la comunidad.

Otra investigación, realizada por Roldán Pérez (2021), abordó la problemática de la calidad del agua en Colombia, destacando la contaminación por aguas residuales e industriales, la deforestación y otros factores que afectan los ecosistemas acuáticos. En este contexto, la EA se presenta como una herramienta fundamental para sensibilizar a la población sobre la importancia de preservar los recursos hídricos y adoptar prácticas sostenibles. Se resalta la

necesidad de promover la conciencia ambiental y la gobernabilidad como aspectos esenciales para el manejo exitoso del recurso hídrico.

Además, Tróchez Ríos (2022), exploró el paso de la educación cívica tradicional hacia la EA, destacando la importancia de enseñar competencias ciudadanas relacionadas con el medio ambiente. Este estudio evidenció que los programas de EA son efectivos para fomentar la participación ciudadana activa en la resolución de problemas ambientales, promoviendo valores como la sostenibilidad y la justicia social.

Un ejemplo adicional es presentado por Camacho & Lancheros (2008), destacaron la importancia de los programas de EA como elemento clave para la implementación efectiva de sistemas de gestión ambiental. En su investigación, presentaron los resultados de un proyecto sobre el manejo de desechos generados en laboratorios e instituciones de salud. Se aplicó un modelo de evaluación ambiental y se diseñó un programa educativo para apoyar la gestión ambiental en las industrias participantes, destacando la capacitación como un punto crítico para fortalecer la relación entre la academia y la industria.

Otras iniciativas han sido evaluadas por los investigadores (Contreras Castañeda & Avendaño Ruiz, 2023). Evaluaron el impacto de dos programas, Desembólsate B.C. y REDSPIRA, en la formación de una cultura ambiental en Tijuana, México. A través de cuestionarios, identificaron percepciones, conocimientos y actitudes ambientales en estudiantes, observando una incidencia positiva de los programas en la generación de nuevos conocimientos y la promoción de la conciencia ambiental en la ciudad.

En Chile también se han gestado iniciativas asociadas con la educación ambiental (EA), investigadas por Prosser et al. (2019). Los investigadores estudiaron las condiciones que facilitan o dificultan la implementación de programas de EA en escuelas de Chile. Identificaron factores como el apoyo de la comunidad, la integración curricular del programa, los soportes de implementación y la experticia del docente como críticos para el éxito de estas iniciativas.

Otras iniciativas se han gestionado en países Europeos, como lo describe Rendón López et al. (2018), quienes destacaron las iniciativas europeas para la protección del medio ambiente, como el Libro Verde de la Comisión Europea, que propuso respuestas a los desafíos relacionados con los residuos de plástico. Estas iniciativas reflejan la importancia de la legislación y las políticas públicas en la gestión ambiental a nivel global.

Por su parte, Mejía-Cáceres et al. (2020) se centraron en caracterizar el conocimiento de EA en la Licenciatura en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental en una universidad colombiana. Utilizaron el análisis crítico del discurso para analizar los programas curriculares relacionados con la EA, identificando tanto aspectos positivos como omisiones en el enfoque cognitivo de los profesores y el currículo.

En otro contexto, (Kabassi, 2021) investigó la aplicación de modelos de toma de decisiones multicriterio para evaluar programas de EA. Se comparó el rendimiento de varios modelos (SAW, WPM, TOPSIS y PROMETHEE II) para seleccionar el programa más apropiado. El objetivo fue evaluar la idoneidad y robustez de estos modelos en la evaluación de programas de EA.

Además, (de Pontes et al., 2022) evaluaron las percepciones y expectativas sobre programas de EA en el proceso de licenciamiento ambiental de actividades portuarias en Paranaguá, Brasil. Se realizaron entrevistas semi-estructuradas con diferentes grupos de actores involucrados en estos procesos (comunidades, gestores ambientales y técnicos de agencias ambientales). Se destacó la importancia de la EA como herramienta para mitigar o compensar los impactos ambientales de los proyectos de desarrollo.

Otras evaluaciones de iniciativas de este estilo fueron presentadas por Silva et al. (2023) quienes evaluaron el programa de educación ambiental "ECOCIDADANIA" dirigido a jóvenes en áreas rurales en el municipio de Gouveia, Brasil. El programa combinó metodologías de caminatas por la naturaleza con ciencia ciudadana. Se realizaron entrevistas semiestructuradas con participantes clave para evaluar la aceptabilidad del programa y sus beneficios percibidos. Los resultados mostraron que el programa fue aceptable y beneficioso para aumentar el conocimiento ambiental y promover el bienestar individual y colectivo.

Las iniciativas de EA mencionadas por (Johnson & Činčera, 2023) se centran en programas de EA al aire libre que buscan influir en los valores y comportamientos ambientales de los participantes. Estos programas se llevaron a cabo en la República Checa y se investigaron utilizando el Modelo de Aprendizaje del Mundo Real. El estudio encontró correlaciones significativas entre las percepciones de los participantes sobre las características del programa y sus valores ambientales y comportamientos autoreportados. Se demostró que la relación entre las características del programa estaba mediada por los valores ambientales de los participantes, lo que sugiere que la efectividad del programa está influenciada por la interacción entre los valores ambientales de los estudiantes y las estrategias de instrucción utilizadas.

Por otro lado, Ortega-Lasuen et al. (2023) evaluaron el impacto de un programa de EA diurno y basado en el lugar, llevado a cabo en el Centro de Aves de Urdaibai (UBC) en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, en España. Este estudio incluyó la evaluación de actitudes y conocimientos ambientales de estudiantes de secundaria. Los resultados revelaron limitaciones en el conocimiento de los estudiantes sobre las Reservas de Biosfera, los humedales y la migración de aves, así como escasas habilidades de identificación de especies de aves. A pesar de tener actitudes ambientales positivas, muchos estudiantes percibieron los esfuerzos de conservación como excesivos y obstáculos para el desarrollo económico. Se sugiere la integración del programa de EA en contextos formales de enseñanza a través de actividades prácticas significativas y la evaluación sistemática de los resultados.

Por último, Kroufek et al. (2023) se centraron en la satisfacción estudiantil en programas de EA al aire libre en la República Checa. Utilizando datos cualitativos y cuantitativos, el estudio identificó estrategias instruccionales cruciales para la satisfacción estudiantil, como un programa claramente definido con actividades significativas, el papel del líder del programa y la oportunidad para que los estudiantes influyan en las actividades durante su tiempo libre en el programa. Se destacó que la satisfacción estudiantil puede verse afectada negativamente por condiciones climáticas desafiantes y por interacciones sociales demandantes con sus compañeros. Estos hallazgos contribuyen al diseño y evaluación de programas de EA al aire libre al identificar factores importantes para la satisfacción estudiantil.

