



Universidad **Mariana**

Contaminación por microplásticos en el contexto latinoamericano: Una revisión sistemática.

Christian Camilo Belalcazar Sarasty

Universidad Mariana
Facultad Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2024

Contaminación por microplásticos en el contexto latinoamericano: Una revisión sistemática.

Christian Camilo Belalcazar Sarasty

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Ambiental

Asesor: Francisco Javier Caicedo Messa

Universidad Mariana
Facultad Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Con profunda estima y reconocimiento, extiendo mi más sincera gratitud a mi asesor de tesis. Su dedicación docente y su inestimable guía han sido pilares fundamentales en la dirección de esta investigación.

Expreso mi agradecimiento a mis abuelos, por su dedicación incansable dentro de mi formación académica, quienes con su infaltable apoyo demostraron ser una motivación más, dentro de esta investigación y culminación de mi carrera. Este logro no habría sido posible sin su respaldo, gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí.

A mis padres y familia, mi reconocimiento por compartir desde el inicio de mi formación, hasta la culminación de este proyecto.

Mi más sincero reconocimiento y gratitud a mi novia, por su amor, apoyo y comprensión durante todo el proceso de este trabajo de grado. Tu paciencia y entusiasmo han sido una fuente constante de fortaleza y motivación en los momentos más desafiantes.

Por último y no menos importante, agradezco profundamente a mis amigos por las numerosas horas que pasamos juntos, las conversaciones inspiradoras, y el ánimo que me brindaron cuando más lo necesitaba. Su amistad ha sido fundamental para mantenerme enfocado y positivo a lo largo de esta travesía académica.

Dedicatoria

A mis abuelos,

Quienes han sido un pilar inquebrantable. Su apoyo constante ya sea moral, físico y económico, ha sido luz en mi camino. Gracias por cada palabra de aliento y por estar siempre a mi lado, sin su amor y dedicación no habría llegado hasta aquí.

A mí mismo,

Por el esfuerzo, la dedicación y la constancia que he invertido en cada paso de este viaje. Aunque muchos no comprendan las batallas que he enfrentado, sé que cada sacrificio a valido la pena. Esta es una de mis tantas victorias.

Christian Belalcazar

Contenido

1. Resumen del proyecto	8
1.1. Introducción	9
1.2. Justificación y Planteamiento del problema.....	10
1.2.1. Justificación	10
1.2.2. Planteamiento del problema	11
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Materiales y Métodos	12
1.4.1. Descripción de metodologías.....	12
1.4.2. Análisis bibliométrico.....	13
1.4.3. Línea de investigación y área temática.....	13
2. Resultados y discusión	14
2.1. Análisis y discusión del primer objetivo.....	14
2.2. Análisis y discusión del segundo objetivo	20
2.3. Análisis y discusión del tercer objetivo	23
3. Conclusiones	25
4. Recomendaciones.....	26
5. Referencias bibliográficas	27

Índice de Tablas

Tabla 1. Búsqueda literaria.....	15
Tabla 2. Revisión literaria.....	16
Tabla 3. Alternativas de tratamiento para microplásticos.....	20

1. Resumen del proyecto

El presente proyecto muestra, mediante una revisión bibliográfica, los microplásticos, identificados en zonas costeras y playas, producto de actividad humana y corrientes de cuerpos de agua como lo indica Barboza y Gimenes, 2018, observando que los tipos mas comunes de estas micropartículas son las fibras, fragmentos y películas, provenientes de la degradación de plásticos mas grandes y textiles sintéticos (Sánchez et al., 2021; Galgani et al., 2015). Escalando así hasta la ingestión de estas partículas, que afecta el metabolismo de organismos acuáticos, provocando problemas de salud que pueden escalar en la cadena trófica (Andrary, 2017).

La contaminación por microplásticos es un fenómeno global, y Latinoamérica no es la excepción, ya que los niveles de hallazgo son similares a otras regiones en el mundo (Rangel et al., 2021), sin embargo, la regulación es limitada en América Latina; a diferencia de Europa y Asia donde existen directivas para mitigar su impacto (Infobae, 2018).

Las alternativas de tratamiento, principalmente desarrolladas en Europa y Asia, demuestran un avance en las tecnologías para la eliminación de microplásticos, como la electrocoagulación (Pelaez, 2020), que han demostrado niveles altos de remoción de estas micro partículas. A diferencia de la región latinoamericana que demuestra carencias en implementación de alternativas para la eliminación de este contaminante emergente, haciendo énfasis en la falta de infraestructura, economía y educación ambiental.

1.1. Introducción

El desarrollo del plástico como un material versátil desde el siglo XIX, ha favorecido su incorporación en diferentes procesos industriales y en la elaboración de variedad de productos que proporcionan comodidades en la actualidad (Molina, 2019). Sin embargo, solo el 21% del plástico mundial (más de 368 millones de toneladas en 2019) se ha reciclado o incinerado y el 79% restante se descarta como residuo en el medio ambiente, situación preocupante debido a su durabilidad, así como, a la fragmentación continua de estos residuos hasta alcanzar una escala microscópica (Wu et al., 2022).