Estas iniciativas demuestran la importancia de la EA y la participación comunitaria en la gestión de contaminantes emergentes. Al empoderar a la comunidad con conocimientos y

habilidades, se promueve una mayor conciencia ambiental y se fomenta la adopción de prácticas responsables que contribuyan a la preservación del medio ambiente.

Prácticas de participación comunitaria

Las prácticas de participación comunitaria en la mitigación de contaminantes emergentes, según Zapien Gómez (2023), se centran en la adopción de enfoques sostenibles, como los principios de química verde, en la síntesis de materiales carbonosos para la remediación ambiental. Estos principios promueven prácticas más seguras y respetuosas con el medio ambiente al utilizar residuos lignocelulósicos para la obtención de biocarbón y sus derivados. Este biocarbón, altamente eficiente en la remediación de agua contaminada, se produce de manera sostenible y puede promover la autorremediación natural del agua y el suelo. Además, la aplicación de prácticas de economía circular en la síntesis y disposición del biocarbón permite maximizar su uso y minimizar su impacto ambiental. La participación comunitaria se destaca como un aspecto clave, involucrando a las comunidades locales en la recolección de biomasa y en la implementación de proyectos de remediación para fortalecer el sentido de apropiación y responsabilidad ambiental.

Por otro lado, Naranjo Contreras (2024) presenta un enfoque innovador y sostenible para abordar la escasez hídrica en zonas rurales de Colombia a través del proyecto "Hidro-Eficiencia Rural". Este proyecto se centra en soluciones de ahorro de agua en el sector residencial, utilizando sistemas descentralizados de gestión de aguas residuales adaptados a entornos rurales. La participación comunitaria se considera esencial para informar a las comunidades sobre la importancia de una gestión adecuada del agua y garantizar la aceptación y sostenibilidad de las soluciones propuestas. Además, se destaca la necesidad de utilizar tecnologías apropiadas y

promover la reutilización de aguas tratadas para fines agrícolas o actividades locales. El apoyo gubernamental y financiero, junto con el monitoreo y cumplimiento de las normativas ambientales, son aspectos clave para el éxito de estos proyectos de gestión de aguas residuales en zonas rurales.

Tanto Zapien Gómez (2023), Naranjo Contreras (2024), enfatizan la importancia de la participación comunitaria en la implementación de prácticas sostenibles para la mitigación de CE y la gestión de aguas residuales en entornos rurales. La educación, la concienciación y el compromiso de las comunidades locales son fundamentales para garantizar el éxito a largo plazo de estos proyectos y promover un desarrollo sostenible en armonía con el medio ambiente.

Las lecciones aprendidas y las mejores prácticas en la implicación de la comunidad se destacan como elementos fundamentales para el éxito de proyectos de gestión ambiental y remediación. Autores como Zapien Gómez (2023) y Naranjo Contreras (2024), resaltan la importancia de la educación, la concienciación y el compromiso de las comunidades locales en la recolección de biomasa, la implementación de proyectos de remediación y la gestión adecuada de aguas residuales. La participación comunitaria no solo fortalece el sentido de apropiación y responsabilidad ambiental, sino que también garantiza la aceptación y sostenibilidad a largo plazo de las soluciones propuestas, promoviendo así un desarrollo sostenible en armonía con el medio ambiente.

Análisis de Políticas Públicas y Legislación

El análisis de las políticas públicas y la legislación existente sobre CE a nivel global revela un creciente reconocimiento de la importancia de la EA como estrategia fundamental para abordar la crisis ambiental. Según el (Ministerio Del Medio Ambiente & Ministerio De

Educación Nacional, 2002), desde la década de 1970, se ha observado una preocupación cada vez mayor a nivel internacional, con una serie de conferencias y encuentros que destacan la necesidad de incluir la dimensión ambiental en la educación formal y no formal.

En Colombia, se han promulgado disposiciones legales como el Código Nacional de los Recursos Naturales y Renovables y de Protección del Medio Ambiente, que establecen la EA como parte del currículo educativo formal desde la década de 1970 (Ministerio Del Medio Ambiente & Ministerio De Educación Nacional, 2002). Sin embargo, estas acciones han sido limitadas en su alcance y enfoque, con un énfasis conservacionista y un impacto limitado en el sistema educativo nacional. A pesar de estos esfuerzos, aún persisten desafíos en la implementación efectiva de la EA a nivel nacional, lo que resalta la necesidad de revisar y fortalecer las políticas y estrategias en este ámbito para abordar de manera integral la crisis ambiental.

En este país, las políticas públicas y la legislación en EA han evolucionado a lo largo del tiempo, reflejando la creciente preocupación por la conservación del medio ambiente y la necesidad de incorporar la dimensión ambiental en la educación formal y no formal. En 1968, se crea elINDERENA (Instituto para el cuidado de los Recursos Naturales Renovables), que ya consideraba acciones para impartir educación en diálogo con el ambiente (Orduz Quijano, 2021). Posteriormente, en 1974, se emite el Decreto 2811, que reglamenta acciones para la educación primaria, secundaria y universitaria en ecología y medio ambiente, así como jornadas ambientales con participación comunitaria (Henao Hueso & Sánchez Arce, 2019).

La Ley 115 de 1994 establece la obligatoriedad de enseñar la protección del ambiente en los niveles preescolar, básico y medio (Henao Hueso & Sánchez Arce, 2019). Esta ley,

enmarcada en la Carta Política de 1991, refleja el compromiso del Estado colombiano con el desarrollo sostenible y la necesidad de educar a la población en esta temática (Henaó Hueso & Sánchez Arce, 2019).

La Política Nacional de Educación Ambiental (1992 – 2007) se enfoca en profundizar el conocimiento de las realidades ambientales colombianas y promover la reflexión y acción permanentes para avanzar hacia un nuevo ethos y una nueva cultura. Se reconoce a la EA como una estrategia fundamental de cambio y se destaca su importancia para la transformación social y la construcción de una nueva cultura en relación con el medio ambiente (Torres Carrasco, 2010).

Recientemente, la Política Nacional de Cambio Climático, busca incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas, con el objetivo de avanzar hacia un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono. Esta política incluye estrategias a largo plazo y ciclos de planificación para abordar los desafíos del cambio climático y aprovechar las oportunidades que este presenta (Murillo & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Las políticas públicas y la legislación en educación ambiental (EA) en Colombia han evolucionado para abordar los desafíos ambientales y promover un desarrollo sostenible, reconociendo la importancia de educar a la población en temas ambientales y fomentar la reflexión y acción en esta área. Como se ha destacado anteriormente son varios los aspectos relevantes sobre las políticas públicas en Colombia en relación con la educación y la gestión ambientales que se deben analizar, uno de estos es la necesidad de una EA integral. Según Rengifo et al. (2012) la importancia de una EA se enfatiza en que esta debe promover cambios en los conocimientos, actitudes, comportamientos y hábitos de la sociedad colombiana. Esta

educación debe considerar a la naturaleza como un elemento activo que responde a las acciones humanas, y debe buscar que la sociedad aprenda a interpretar y analizar las reacciones del entorno natural.