La contaminación por plásticos es entendida como su introducción a un ecosistema afectando el equilibrio de este, posicionándola como una problemática ambiental de preocupación mundial (Molina, 2019). Gracias a su fácil transporte, estos materiales han sido detectados desde áreas cercanas a grandes ciudades hasta lugares remotos como la Antártida o la superficie marina mezclados con sedimentos e incluso en tejidos de gran variedad de organismos acuáticos (UNEP, 2016; A. Andrary., 2017). En términos generales, es posible categorizar los desechos plásticos en función de su tamaño en dos grupos principales: macroplásticos (< 1 m) y microplásticos (≤ 5 mm). Los últimos, surgen de la desintegración de objetos plásticos de mayor tamaño debido a factores como la abrasión o la influencia de corrientes y vientos; sin embargo, también se originan directamente durante la fabricación de productos, ya que se emplean en artículos de limpieza y cosméticos (GESAMP, 2015).

Estos diminutos elementos llegan principalmente al mar debido a la disposición inadecuada de residuos y al vertido de aguas residuales directamente en áreas costeras (GESAMP, 2015). La gestión de los microplásticos resulta particularmente desafiante por factores como su identificación, por lo que se presume que su consumo por parte en las comunidades es elevado (Carrillo, 2019). Algunos estudios como lo señala Andrary (2017), en la ingesta de microplásticos se ve alterado el metabolismo de organismos, sobre todo en ecosistemas acuáticos. Esta preocupación no solo se deriva de sus reducidas dimensiones, sino también de los polímeros y aditivos que constituyen su composición. (Andrary, 2017).

Por otra parte, a nivel de efectos en salud, Calderon y Hansen (2019) en su estudio, investigaron la presencia de microplásticos en el tracto digestivo de 140 peces capturados en el estuario de La Ciénaga Grande de Santa Marta en el norte de Colombia, estudio que se complementa con el de García (2020), quien enfatiza en que los nanoplásticos pueden generar alteraciones en los procesos morfológicos, fisiológicos, metabólicos, de absorción y comportamiento de los organismos, lo que a su vez desencadena repercusiones a nivel celular como ecosistémico.

Frente a este panorama, es de relevancia para los Gobiernos, para la academia y la ciudadanía en general, conocer, investigar y promover políticas de gobierno que permitan en primera instancia conocer no solo sobre el impacto del plástico en un ecosistema, sino también sobre los 5 mm del mismo que son los microplásticos, casi inidentificables para la cotidianidad, pero que están generando consecuencias en la vida de los seres humanos. (Garcés et al. 2019). Es indispensable iniciativas de normatización, de controles de los plásticos en su reutilización o ciclo de vida útil, pero también otros escenarios como la tecnología de absorción o retención de estos microplásticos en procesos de tratamiento de agua, como lo viene trabajando la ECHA (2019) de Unión europea quien ha dado el primer paso para prohibir los microplásticos que se añaden a cosméticos, detergentes, pinturas, medicamentos entre otros., en la medida que entre 10 y 60 mil toneladas de microplásticos son añadidos a estos productos comerciales.

1.2. Justificación y Planteamiento del problema

1.2.1. Justificación

Los microplásticos son partículas cuyo tamaño no supera los 5 mm o 1/5 de pulgada. Estos incluyen fragmentos derivados de la descomposición de plásticos más grandes, hechos de polietileno (bolsas plásticas y botellas), poliestireno (contenedores de alimentos), nylon, polipropileno (telas) o cloruro de polivinilo (tuberías plásticas). También se incluyen las micro esferas utilizadas en la fabricación de almohadas blandas, juguetes y productos de cuidado personal (pasta dental) que tienen como función, aportar brillo, color o actuar como un material de relleno (Sarrilla y Gallo, 2016). Según estudios publicados por Orb Media (2010), afirma que ocho de cada diez muestras

recolectadas en áreas de captación superficial de la red de agua potable, tomadas en 159 ciudades de todo el mundo, incluyendo localidades de América del Norte, Europa y Asia, revelaron un alto porcentaje de microplásticos, por lo que no hay muchas estrategias para el control de la remoción de este contaminante emergente, esto lo hace un estudio pertinente, en la medida que se investiga para promover cambios y transformaciones que, en este caso se involucra la calidad y protección de la vida no solo mariana, sino a futuro la humana. De otra parte, la revisión documental, permitirá la reflexión académica, con impacto social y ambiental, respecto a un tema que está en auge como los efectos de los microplásticos, además de su regularización y normatividad, aspecto que destaca en Latinoamérica, por su ausencia de normas en ciertas matrices ambientales, a diferencia de Europa, como por ejemplo, el Reglamento de la Unión Europea (2011) n.º 1007 sobre biocidas, el cual prohíbe el uso de determinados biocidas que liberan microplásticos en el medio ambiente. Finalmente, la monografía se justifica en la revisión de un tema con escasos estudios de revisión enfocados en microplásticos, en especial en América Latina. Además, que esta problemática por su gravedad requiere una constante actualización en sus avances y tecnologías más prominentes de remisión y control netamente a microplásticos.

1.2.2. Planteamiento del problema

La contaminación de microplásticos en Latinoamérica plantea una preocupación tanto ambiental como de salud pública. Estos diminutos fragmentos de plástico tienen la capacidad de infiltrarse en la cadena alimentaria, ocasionando daños a los seres vivos, además de liberar sustancias químicas perjudiciales que pueden tener repercusiones en la salud humana (Bossa, 2020). Este fenómeno de la contaminación microplástica no es exclusivo de la región latinoamericana, ya que es un problema global en constante aumento. Se ha identificado la presencia de microplásticos en diversos entornos, incluyendo agua, aire, suelo y la fauna silvestre, resaltando la necesidad de abordar este desafío ambiental y de salud de manera integral. (García et al., 2022). Según Mora (2022) en los últimos años, la proliferación de la contaminación por microplásticos en Latinoamérica ha experimentado un aumento significativo, y esto se atribuye a diversos factores. Entre ellos, destacan el incremento en el consumo de productos plásticos, la carencia de una infraestructura adecuada para la gestión de residuos y la contaminación tanto del aire como del agua.

Se debe tener en cuenta que en Latinoamérica no hay países que cuenten con normativas vigentes frente a la regulación de microplásticos. En Europa, la contaminación por microplásticos es un problema reconocido, ya que la Unión Europea (2022) ha adoptado medidas para abordar este problema, como, por ejemplo, la reducción del uso de plásticos de un solo uso y la prohibición de productos que contienen microesferas plásticas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar el estado del arte actual de la contaminación por microplásticos en el contexto latinoamericano en pro de contribuir al entendimiento y la búsqueda de soluciones efectivas ante esta problemática ambiental.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los estudios asociados a la distribución de microplásticos en diversas matrices ambientales de América Latina considerando su morfología.
- Investigar las tecnologías emergentes que han sido utilizadas para el tratamiento de microplásticos en contextos específicos de la región.
- Identificar los principales desafíos en la región relacionados a la gestión adecuada de la contaminación por microplásticos.

1.4. Materiales y Métodos

1.4.1. Descripción de metodologías

Para el desarrollo de esta monografía se llevará a cabo una investigación documental que se encargará de recolectar y elegir la información a través de la lectura de documentos, libros, revistas, grabaciones, filmaciones, periódicos, bibliografías, etc. Baena (1985); a través de una revisión sistemática recopilando datos y referencias del tema de interés planteado, con un enfoque

explicativo que permita entender el impacto ambiental que genera la contaminación por microplásticos, empleando información de carácter cualitativo/cuantitativo en bases de datos como Scopus, Web of Science, Scielo y Pubmed, bajo los siguiente criterios de inclusión: estudios que hayan sido realizado en un país de Latinoamérica, publicados a partir del 2010 y que se relacionen con Microplásticos en general o algún tipo de plástico en particular.

La "Revisión Sistemática" implica la recopilación y síntesis exhaustiva de estudios previos relacionados con un tema específico para identificar tendencias, patrones y conclusiones generales.

Se va a utilizar la metodología PRISMA en ayuda de entender a los autores de revisiones sistemáticas a documentar de manera transparente del porqué de la revisión qué hicieron, a los autores y qué encontraron. (Page et al., 2020) Este tipo de investigación es de naturaleza documental e informativa, lo que facilita la identificación y presentación de los datos más relevantes sobre un tema específico. En este caso, la información se obtendrá de diversas fuentes, sin que sea necesario que estén previamente aprobados.

1.4.2. Análisis bibliométrico

Para realizar el análisis y la síntesis de información bibliográfica sobre el tema, se empleó el software Zotero. Este software fue utilizado para recopilar y organizar los datos obtenidos de distintos buscadores académicos, como “PubMed”, “Scielo”, “Scopus” y “Web of Science”. Zotero facilitó el proceso de referencias bibliográficas, permitiendo la extracción sistemática de información relevante para la elaboración de la monografía. La utilización de este software contribuyó a optimizar el proceso de investigación al permitir la recolección y el análisis de datos de manera estructurada y organizada.

1.4.3. Línea de investigación y área temática

La presente investigación se sitúa en el marco de la línea de investigación ambiental debido a su enfoque en un problema actual de relevancia global que afecta directamente a los ecosistemas y la salud humana. Al abordar el tema de la contaminación por microplásticos en América Latina, esta

investigación se inserta en el eje temático del diagnóstico ambiental al analizar el estado del arte, para entender así la magnitud del problema, así como el de sus impactos, a través de una revisión sistemática, que busca recopilar información de relevancia para proporcionar una visión clara y actualizada de esta problemática en la región latinoamericana.

2. Resultados y discusión

2.1. Análisis y discusión del primer objetivo

- Caracterizar los estudios asociados a la distribución de microplásticos en diversas matrices ambientales de América Latina considerando su morfología.

Para llevar a cabo el desarrollo de los objetivos, es necesario realizar una revisión literaria correspondiente a dicha problemática, permitiendo así, evaluar y analizar conceptos, teorías y enfoques relacionados a el tema a tratar.