La participación comunitaria en la gestión ambiental es otro aspecto relevante. Los programas de EA deben ser liderados por la comunidad, involucrando a diversos actores en la toma de decisiones integrales sobre el manejo de los recursos naturales Rengifo et al. (2012). Esto resalta la importancia de la participación ciudadana en la planificación y ejecución de acciones ambientales.

El carácter de las políticas públicas según los planteamientos de Alvear-Narváez & Urbano-Pardo (2022) es otro de estos aspectos que se resaltan. Estos investigadores, describen las políticas públicas como expresiones del poder político que se enfocan en construir o mejorar temáticas específicas relevantes para la sociedad, como la EA. Estas políticas se desarrollan a través de procesos de concertación con múltiples actores del Estado, la sociedad civil y agentes privados, evidenciando un enfoque participativo en su elaboración y ejecución.

El marco institucional para la gestión ambiental también es relevante en el análisis de las políticas públicas en la gestión de los Cs. El Ministerio de Ambiente en Colombia, establecido por la Ley 99 de 1993, lidera el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y tiene un papel rector en la política ambiental del país. Las Corporaciones Autónomas Regionales y las de Desarrollo Sostenible también ejercen funciones como autoridades ambientales en diferentes áreas del territorio nacional (Ministerio de Ambiente, 2008).

En medio del análisis de las políticas públicas y legislación en Colombia, se hace necesario resaltar los siguientes hitos históricos asociados con el establecimiento de normativas que han impactado en el desarrollo de acciones asociadas con la gestión ambiental. Los hitos más relevantes son los siguientes:

- **Constitución Política de 1991:** Esta constitución estableció principios y mecanismos para la protección del medioambiente por parte del Estado y la sociedad. Además, condujo a la creación de nuevas entidades y formas de financiamiento para la defensa del medioambiente, lo que permitió adelantar políticas públicas serias dirigidas a la conservación del medioambiente urbano y rural (Leal Hernández & Serrano Rincón, 2015).
- **Ley 99 de 1993:** Esta ley estableció el marco normativo para la gestión ambiental en Colombia. Desde entonces, se han establecido muchas normas referidas al control ambiental en el país, y la gestión legislativa se ha enfocado en políticas ambientales y el cumplimiento de compromisos internacionales para atender los principales retos relacionados con el ambiente y los recursos naturales en todo el territorio nacional (Pérez Vásquez, 2020).
- **Ley 1931 de 2018 (Ley de Acción Climática):** Esta ley establece medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático en Colombia. Entre las metas establecidas se encuentra el uso del 10% del AR tratada para el año 2030, así como el aprovechamiento de subproductos generados en el tratamiento de aguas residuales para la generación de energía y otros usos (ACODAL, 2023).

- **Ley 1549 de 2012:** Esta ley está orientada al fortalecimiento de la institucionalización de la Política Nacional de Educación Ambiental en Colombia. Busca consolidar la política a través de acciones concretas, promoviendo la instalación efectiva de la EA en el desarrollo territorial y nacional (Consejo Nacional Ambiental, 2002).

Estas leyes y disposiciones han marcado hitos importantes en el desarrollo de políticas ambientales y educativas en Colombia, estableciendo un marco normativo para la protección del medioambiente y promoviendo la conciencia ambiental en la sociedad.

A partir de los anteriores análisis realizados a las políticas públicas y legislación tanto globales como nacionales, se presenta análisis de las brechas en la legislación y las propuestas para mejorar la regulación de los CE en Colombia:

Brechas en la legislación

Se presentan como brechas en la legislación, la escasez de información debido a la distribución de CE en el territorio, especialmente en ambientes costeros, carece de información suficiente. La falta de datos dificulta la comprensión completa del panorama de contaminación y la toma de decisiones informadas (Leão Gil et al., 2023).

Otra de las brechas identificadas es la falta de políticas de control. La aparición de contaminantes emergentes que pueden afectar la salud humana y el medio ambiente en concentraciones extremadamente bajas, se ha producido en ausencia de políticas de control basadas en criterios toxicológicos (Leão Gil et al., 2023).

Las limitaciones en la implementación de la EA, también se presentan como otra de las brechas, porque a pesar de la existencia de disposiciones legales que establecen la EA como

parte del currículo educativo formal en Colombia desde la década de 1970, se observa un alcance y enfoque limitados en estas acciones. Aunque se han promulgado leyes y políticas, persisten desafíos en la implementación efectiva de la EA a nivel nacional (Ministerio Del Medio Ambiente & Ministerio De Educación Nacional, 2002).

Existe una necesidad de promover una EA que aborde cambios en los conocimientos, actitudes, comportamientos y hábitos de la sociedad colombiana. Esta educación debe considerar a la naturaleza como un elemento activo que responde a las acciones humanas, y debe fomentar la interpretación y análisis del entorno natural (Rengifo et al., 2012). Por otro lado, aunque se reconoce la importancia de la participación comunitaria en la gestión ambiental, aún hay desafíos en la implementación de programas de EA liderados por la comunidad y en la toma de decisiones integrales sobre el manejo de los recursos naturales (Rengifo et al., 2012).

Propuestas para mejorar la regulación

En Brasil, se sugiere realizar más investigaciones para recopilar datos sobre la presencia y distribución de CE en diversos ambientes, especialmente en áreas costeras. Estos datos serían fundamentales para orientar la formulación de políticas públicas y regulaciones adecuadas (Leão Gil et al., 2023).

En Colombia, se destaca la importancia de la participación de la sociedad en todas las etapas de la formulación e implementación de políticas ambientales. Esto aseguraría que las políticas estén alineadas con las necesidades y prioridades del país, así como con los compromisos internacionales (Baltazar Vargas & Carvajal Medina, 2023).

Tanto en Colombia como en Brasil, se enfatiza la importancia de realizar un seguimiento y monitoreo continuo de las políticas ambientales y de salud pública. Esto permitiría evaluar la efectividad de las estrategias y actividades implementadas y ajustarlas según sea necesario para alcanzar un desarrollo sostenible y equilibrado (Ministerio Del Medio Ambiente & Ministerio De Educación Nacional, 2002).

Es necesario fortalecer y revisar las políticas y estrategias de educación ambiental (EA) para abordar de manera integral la crisis ambiental en Colombia. Esto implica promover una EA que no solo se centre en la conservación, sino que también fomente cambios profundos en los conocimientos, actitudes y comportamientos de la sociedad (Rengifo et al., 2012).

Por otro lado, se debe fomentar una mayor participación de la comunidad en la planificación y ejecución de acciones ambientales, involucrando a diversos actores en la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos naturales. Esto garantizaría una gestión ambiental más inclusiva y efectiva (Rengifo et al., 2012).

Continuar fortaleciendo el marco normativo para la gestión ambiental en Colombia, asegurando que las leyes y disposiciones estén alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible y con los compromisos internacionales en materia ambiental. Esto proporcionaría una base sólida para la protección del medio ambiente y la promoción de una cultura ambiental en la sociedad colombiana (Leal Hernández & Serrano Rincón, 2015) (Pérez Vásquez, 2020).

Para abordar las brechas en la legislación y mejorar la regulación de los CE, es necesario aumentar la investigación y el monitoreo, implementar políticas participativas y realizar una evaluación continua de las políticas existentes. Estas acciones son fundamentales para proteger la

salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos de estos contaminantes. Estos aspectos destacan la importancia de una EA integral, la participación comunitaria en la gestión ambiental, el carácter participativo de las políticas públicas y el marco institucional para la gestión ambiental en Colombia.

Desafíos y Oportunidades en la Gestión de CE

Los desafíos y oportunidades en la gestión de los CE en Colombia pueden resumirse de la siguiente manera:

Desafíos

- **Limitaciones en la implementación de la educación ambiental (EA):** A pesar de la existencia de disposiciones legales que establecen la EA como parte del currículo educativo formal en Colombia desde la década de 1970, se observa un alcance y enfoque limitados en estas acciones. Persisten desafíos en la implementación efectiva de la EA a nivel nacional (Ministerio Del Medio Ambiente & Ministerio De Educación Nacional, 2002).
- **Necesidad de una educación ambiental integral:** Se reconoce la importancia de promover una EA que aborde cambios en los conocimientos, actitudes, comportamientos y hábitos de la sociedad colombiana. Sin embargo, existen desafíos en la implementación de una EA integral que considere a la naturaleza como un elemento activo y fomente la interpretación y análisis del entorno natural (Rengifo et al., 2012).
- **Participación comunitaria:** Aunque se reconoce la importancia de la participación comunitaria en la gestión ambiental, aún hay desafíos en la implementación de programas

de EA liderados por la comunidad y en la toma de decisiones integrales sobre el manejo de los recursos naturales. Esto destaca la necesidad de mejorar la participación ciudadana en la planificación y ejecución de acciones ambientales (Rengifo et al., 2012).

- **Escasez de estudios en América Latina:** En la región latinoamericana, la investigación sobre CE es relativamente reciente y no tiene la misma continuidad y profundidad que en países europeos y del Norte de América. La falta de estudios avanzados se atribuye a limitaciones en recursos financieros, acceso a instrumentos de laboratorio especializados y profesionales capacitados para realizar estos estudios (Peña-Guzmán et al., 2023).
- **Costos de detección y medición:** La detección y medición de CE, que a menudo se encuentran en concentraciones extremadamente bajas (del orden de partes por millón o incluso por billón), requiere equipos de laboratorio costosos y personal altamente especializado. Esto representa un desafío significativo, especialmente en regiones con recursos limitados (Peña-Guzmán et al., 2023).
- **Necesidad de herramientas de identificación y cuantificación:** Es crucial desarrollar herramientas que faciliten la identificación y cuantificación de las fuentes principales de CE. La búsqueda previa de lugares con potencial presencia de estos contaminantes es un primer paso importante para su estudio y eventual mitigación (Peña-Guzmán et al., 2023).

Oportunidades:

- **Educación ambiental integral:** Existe la oportunidad de fortalecer y revisar las políticas y estrategias de EA en Colombia para abordar de manera integral la crisis ambiental.

Promover una EA que no solo se centre en la conservación, sino que también fomente cambios profundos en los conocimientos, actitudes y comportamientos de la sociedad sería una oportunidad para avanzar hacia un desarrollo sostenible (Rengifo et al., 2012).

- **Participación ciudadana:** La participación de la comunidad en la planificación y ejecución de acciones ambientales representa una oportunidad para garantizar una gestión ambiental más inclusiva y efectiva. Involucrar a diversos actores en la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos naturales podría contribuir significativamente a la protección del medio ambiente y a la promoción de una cultura ambiental en la sociedad colombiana (Rengifo et al., 2012).
- **Fortalecimiento del marco normativo:** Continuar fortaleciendo el marco normativo para la gestión ambiental en Colombia proporciona una oportunidad para avanzar hacia un desarrollo sostenible. Asegurar que las leyes y disposiciones estén alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible y con los compromisos internacionales en materia ambiental sería fundamental para garantizar la protección del medio ambiente y la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones (Leal Hernández & Serrano Rincón, 2015).
- **Desarrollo de tecnologías de tratamiento:** Existen oportunidades para desarrollar tecnologías de tratamiento de aguas residuales que puedan eliminar o degradar eficazmente los CE. Modelos como el propuesto por Edison Alexander Agudelo, que combina vermifiltración y oxidación avanzada, representan una alternativa prometedora para reducir la toxicidad de los contaminantes presentes en el AR (Agencia de Noticias UNAL., 2022).

Los desafíos en la gestión de los CE en Colombia incluyen limitaciones en la implementación de la EA, la necesidad de una EA integral y la promoción de la participación comunitaria en la gestión ambiental. Sin embargo, existen oportunidades para fortalecer la EA, mejorar la participación ciudadana y seguir fortaleciendo el marco normativo para avanzar hacia un desarrollo sostenible y garantizar la protección del medio ambiente.

Conclusiones

En conclusión, este estudio ha logrado analizar y comprender las diversas estrategias de gestión ambiental para abordar los CE en el agua a nivel global, con un enfoque en su aplicabilidad en el contexto colombiano. A través de una revisión sistemática de la literatura, se identificaron y evaluaron las prácticas más efectivas y sostenibles en la protección y preservación de los recursos hídricos, considerando la diversidad de tratamientos utilizados y el impacto de la presencia de CE en la calidad del agua. Se destacó la importancia de la EA y la participación comunitaria en la mitigación de la contaminación, así como el desarrollo de tecnologías innovadoras, como el modelo de vermifiltración y oxidación avanzada probado en Medellín, como oportunidades para mejorar la gestión de los CE en Colombia (Agencia de Noticias UNAL., 2022; Peña-Guzmán et al., 2023).

En primer lugar, se identificaron los tratamientos utilizados en diferentes regiones del mundo para el manejo de CE en el agua, lo que proporcionó información sobre su eficacia y viabilidad técnica. Este análisis permitió identificar enfoques innovadores y tecnologías prometedoras que podrían adaptarse al contexto colombiano para mejorar la calidad del agua.

Además, se examinó el impacto de la presencia de CE en la calidad del agua, mediante el análisis de estudios de caso y la recopilación de datos relevantes sobre cambios en la composición y las propiedades del agua. Esta evaluación resaltó la importancia de abordar los CE de manera integral y considerar su impacto en la salud humana y el medio ambiente.