El levantamiento de dicha información se realizó mediante cuatro fuentes de búsqueda como Scopus, Web of Science, Scielo y Pubmed, para los cuales se utilizaron palabras claves en inglés y en español como “Microplastics” AND "Argentina" OR "Bolivia" OR "Brazil" OR "Chile" OR "Colombia" OR "Costa Rica" OR "Cuba" OR "Ecuador" OR "El Salvador" OR "French Guiana" OR "Grenada" OR "Guatemala" OR "Guyana" OR "Haiti" OR "Honduras" OR "Jamaica" OR "Mexico" OR "Nicaragua" OR "Paraguay" OR "Panama" OR "Peru" OR "Puerto Rico" OR "Dominican Republic" OR "Suriname" OR "Uruguay" OR "Venezuela" y “Microplastics” AND “Latin America”, de los cuales se obtuvo un número relevante de artículos, permitiendo así, descargar en esta información en formatos tipo RIS y BIBTEX, que con ayuda del software Zotero, se obtuvo un formato documento, haciendo una depuración de artículos repetidos y que no cumplieran con las palabras claves anteriormente mencionadas.

Esta información arrojada por el software Zotero, permite la identificación de título, abstract, resume, autores, objetivo, año y palabras claves, la cual fue de alta relevancia para poder escoger los artículos a utilizar para desarrollar los objetivos planteados.

Tabla 1*Búsqueda literaria*

Idioma	Palabras clave	Fuente	Número de Artículos
Inglés	"Microplastics" AND "Argentina" OR "Bolivia" OR "Brazil" OR "Chile" OR "Colombia" OR "Costa Rica" OR "Cuba" OR "Ecuador" OR "El Salvador" OR "French Guiana" ...	SCOPUS	412
		WEB OF SCIENCE	194
		SCIELO	0
		PUBMED	215
Español	"Microplasticos" AND "Argentina" OR "Bolivia" OR "Brasil" OR "Chile" OR "Colombia" OR "Costa Rica" OR "Cuba" OR "Ecuador" OR "El Salvador" OR "Guayana Francesa"...	SCOPUS	23
		WEB OF SCIENCE	0
		SCIELO	31
		PUBMED	0
TOTAL			875

En el proceso de la revisión bibliográfica, se identificaron 875 artículos provenientes de diversas fuentes de búsqueda (Tabla 1). Sin embargo, solo se seleccionaron aquellos estudios que proporcionaban datos cuantitativos sobre las concentraciones de microplásticos y alternativas de tratamiento para estos contaminantes, ya que estos enfoques permiten un análisis más preciso y

orientado hacia el desarrollo de soluciones prácticas. Esta selección rigurosa resultó en un conjunto final de 50 artículos científicos y publicaciones de revistas especializadas para el desarrollo de los 3 objetivos presentes en la investigación.

La revisión de diversas investigaciones existentes (fuentes secundarias), permitió integrar las perspectivas de varios autores referentes al tema, esto brindó una idea sobre el tema de los microplásticos, un área con poca información, especialmente en América Latina, llevando así un análisis comparativo de estos estudios permitió establecer conexiones entre ellos, examinar las preguntas y objetivos de investigación planteados por otros autores, analizar las metodologías utilizadas e identificar similitudes y diferencias entre los enfoques de los estudios examinados.

Tabla 2

Revisión literaria

Tipo de MP	Concentración de MP	Método de hallazgo	Autor
Películas, Fragmentos, Fibras y pellets	Películas (25,9%), Fragmentos (22,2%), Fibras (14,8%) y Pellets (11,1%).	Rayos X de energía dispersiva.	Sánchez-Luna, M. S et al., 2021.
Fibras y fragmentos	Fibras (93,3%) y Fragmentos (6,7%).	Espectrometría μ -FTIR-ATR	Lozano Hernández, E. A et al., 2021.
Fibras	Concentraciones promedio ($9,27 \pm 7,10$).	Microscopía óptica μ FTIR.	Martínez-Tabera, E et al., 2021.
Fragmentos y fibras	Polietileno, polipropileno con un 27 y 30% en todas las muestras.	No registra	Andrady, A. 2017.

Fibras	Densidades entre 557 y 2457 (promedio: MP/kg). 1109 MP/kg).	Agrupaciones jerárquicas aglomerativas y escalamiento multidimensional	Rangel et al., 2021.
Fragmentos y fibras	Fragmentos y fibras 82%, 66% y 72% en los Sitios de toma de muestra.	Microscopio Leica CTR5000, con aumentos de 4x, 10x, 20x y 40x.	Rimondino, G. N et al., 2022.
Fibras, fragmentos y películas	(13,2 ± 13,4 ítems·m ⁻³) y (1,0 ± 0,5 ítems·m ⁻³).	Espectrometría de infrarrojos	Diez-Pérez, D. B et al., 2023.

Los microplásticos principalmente identificados, se hallaron en playas y zonas costeras, esto se debe principalmente a dos factores, el primero, como lo registra Barboza y Gimenez (2018), son las corrientes marinas, ríos, vertederos y actividades marítimas como la pesca, que contribuyen a su llegada desde su punto de origen hacia las costas. Como segundo factor, se encuentran las playas, ya que la arena actúa como un filtro natural, atrapando y reteniendo microplásticos debido a su densidad y tamaño similar a las partículas de arena, ya sean de origen primario (producidos directamente en pequeñas dimensiones) o secundario (fragmentados de plástico más grandes).

Como lo muestra la tabla 1, los microplásticos más abundantes identificados en el medio ambiente, son los fragmentos, fibras y películas (Sánchez et al., 2021). Esto se debe a que los fragmentos son el resultado de la degradación de piezas plásticas de mayor tamaño, como botellas, bolsas o envases. Otro factor como la exposición a la luz solar y el oleaje, afectan directamente, fragmentando gradualmente estos objetos, liberando microplásticos al ecosistema (Galgani et al., 2015). Por otra parte, las fibras provienen principalmente de textiles y telas sintéticas, y las películas, que son partículas diminutas de plástico, que se utilizan como materia prima para la fabricación de neumáticos, plásticos industriales y domésticos, como también en productos exfoliantes, que en su elaboración o transporte generan derrames, lo que produce la acumulación en aguas residuales, desembocando directamente en el mar (Galgani et al., 2015). Los principales componentes de los microplásticos anteriormente mencionados son el polietileno, polipropileno,

poliestireno, policarbonatos y poliéster (PET), en menores proporciones también se encuentran el nylon, acrílicos y poliuretano (Andrary, 2017).

El estudio de Andrary (2017), muestra que el proceso de ingestión de microplásticos afecta al metabolismo de los organismos, especialmente acuáticos, que pueden llegar a desarrollar problemas de salud, como obstrucción intestinal, lesiones y muerte, escalando hasta llegar a la cadena trófica. No obstante, la contaminación por microplásticos no solo afecta, a los ecosistemas y animales, según Quezada (2021), afirma que, se ha encontrado que los microplásticos o sus aditivos como el BPA (bisfenol) o el DEHP podrían ingresar al cerebro e inducir neurotoxicidad. Esto interfiere con la actividad neuronal, alterando la plasticidad sináptica y los niveles de algunos neurotransmisores. De esta manera alterara la función cerebral, relacionando la aparición de diversas enfermedades neurodegenerativas entre las que se incluyen, el Alzheimer, Parkinson, Esclerosis lateral amiotrófica y Huntington.

Es así, como la contaminación por microplásticos es un problema ambiental que afecta a todo el mundo; América Latina no es la excepción, la amenaza para los ecosistemas marinos es de gran alcance, como lo demuestra Rangel et al., (2021), que identifica densidades de microplásticos que oscilan entre 557 y 2457 MPs/kg, similar a otras playas y bahías mundiales. Al igual que Garcés et al., (2019), que demuestra en su investigación (Tabla 1), la contaminación por desechos marinos y microplásticos en los suelos de los manglares de la Ciénaga Grande de Santa Marta, revelo la presencia de 540 ± 137 y 31 ± 23 artículos/ha en manglares cercanos y lejanos de centros poblados respectivamente. Según el autor, entre el 73 y el 96% de la basura estaba compuesta por plástico, mientras que la cantidad de microplásticos vario entre 31 y 2.863 artículos/kg, siendo las concentraciones más elevadas en los manglares cercanos a la población.

Por otra parte, en México y Ecuador, se identifican resultados cuantitativos del impacto de los microplásticos, contribuyendo en su clasificación, como lo relacionan Torrez-Pérez et al., (2021) mediante flotación e inspección visual, con un total de 12,001 microplásticos por forma, color y tamaño (Tabla 1). También, Martínez et al., (2021), empleo el método de la microscopía óptica μ FTIR, que permitió la identificación de formas, tamaños y texturas gracias a su alta resolución espacial, hasta de 1 micra de alcance. Por otra parte, Diez et al., (2023), emplea espectrometría de

infrarrojos, que es un método sencillo y rápido, para la identificación de pequeñas partículas, en especial, análisis de biopolímeros, como lo son los microplásticos.

Actualmente, no se registra ningún decreto, ley o normatividad frente a la regulación de producción de microplásticos, ni tampoco de límites permitidos de concentraciones de este contaminante emergente en Latinoamérica. Sin embargo, en Europa, La Directiva de la Unión Europea 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo, emitida el 5 de junio de 2019, tiene como objetivo principal abordar y reducir el impacto negativo de los productos de plástico en el medio ambiente. Para lograrlo, establece una serie de medidas significativas, entre ellas, se destaca la prohibición de la venta de cosméticos que contengan microesferas de plástico a partir de 2022, que también plantea la reducción del empleo de plásticos de un solo uso en productos como cubiertos, platos, pajitas, bastoncillos de algodón y envases de alimentos.

La gestión de los residuos de plástico también se aborda en La Directiva de la Unión Europea, fomentando la recogida selectiva y el reciclaje. Para cumplir con sus objetivos, la directiva se ha fijado metas, como reducir en un 30% el consumo de bolsas de plástico de un solo uso para 2025, disminuir en un 50% el consumo de botellas de plástico de un solo uso para el mismo año y reducir en un 80% la cantidad de residuos de pesca perdidos o abandonados para 2030, reflejando el compromiso de la Unión Europea por abordar la problemática de los plásticos y su impacto en el entorno natural.

De la misma manera Japón, cuenta con una legislación que demanda a los fabricantes japoneses de productos de higiene y cosméticos que dejen de utilizar piezas de plástico de tamaño de cinco micrómetros en sus artículos. La reciente normativa, en conjunto con otras decisiones adoptadas por la Unión Europea, exige que los productores japoneses de artículos de higiene y cosméticos cesen el uso de microplásticos, ya que, se evidencia que estas partículas generan una gama de aditivos químicos y contaminantes debido a su origen sintético, lo que las hace una amenaza potencial para la vida marina y cadena trófica. (Infobae, 2018).