Asimismo, se revisaron las iniciativas de EA y las prácticas de participación comunitaria implementadas para aumentar la conciencia y la acción pública en la mitigación de la contaminación por CE en cuerpos de agua. Este análisis proporcionó ideas sobre la importancia

de involucrar a la sociedad en la protección y preservación de los recursos hídricos, así como lecciones aprendidas y mejores prácticas que podrían aplicarse en Colombia.

En cuanto a las recomendaciones, se sugiere al Estado colombiano fortalecer las políticas y regulaciones relacionadas con la gestión de CE en el agua, garantizando una mayor inversión en investigación y desarrollo de tecnologías de tratamiento de agua. Además, se recomienda promover la EA y la participación comunitaria como herramientas clave para sensibilizar y movilizar a la sociedad en la protección de los recursos hídricos.

A las empresas se les recomienda implementar prácticas de gestión ambiental más sostenibles, reduciendo el uso de productos químicos contaminantes y adoptando tecnologías más limpias en sus procesos de producción. Asimismo, se sugiere colaborar con el Estado y las comunidades locales en la implementación de programas de monitoreo y control de la calidad del agua.

Referencias bibliográficas

- ACODAL. (2023). El agua potable y el saneamiento básico en el nuevo Plan Nacional de Desarrollo. *REVISTA ACODAL*, 257(ISSN-0120-0798).
- Agencia de Noticias UNAL. (2022). *Sistema de tratamiento elimina antibióticos en aguas residuales*.
- Aguayo, E., Gómez, P., Artés-Hernández, F., & Artés, F. (2017). Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV gama: Ozono, agua electrolizada y ácido peracético. *Agrociencia*, 21(1). <https://doi.org/10.31285/agro.21.1.2>
- Alean-Flórez, J. , Márquez-Méndez, D. , Burgos-Núñez, S. , Enamorado-Montes, G. , & Marrugo-Negrete, J. (2021). Productos farmacéuticos y de cuidado personal presentes en aguas superficiales, de consumo humano y residuales en el departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, Vol 12.
- Álvarez Mayona, M. A. (2021). *Análisis De La Ocurrencia De CEs (Glifosato, Paraquat E Ibuprofeno) En Fuentes Superficiales Y En Agua Potable De Cúcuta - Norte De Santander, Y Su Remoción Utilizando Tecnologia De Membranas*. Universidad del Norte.
- Álvarez-Gómez, Y. K., Cruz-González, A. M., & Delgado, D. R. (2023). Evaluation of the use of UV radiation and ozone in the degradation of some sulfonamides. *Revista Colombiana de Ciencias Quimico-Farmaceuticas(Colombia)*, 52(3), 1392–1405.
- Alvear-Narváez, N. L., & Urbano-Pardo, M. L. (2022). educación ambiental en Colombia desde los instrumentos de política pública departamental. *Entramado*, 18(1). <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.8029>

-
- Alves, J. A., Siqueira, A. de P. C., Dores, E. F. G. de O., Bruno, L. C. G. S., & Fantin-Cruz, I. (2022). Presence of emerging and conventional contaminants in water sources in the city of Cuiabá (MT): potential sources and damages. *RBRH*, 27. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220057>
- Baltazar Vargas, J. A., & Carvajal Medina, A. Y. (2023). *Estado de arte de las políticas públicas ambientales en el plan de desarrollo 2020- 2023, en Santiago de Cali*. Institución Universitaria Antonio José Camacho.
- Barreto Rosales, R. (2017). *Contaminantes emergentes*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Baudisch, S. K., Goulart, F. de A. B., Antonelli, J., Azevedo, J. C., & Brauko, K. M. (2022). Emergent contaminants in spring rivers and their relation to the benthic macroinvertebrates. *RBRH*, 27. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220210132>
- Bedoya-Ríos, Lara-Borrero, & Enríquez- Hidalgo. (2018). *OCURRENCIA DE CES EN EL CICLO URBANO DEL AGUA, CASO BOGOTÁ*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Branco, Cárdenas, S. M. M., Serrão, I. C. G., da Cunha, I. R. V., Amado, L. L. b., & Kütter, V. T. (2021). Emerging Contaminants in Brazilian Watersheds and their Potential Effects on Endangered Species. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, o(2), 140–174.
- Bronfman, M., & Gleizer, M. (1994). Participación comunitaria: necesidad, excusa o estrategia? O de qué hablamos cuando hablamos de participación comunitaria. *Cadernos de Saúde Pública*, 10(1), 111–122. <https://doi.org/10.1590/s0102-311x1994000100012>

-
- Camacho Kurmen, J. E., & Lancheros, A. G. (2008). La creación y uso de programas de educación ambiental es un elemento clave para la implementación efectiva de un sistema de gestión ambiental. *Nova*, 6(9), 55–64. <https://doi.org/10.22490/24629448.396>
- Cantero, I. P. (2024). *Estudio de degradación simultánea mediante electrooxidación de tres fármacos: Atenolol, Ibuprofeno y Norfloxacino*.
- Cassetti, V., López-Ruiz, M. V., Gallego-Royo, A., Egea-Ronda, A., Gea-Caballero, V., Aviñó Juan Ulpiano, D., Baraza Cano, M. P., & Romero Rodríguez, E. (2023). Asistir, consultar, involucrar: ¿es necesario redefinir el concepto de participación comunitaria? *Gaceta Sanitaria*, 37, 102344. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2023.102344>
- Checa-Artos, M., Sosa del Castillo, D., Vanegas, M. E., Ruiz-Barzola, O., & Barcos-Arias, M. (2021). Remoción de cinco productos farmacéuticos catalogados como CE's en medio acuoso utilizando la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). *Bionatura*, 6(1), 1478–1485. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.7>
- Chucchucan, K., & Huatay, M. (2017). La educación ambiental y su relación sobre el uso de CE's en la organización reguladora de la calidad ambiental – Cajamarca 2020 [Universidad Privada del Norte]. In *Ucv*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24950>
- Consejo Nacional Ambiental. (2002). *POLÍTICA NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL SINA*.
- Contreras Castañeda, S. E., & Avendaño Ruiz, B. D. (2023). Valoración de percepciones sobre programas de educación ambiental en Tijuana, Baja California, México. *Ciencia Latina*

Revista Científica Multidisciplinar, 7(1), 9402–9420.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5066

Costa Redondo, L. C., Vasco Echeverri, Ó., & Galindo Montero, A. (2022). Una mirada hacia los CEs “microplásticos” en Colombia. *Nuevas Realidades Para La Educación En Ingeniería: Currículo, Tecnología, Medio Ambiente y Desarrollo*.

de Pontes, S. R. S., Guimarães, C. C., Oliver Cornwell, T., & Krelling, A. P. (2022). Perceptions on the effectiveness of environmental education programs as environmental licensing tools for port-related enterprise in Brazil. *Environmental Management*, 70(4), 565–580.
<https://doi.org/10.1007/s00267-022-01682-z>

Díaz, E. M., Criado López, S., & Isaguirre López, A. (2022). Estrategias de educación ambiental para preservar la ciénaga de malambo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 5357–5370. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.3020

Elorriaga, Y., Carriquiriborde, P., & Ronco, A. E. (2012). Contaminantes emergentes: productos farmacéuticos en el medio ambiente. *Productos Farmaceuticos*.