2.2. Análisis y discusión del segundo objetivo

- Investigar las tecnologías emergentes que han sido utilizadas para el tratamiento de microplásticos en contextos específicos de la región.

Tabla 3

Alternativas de tratamiento para microplásticos

Tipo de MP	Método de tratamiento	Efectividad	País	Autor
Polímeros	Ultra filtración	99,9%	Ecuador	Cuartucci, M. 2020.
Poliestireno	Oxidación Electroquímica (En concreto, el electrodo BDD utilizado es de 10000 ppm de boro.)	99,9%	España	Vilaplana-Fracés, P, 2023.
Polietileno, Poliéster, polipropileno	Eliminación y degradación química	100%	China	Tianhong, Z et al., 2024.
Fibras	Electrocoagulación	99%	España	Peláez-Villa, S, 2020.

Es importante resaltar que las alternativas de tratamiento para microplásticos se encontraron principalmente en Europa y Asia, debido a que presentan niveles más altos de contaminación por microplásticos ya que su producción y consumo es mayor con respecto a los plásticos, especialmente en sectores como el empaquetado, la industria textil y la cosmética (European Union, 2018). Cabe aclarar que estos continentes reconocen la problemática actual, ya que cuentan con regulaciones ambientales más estrictas relacionadas con la producción, consumo y gestión de residuos plásticos, lo que incentiva la búsqueda de soluciones para mitigar la contaminación por microplásticos (ADB, 2019).

Se destaca que estos continentes destinan mayores recursos financieros a la investigación y desarrollo de tecnologías para la eliminación de microplásticos, tanto en el ámbito público como privado, esto ha permitido el avance de tecnologías más eficientes y escalables (UNEP, 2019), teniendo en cuenta que, hay una mayor conciencia ambiental y una creciente demanda por parte de los consumidores y gobiernos hacia productos y prácticas sostenibles, impulsando soluciones para la problemática de los microplásticos (European Union, 2018).

La tabla 3, refleja procesos efectivos para la remoción de microplásticos, mostrando estrategias que alcanzaron el 99% de eliminación de estas micropartículas. La eliminación de este contaminante emergente depende de diferentes factores, Tianhong, Z et al (2024), encontró que la morfología del plástico afecta la tasa de degradación, lo que requiere el uso de un eliminador de electrones para mantener la reactividad del fotocatalizador, requiriendo de extensos periodos de tiempo a exposición de radiación UV de 480, 624 y 816 horas y temperaturas de 30,3 a 38,6 grados centígrados, para alcanzar la degradación de masa de polietileno, poliéster y polipropileno por completo.

Es importante entender que las tecnologías electroquímicas surgen como una alternativa para la descontaminación de aguas residuales, ofreciendo una valiosa posibilidad como opción de tratamiento, que ha motivado su aplicación en una gran variedad de contaminantes, lo que la ha llevado a ser implementada de diversas estrategias (directas o indirectas) realizando tanto oxidaciones como reducciones del contaminante (Sarria et al., 2005).

La Oxidación Electroquímica, radica en emplear condiciones base para la realización de la electrolisis, consistiendo en alterar y combinar parámetros como la corriente y el volteje de las diferentes muestras, con el fin de observar cuál es el más influyente en la degradación de los microplásticos, teniendo en cuenta también, la elección de los compuestos del electrolito, los cuales fueron sales de sulfato sódico y de cloruro sódico que alcanzaron el 99% de poliestireno removido, observado mediante la microscopía FESEM (Vilaplana, 2023).

Siguiendo la misma línea de las tecnologías electroquímicas, Peláez (2020), afirma que, la electrocoagulación puede ser eficaz en la remoción, ya que combina las ventajas de la coagulación convencional y de los tratamientos electroquímicos para la eliminación de partículas contaminantes suspendidas, disueltas o emulsionadas en el agua mediante una corriente eléctrica que da lugar a la desestabilización coloidal, la neutralización y la posterior remoción, alcanzando un nivel del 99% de efectividad en eliminación de microplásticos como, las fibras.

En la región Latinoamericana, Cuartucci (2020), utiliza la ultrafiltración combinado con procesos de coagulación, como proceso de separación, basado en exclusión por tamaño (cribado) utilizando membranas porosas poliméricas, logrando una separación en el rango de 0,01 a 0,1 μm , permitiendo la eliminación de sólidos en suspensión, coloides, virus, bacterias, endotoxinas, patógenos, y especies de alto peso molecular. El autor expresa que los microplásticos encontrados, tuvieron una densidad de 0,92 a 0,97 g/cm^3 , que es parecida a la del agua en la que se transportan, que se suspenden o flotan fácilmente, lo que aumenta el riesgo potencial de que no se eliminen mediante el tratamiento convencional, por lo que el proceso de ultrafiltración, es eficaz para su eliminación, alcanzando el 99,9% de remoción.

Los métodos de tratamiento convencional como lo son, las plantas de tratamiento de aguas residuales o estaciones depuradoras de aguas residuales, muestran efectividad en la remoción de microplásticos, como lo muestra Zöhere et al., (2022) que manifiesta que se puede alcanzar ciertos niveles de eliminación de microplásticos en estaciones depuradoras de aguas residuales, evaluando críticamente, métodos físicos, químicos y biológicos. El autor observa que, el proceso de sedimentación física mediante lodos, es el único mecanismo para acumular microplásticos alcanzando un 70 % de retención para estas partículas, que depende del tamaño, forma y densidad de los microplásticos. La estimación total de desaparición de microplásticos presenta limitaciones, ya que no se cuenta con un procedimiento estándar de análisis de microplásticos, lo que impide una comparación clara entre la identificación, caracterización y separación de estas micropartículas.

Estas alternativas de tratamiento para aguas residuales son consideradas importantes fuentes de liberación de microplásticos en el medio ambiente. Según Fuentes (2020), demuestra la presencia

de estas micropartículas en cada una de las muestras analizadas del afluente y efluente de la PTAR Media Luna, en Perú. Los datos revelan mayor cantidad de microplásticos hallados en el afluente que en efluente, encontrando 270 y 139 partículas respectivamente, con un nivel de remoción del 51%. Es así como se demuestra que el nivel de efectividad de tratamientos convencionales no es del todo eficiente para la eliminación de estas micropartículas.

2.3. Análisis y discusión del tercer objetivo

- Identificar los principales desafíos en la región relacionados a la gestión adecuada de la contaminación por microplásticos.

Para entender los principales desafíos que enfrenta Latinoamérica en relación a la gestión adecuada de microplásticos, es importante comprender que este contaminante emergente no es totalmente reconocido, ya que muchos países de esta región, carecen de leyes específicas dirigidas al control de la contaminación generada por microplásticos, dejando claro que estas micropartículas no cuentan con límites permisibles ni actualizados para poder abordar adecuadamente este problema en constante evolución (Orona et al., 2022). Teniendo en que solo existen límites regulatorios y permisibles para la producción y consumo de productos plásticos de un solo uso, como la ley 2232 de 2022 en Colombia y la normativa 21,368 en Chile de 2021, son un desafío para abordar en su totalidad la problemática generada por los microplásticos, ya que estas no abordan en su totalidad el problema de los contaminantes emergentes mencionados, porque se enfocan principalmente en establecer medidas para la reducción gradual de macro plásticos, más no para una eliminación o límites de la generación de estas micropartículas.

La economía de la región influye significativamente en la capacidad de implementar soluciones efectivas para el tratamiento de microplásticos. En Latinoamérica, la mayoría de países no cuenta con infraestructura adecuada para un método de control o eliminación de este contaminante emergente (Kutralam et al., 2020), ya que los sistemas de gestión de residuos sólidos y las plantas de tratamiento de aguas residuales no cubren en su totalidad la liberación de micropartículas al medio ambiente, especialmente en cuerpos de agua (Lavayen, 2021). Esta infraestructura

subdesarrollada no solo prolonga la contaminación existente, sino que también dificulta la implementación de medidas preventivas.

Es de alta relevancia el reconocer que hay una evidente problemática social, frente al desconocimiento de esta situación. Ya que esto desencadena una inconsciencia frente al problema y sus impactos en la salud y medio ambiente. Bossa (2021), habla como los microplásticos puede provocar daños en los diferentes procesos metabólicos, morfológicos, fisiológicos, de absorción y de comportamiento de los organismos de agua, y como esto repercute consecuencias en impactos representativos a nivel celular, en especies como microalgas, peces y mariscos. El reto que enfrenta el desconocimiento y la falta de educación ambiental genera que no exista conciencia social, siendo este un obstáculo que impida que no se presenten acciones efectivas para abordar esta problemática.

El impacto de los microplásticos desencadenan un problema tanto para la salud, como para el medio ambiente, representando una dificultad para la cadena trófica, donde la salud humana se ve afectada por la ingesta de estas partículas, es así como Ubilla (2021) señala que los aditivos presentes en los microplásticos podrían estar vinculados a enfermedades cardiovasculares, ya que contribuyen al aumento del tejido fibrótico en el miocardio y a sí debilitamiento causado por el estrés oxidativo en el corazón. Esto podría dar lugar a diversas cardiopatías coronarias, debilitando el miocardio y provocando insuficiencia cardiaca, además de generar obstrucciones arteriales al unirse con proteínas circulantes, lo que también conduciría a enfermedades cardíacas. Además, estas partículas tienen un impacto indirecto en enfermedades que promueven el desequilibrio de la microbiota intestinal, aumentando el riesgo de desarrollar enfermedades cardíacas o aterosclerosis al debilitar defensas naturales del cuerpo. Esto subraya la necesidad urgente de atender esta problemática de manera integral, implementando como fue anteriormente mencionado; la regulación efectiva y la conciencia social sobre los riesgos asociados a esta contaminación.

3. Conclusiones

En conclusión, la presencia de microplásticos en playas y zonas costeras es un fenómeno preocupante que se debe a diversos factores. Principalmente, corrientes marinas, ríos, vertederos y actividades marítimas como la pesca contribuyen a la llegada desde un punto de origen hacia las costas y playas, que albergan las micropartículas, ya que actúan como un filtro natural al atrapar y retener microplásticos debido a la densidad y tamaño similar a las partículas de arena.

Los microplásticos más abundantes hallados en las zonas costeras son los fragmentos, fibras, y películas, resultado de la degradación de piezas plásticas de mayor tamaño y diversas fuentes como textiles sintéticos y productos industriales.