Escobar, A. (2019). Contaminantes emergentes: origen y destino. *Máster Universitario En Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos*.

Falda, L. P., Assunção, E. G., & Kuroda, E. K. (2023). Concepções de biofiltração aplicada ao pré-tratamento de águas de abastecimento para remoção de contaminantes emergentes. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 28. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220220174>

- Florez, J. D. A., Mendez, D. S. M., Nuñez, S. M. B., Enamorado-Montes, G. H., & Negrete, J. L. M. (2021). Presencia de CE's (CE) en los distritos de riego del departamento de Córdoba, Colombia. *Orinoquia*, 25(1). <https://doi.org/10.22579/20112629.686>
- Franco-Zambrano, B. F., Bravo-Sánchez, L. R., & Ruiz-Reyes, E. (2022). DETERMINACIÓN SIMULTÁNEA DE ANTINFLAMATORIOS NO ESTEROIDEOS EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO MEDIANTE HPLC-DAD. *REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA ARBITRADA "YACHASUN,"* 6(10 Edición especial febrero). <https://doi.org/10.46296/yc.v6i10edespfeb.0151>
- Friedrichs, G. F. (2023). *Estudio preliminar de CE's en el Arroyo Morón, Cuenca del Río Reconquista* (1st ed.).
- Garcés, A. J. G., Mena, K. Y. C., Valencia, A. F. A., & Perea, J. J. L. (2023). *Obtención de carbones activados para la eliminación de CE's presentes en aguas a partir de residuos agroindustriales del Chocó*. 1–7. <https://doi.org/10.26507/paper.3338>
- García, J. F. D. (2024). Contaminación del agua en el río Santiago centro-occidente de México. *Voces y Saberes.*, 10, 64–81.
- Gil, M. J., María Soto, A., Usma, J. I., & Darío Gutiérrez, O. (2012). CE's en aguas, efectos y posibles tratamientos . *Producción + Limpia*, Vol.7, 52–73.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments. *Producción + Limpia*, 7(2).

-
- Gil, M. L., Melgaço, S., Cunha, D. L. da, Bila, D. M., & Fonseca, E. M. da. (2023). Emerging contaminants and contamination indicators in Brazilian coastal environments: occurrence, geographic distribution and analytical procedures used. *Pesquisas Em Geociencias*, 50(2), 1–30.
- Goicochea, N. A. C., & Medina, D. L. S. (2023). *Grado de conocimiento de los directores técnicos sobre la eliminación de productos farmacéuticos vencidos y deteriorados en los establecimientos farmacéuticos de la ciudad de Cajamarca, 2023*. 1–79.
- González, E. F. (2023). *Toxicidad de CEs farmacéuticos sobre la microalga modelo Chlamydomonas reinhardtii*. 1–31.
- Gutiérrez, E. R., Gallegos, S. M., Miranda, Ma. G. M., & Illescas, J. (2023). Microplásticos: un nuevo tipo de CE y persistentes. *Materiales Avanzados*, 1(39), 39, 38–59.
- Henao Hueso, O., & Sánchez Arce, L. (2019). La educación ambiental en Colombia, utopía o realidad. *Conrado No.67 Cienfuegos*, vol.15(1990–8644).
- Hernández-Quiroz, M., Ruiz-Meza, D., Rojo-Callejas, F., & Ponce de León-Hill, C. A. (2019). DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CES EN AGUA INTERSTICIAL EN SEDIMENTOS DE HUMEDAL MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 407–419. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.12>
- Hirose Miyabara, M., Schmidt, F., & Célia Bueno da Fonseca, R. (2021). AHP Method: Decision Making for Methodologies for Determining Emerging Contaminants in Surface

Water. *Revista Virtual de Química*, 13(6), 1414–1430. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20210080>

Jacobo-Marín, D., & de León, G. S. (2021). CEs en el agua: Regulación en México, principio precautorio y perspectiva comparada. *Revista de Derecho Ambiental*, 15. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2021.57414>

Jacobo-Marín, D., & Santacruz de León, G. (2021). CEs en el agua: Regulación en México, principio precautorio y perspectiva comparada. *Revista de Derecho Ambiental*, 15, 51. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2021.57414>

Jaimes Arias, L. C. (2020). *PRESENCIA DE CES EN FUENTES HÍDRICAS Y TRATAMIENTOS POTENCIALES PARA SU ELIMINACIÓN*.

Jiménez Cartagena, C. (2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmaceuticos. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(ISSN: 1794-4449), 143–153.

Johnson, B., & Činčera, J. (2023). Relationships between outdoor environmental education program characteristics and children's environmental values and behaviors. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning*, 23(2), 184–201. <https://doi.org/10.1080/14729679.2021.2001756>

Kabassi, K. (2021). Comparing multi-criteria decision making models for evaluating environmental education programs. *Sustainability (Switzerland)*, 13(20). <https://doi.org/10.3390/su132011220>

-
- Kroufek, R., Cincera, J., Kolenaty, M., Zalesak, J., & Johnson, B. (2023). “I had a spider in my mouth”: What makes students happy in outdoor environmental education programs. *Evaluation and Program Planning*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2023.102326>
- LEAL HERNÁNDEZ, A., & SERRANO RINCÓN, L. E. (2015). La política ambiental en Colombia: logros obtenidos y problemas a superar. *REVISTA VIS IURIS*, Vol. 2, 57–67.
- Leão Gil, M., Melgaço, S., Lima da Cunha, D., Maia Bila, D., & Monteiro da Fonseca, E. (2023). CEs e indicadores de contaminação em ambientes costeiros brasileiros: ocorrência, distribuição geográfica e procedimentos analíticos utilizados. *Pesquisas Em Geociências*, 50(2), E131523. , 50.
- López de Parra, L., Balanta Martínez, V. J., & Vargas Losada, H. F. (2022). Representaciones sociales acerca del ecoturismo comunitario, problemas ambientales y relaciones con educación ambiental. *Revista Environment & Technology*, 3(1), 63–82. <https://doi.org/10.56205/ret.3-1.5>
- Lugo, J. L., & Lugo, E. R. (2018). Beneficios socio ambientales por potabilización del agua en los pueblos palafíticos de la ciénaga grande de Santa Marta-Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.685>
- Martínez, M. A. (2023). *Desarrollo de nuevos métodos analíticos para la extracción, preconcentración y determinación de CEs en muestras ambientales*. 1–141.