En América latina, la contaminación por microplásticos es un problema significativo como lo demuestra diversos estudios que identifican altas concentraciones en playas, bahías y suelos de manglares. Aunque no existen regulaciones específicas en la región para controlar la producción y concentración de microplásticos, otras partes del mundo como Europa y Asia, han implementado legislaciones para abordar este problema prohibiendo el uso de estas micropartículas en productos de consumo y estableciendo medidas para una economía circular.

En Europa y Asia, donde la contaminación por microplásticos es más severa, debido a mayores niveles de producción y consumo de plásticos, se han logrado avances significativos en la investigación y desarrollo de tecnologías para la remoción de estas micro partículas. Como lo son, el método de oxidación electroquímica y la electro coagulación, que muestran altos niveles de remoción, al igual que la ultrafiltración, utilizada en estudios realizados en Latinoamérica.

Sin embargo, los tratamientos convencionales, como las plantas de tratamiento de aguas residuales, presentan limitaciones en la eliminación completa de microplásticos, con una remoción que no siempre alcanza niveles elevados de remoción, ya que la falta de estándares uniformes, para el análisis de microplásticos y la variabilidad en la efectividad de los métodos, subraya la necesidad de continuar desarrollando y perfeccionando las tecnologías de tratamiento para abordar esta problemática.

4. Recomendaciones

Para abordar la creciente problemática de los microplásticos en playas y zonas costeras, se recomienda implementar regulaciones específicas en América Latina que controlen la producción y el uso de plásticos, inspirándose en las legislaciones exitosas de Europa y Asia. Es crucial fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías avanzadas para la remoción de microplásticos, como la oxidación electroquímica y la ultrafiltración, además de mejorar los tratamientos convencionales en plantas de tratamiento de aguas residuales. Igualmente, se sugiere establecer estándares uniformes para el análisis de microplásticos que permitan una evaluación más precisa y efectiva de las medidas adoptadas.

5. Referencias bibliográficas

- Ahmed, S. F., Islam, N., Tasannum, N., Mehjabin, A., Momtahn, A., Chowdhury, A. A., ... & Mofijur, M. (2024). Microplastic removal and management strategies for wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 347, 140648. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653523029181>
- Alvarez-Gayou, J. L. (1999). *Cómo Hacer Investigación cualitativa, Fundamentos y Metodología*. <https://como-hacer-investigacion-cualitativa.pdf> (unlp.edu.ar)
- Andrady, A. (2017). The plastic in microplastics: A review. *The plastic in microplastics: A review* - ScienceDirect.
- Aranguren, G., & García, P. (2022). Contaminación por microplásticos en Latinoamérica: Un problema ambiental y de salud pública. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 5-19. https://ciencia_73-2.pdf (amc.edu.mx)
- Asian Development Bank (ADB). (2019). *Microplastics in the Marine Environment: A Threat to Coastal and Marine Ecosystems in Asia and the Pacific*. <https://www.adb.org/projects/53068-001/main>
- Baena, P. (1985). *La investigación documental: Características y Algunas Herramientas*. *La Investigación Documental: Características y Algunas Herramientas*.
- Barboza, L. G., & Gimenez, B. C. (2018). Microplásticos en ambientes marinos: Una revisión de su impacto en la biota marina y humana. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 53(3), 507-522. <https://rbmo.uv.cl/es/>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2021). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1163603>

- Blandón-García, L., Castillo-Olaya, V., Espinosa-Díaz, L., Garcés-Ordóñez, O., & Granados-Briseño, A. (2019). Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X19305041>
- Bossa García, L. I. (2021). Revisión de la contaminación por nanoplásticos y sus efectos en el medio ambiente, principalmente en los ecosistemas acuáticos. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2039>
- Calderon, A., Hansel, P., Rodríguez, A., Bletter, M., Syberg, K., & Khan, F. (2019). Microplastics in the digestive tract of fish from the estuary Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. <https://www.springer.com>
- Cháves-Carrillo, B., & Paredes-Herrera, M. (2019). Presencia de microplástico derivado de la degradación de tanques de reserva plásticos en el agua potable de Riobamba. Repositorio Digital UNACH.
- Cuartucci, M. (2020). Ultrafiltration, a cost-effective solution for treating surface water to potable standard. *Water Practice & Technology*, 15(2), 426-436. <https://iwaponline.com/wpt/article-abstract/15/2/426/74107>
- Decreto 2412 de 2018 - Gestor Normativo - Función Pública. (2018). <https://www.funcionpublica.gov.co>
- Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE). (2019). <https://www.miteco.gob.es>
- European Chemicals Agency. (2019). <https://echa.europa.eu>
- European Commission. (2022). Strategy for plastics: Towards a circular economy for plastics. <https://europa.eu>

European Union. (2018). A European Strategy for Plastics in a Circular Economy.
<https://www.euoparc.org>

Fuentes Mamani, D. J. (2021). Determinación de la presencia de microplásticos (MPs) en el agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales media luna, provincia de Ilo-2020.
<https://repositorio.unam.edu.pe>

Galgani, F., Hanke, G., & Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. *Marine Pollution Bulletin*, 107, 134-145. <https://www.sciencedirect.com>