- Martínez-Alcalá, I., Soto, J., & Lahora, A. (2020). Antibiotics as emerging pollutants. Ecotoxicological risk and control in wastewater and reclaimed water. *Ecosistemas*, 29(3).
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2070>
- Mejía-Cáceres, M. A., Andrade, C., & Freire, L. M. (2020). Formación inicial de profesores en ciencias: un análisis del discurso de los programas de educación ambiental de una licenciatura colombiana. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de Las Ciencias*, 15(3), 477–492. <https://doi.org/10.14483/23464712.14688>
- Melgarejo-Moreno, J., & López-Ortiz, M. ^a I. (2016a). Depuración y reutilización de aguas en España. *Agua y Territorio*, 8, 22–35. <https://doi.org/10.17561/at.v0i8.3293>
- Melgarejo-Moreno, J., & López-Ortiz, M. ^a I. (2016b). Depuración y reutilización de aguas en España. *Agua y Territorio*, 8, 22–35. <https://doi.org/10.17561/at.v0i8.3293>
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2008). *Política de Gestión Ambiental Urbana*.
- Ministerio de Educación Nacional. (2005). *Educación Ambiental Construir educación y país*.
<https://www.mineducacion.gov.co/1621/Article-90891.html>.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, & MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. (2002). *POLITICA NACIONAL DE EDUCACION AMBIENTAL SINA*.
- Montagner, C. C., Vidal, C., & Acayaba, R. (2017). CEs em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. *Química Nova*.
<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>

-
- Mora Cabrera, K. V., Trapote Jaume, A., & Prats Rico, D. (2020). UASB +SMEBR HYBRID PILOT PLANT OPERATION FOR EMERGING CONTAMINANT REMOVAL. *Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering*, 1385–1397.
- Morúa, A. (2010). La participación comunitaria en la gestión ambiental. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*, 16(2), 125–135.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17731129008>
- Murillo, L. G., & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *POLÍTICA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO* (Puntoaparte, Ed.).
- Naranjo Contreras, B. E. (2024). *Recuperación de aguas lluvias y residuales para su utilización en la zona rural de San Antonio de Tequendama*. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Administración de Empresas, Bogotá. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/54979>
- Nascimento, L. X., Araújo, R. T., & Alvarez, L. D. G. (2015). Contaminantes Orgánicos Emergentes : Impactos y Soluciones para la Salud Humana y el Medio Ambiente. *RECyT*, 17(24).
- Nudel, E. N., Olmos, G. V, Devard, A., Marchesini, F. A., Capital, S. F., Fe, S., Capital, S. F., & Fe, S. (2020). Desarrollo de catalizadores de cobre soportados sobre esferas de celulosa para eliminar CEs en agua. *Rumbos Tecnológicos*, 12.
- Ocampo-Rodríguez, D. B., Vázquez-Rodríguez, G. A., Martínez-Hernández, S., Iturbe-Acosta, U., & Coronel-Olivares, C. (2022). Desinfección del agua: una revisión a los tratamientos

- convencionales y avanzados con cloro y ácido peracético. *Ingeniería Del Agua*, 26(3).
<https://doi.org/10.4995/ia.2022.17651>
- Ordúz Quijano, M. (2021). POLÍTICA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL EN COLOMBIA: ANÁLISIS DESDE LA FORMACIÓN DOCENTE Y LA CRISIS AMBIENTAL. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*.
- Oropesa A.L, Moreno J.J., & Gómez L.J. (2017). Histopathological lesions in fish caused by exposure to emerging pollutants: Collecting and analysing data. *Revista de Toxicología*, 34(2), 99–108.
- Ortega, A., & Rodríguez, N. (2021). Ciencia e Ingeniería Neogranadina Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales*. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 31.
- Ortega Pujol, Y., & Brito Montero, A. (2016). Participación comunitaria para la educación ambiental: estrategia para el sector empresarial del Consejo Popular Sur de San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. *Entorno Geográfico*, 12. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i12.3549>
- Ortega-Lasuen, U., Pedrera, O., Telletxea, E., Barrutia, O., & Díez, J. R. (2023). Secondary Students' Knowledge on Birds and Attitudes towards Conservation: Evaluation of an Environmental Education Program. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph20105769>
- P, G. P. D., Sonora, I. T. De, Sur, D. F., Centro, C., & Obregón, C. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción Emerging contaminants : effects and removal treatments. *Revista Química Viva*, 10.

-
- Pachón, D. M. (2018). *Sistemas Electro-Fenton y Foto Electro-Fenton como métodos de eliminación de CE's presentes en aguas residuales*. 1–148.
- Padilla Pino, Y. M. (2020). *DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS Y CES (PPCPS) EN PECES Y AGUAS DEL GOLFO DE URABÁ COLOMBIA*. Universidad de Antioquia.
- Peña-Guzmán, C., Rodríguez, E., Sanchez, F., Rodríguez-Pinzón, M., & Sanabria, M. (2024). Plugin CE una herramienta computacional para la determinación de CE's por sectores productivos: caso de estudio para la ciudad de Bogotá-Colombia. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 15(3), 289–348. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2024-03-07>
- Peña-Guzmán, C., Rodríguez, E., Sanchez, F., Rodríguez-Pinzón, M., & Zanabria, M. (2023). Plugin CE una herramienta computacional para la determinación de CE's por sectores productivos: Caso de estudio para la ciudad de Bogotá-Colombia. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 01–57. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-3-10>
- Pérez Vásquez, M. A. (2020). Retos de la política ambiental colombiana frente a los desafíos de la OCDE y los ODS. *Análisis Político*, 33(99), 101–120. <https://doi.org/10.15446/anpol.v33n99.90970>
- Pita-Morales, L. A. (2016). Línea de tiempo: educación ambiental en Colombia. *Praxis*, 12, 118. <https://doi.org/10.21676/23897856.1853>
- Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. (2020). *CES FARMACÉUTICOS*. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

-
- Polo-Garzón, C., & Villa Velasco, C. C. (2021). Procesos de ciudad y participación comunitaria. Una mirada a través de casos de estudio. *Equidad y Desarrollo*, 1(37), 99–121.
<https://doi.org/10.19052/eq.vol1.iss37.5>
- Prats, D. (2023). *Los CEs en la reforma de la directiva de aguas residuales*.
- Prosser, G., Bonilla, N., Pérez, M., Prosser, C., & Rojas Andrade, R. M. (2019). No basta con la semilla, se ha de acompañar al árbol Importancia del contexto de implementación en los programas de Educación ambiental. *Revista Colombiana de Educación*, 1(78).
<https://doi.org/10.17227/rce.num78-9322>
- Ramírez-Cando, L. J., Ramírez, S. E. C., López, A. D. R., & Álvarez, C. I. (2019). Detección de antibióticos betalactámicos, tetraciclinas y sulfamidas como CEs en los ríos San Pedro y Pita del cantón Rumiñahui. *La Granja*, 30(2). <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.08>
- Ramírez-Sánchez, I. M., Martínez-Austria, P., Quiroz-Alfaro, M. A., & Bandala, E. R. (2015). Effects of estrogens, as emerging pollutants, on health and the environment. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(5), 31–42.
- Rendón López, L. M., Escobar Londoño, J. V., Arango Ruiz, Á. de J., Molina Benítez, J. A., Villamil Parodi, T., & Valencia Montaña, D. F. (2018). Educación para el desarrollo sostenible: acercamientos desde una perspectiva colombiana. *Producción + Limpia*, 13(2), 133–149. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n2a7>
- Rengifo Rengifo, B. A., Quitiaquez Segura, L., & Mora Córdoba, F. J. (2012). *La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia*. Universidad de Nariño.

Robledo Zacarías, V. H., Velázquez Machuca, M. A., Montañez Soto, J. L., Pimentel Equihua, J.

L., Vallejo Cardona, A. A., López Calvillo, M. D., & Venegas González, J. (2017).

HIDROQUÍMICA Y CES EN AGUAS RESIDUALES URBANO INDUSTRIALES DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 221–235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>

Ambiental, 33(2), 221–235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>

Roldán Pérez, G. (2021). La calidad del agua en Colombia: causas del deterioro y medidas de mitigación.

<https://Rdigitales.Uptc.Edu.Co/Memorias/Index.Php/Geomatica/Geomatica/Paper/View/3512>. <https://repositorio.uptc.edu.co//handle/001/4975>

Rubio Clemente, A., Chica Arrieta, E. L., & Peñuela Mesa, G. A. (2013). Wastewater treatment processes for the removal of emerging organic pollutants. *Ambiente e Agua - An*

Interdisciplinary Journal of Applied Science, 8(3). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1176>

Sanabria, H. A. M., & Montagut, J. C. (2023). Impacto de los CE en el entorno acuático y los tratamientos para el control y remoción en los cuerpos hídricos. Revisión literaria.

Ingeniería y Competitividad, 25(3). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.12551>

Sánchez, D. S., Pérez, A. L., Andreu, P. S., Soler, M. A., Muñoz, M. I. G., & Fernández, F. G.

(2021). Ácido peracético como alternativa para una efectiva desinfección de aguas residuales en EDAR. *TecnoAqua*, 47.

Sandoval, J. A., Morales Granados, M. A., & Rubio, D. (2020). Breve revisión del uso de microalgas para la remoción de CE en aguas residuales. *Gestión y Ambiente*, 23(1).

<https://doi.org/10.15446/ga.v23n1.84034>

- Serna, T., Gabaldón, J., Martínez, S., Morte, A., Amorós, Ó., Cosma, P., & Fini, P. (2018). Validación De Materiales Adsorbentes Y Técnicas De Oxidación Avanzada Para Eliminar CEs En Aguas. *CONAMA 2018 CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE*.
- Serra Martins, J. R., & Montagner, C. C. (2018). From Prehistoric Predators to Current Emerging Contaminants: A History of Threats to Humanity. *Revista Virtual de Química*, 10(6), 1719–1732. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180115>
- Silva, I. S., Cunha-Saraiva, F., Ribeiro, A. S., & Bártolo, A. (2023). Exploring the Acceptability of an Environmental Education Program for Youth in Rural Areas: ECOCIDADANIA Project. *Education Sciences*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/educsci13100982>
- Silva, R. F., Silva, G. L., Silva, P. T. S., & Silva, V. L. (2016). Identification and Quantification of Emerging Contaminants in Sewage Treatment Plants. *Revista Virtual de Química*, 8. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20160053>
- Silveira, M. A. K., Caldas, S. S., Guilherme, J. R., Costa, F. P., Guimarães, B. de S., Cerqueira, M. B. R., Soares, B. M., & Primel, E. G. (2013). Quantification of Pharmaceuticals and Personal Care Product Residues in Surface and Drinking Water Samples by SPE and LC-ESI-MS/MS. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 24(9), 1385–1395. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20130176>
- Torres, A., Rodríguez, H. A., & Ayala, M. (2023). CEs en México. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 26(ISSN 2395-8723), 1–20.

-
- TORRES CARRASCO, M. (2010). *La educacion ambiental en Colombia: “un contexto de transformacion social y un proceso de participacion en construccion, a la luz del fortalecimiento de la reflexion - accion.”*
- Trapote-Jaume, A. (2016). Tecnologías de depuración y reutilización: nuevos enfoques. *Agua y Territorio*, 8. <https://doi.org/10.17561/at.v0i8.3295>
- Tróchez Ríos, E. (2022). Reflexiones críticas sobre la formación en educación cívica ambiental. ¿Se puede realmente formar a estudiantes para una ciudadanía comprometida? *Revista Científica Observatorio Del Conocimiento*, 5, 47–71. <https://doi.org/10.51862/obsknow.n5a4>
- Urbina, J. A. J., & Solano, J. A. V. (2020). Los CEs de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. *Informador Técnico*, 84(2). <https://doi.org/10.23850/22565035.2305>
- Usma, J. I., Gutiérrez, O. D., Gil, M. J., & Soto, A. M. (2013). CEs en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción Más Limpia*, 7(2).
- UNESCO. (2021). UNESCO. Obtenido de <https://www.unesco.org/es/sustainable-development/education>
- Vallés Ferrer, I., Arques, A., Amat, A., & Santos-Juanes, L. (2021). USE OF PHENOLIC CATHECOL FOR CIRCUMNEUTRAL PH PHOTO-FENTON TREATMENT OF

EMERGING CONCERN POLLUTANTS. *Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering*, 1097–1111.

Vázquez, L. R. (2023). *Avances en la degradación fotocatalítica de los CE's halogenados: s-metolacoloro y ácido perfluorooctanoico*. 1–144.

Vélez, V. P. P., Esquivel-Hernández, G., Cipriani-Avila, I., Mora-Abril, E., Cisneros, J. F., Alvarado, A., & Abril-Ulloa, V. (2019). Emerging Contaminants in Trans-American Waters. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14(6), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2436>

W. M. das Chagas, F., B. P. Mangas, M., & G. da Silva, J. (2023). Determination of Emerging Contaminants in Water Samples in Brazil by Voltammetric Techniques: A Literature Review. *Revista Virtual de Química*, 15(1), 92–121. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220100>

Zamora, I. G. (2023). *Determinación de CE's en aguas superficiales*. 1–50.

Zapien Gómez, J. (2023). Principios de química verde aplicados a la síntesis de materiales carbonosos para su uso en remediación ambiental. *Revista Jóvenes En La Ciencia*, 16(ISSN 2395-9797).

Zuñiga-Benitez, H., Peñuela-Mesa, G. A., Gosgot, W., Paredes, I. B. M., Materu, L., El, M., Foto, P., Utilizando, F., Colector, U., Alejandro, M., Shek, H., Ruidio, M. M., Suárez, S., & García, N. M. (2021). Degradación de CE's mediante TiO₂ inmovilizado e irradiación solar. *Afinidad*, 76(166).

