HORIZON NEXUS JOURNAL
ISSN: 3073-1275

Efectos de la Contaminación Plástica en los Ecosistemas Marinos: Un Análisis Actualizado

Effects of Plastic Pollution on Marine Ecosystems: An Updated Analysis

Mieles-Giler, Jorge Washington [1*]

[1] Universidad Estatal del Sur, Ecuador, Manabí, https://orcid.org/0009-0003-4739-8968, jorge.mieles@unesum.edu.ec

* Autor de correspondencia

https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n3/2

Cita: Mieles-Giler, J. W. (n.d.). Efectos de la Contaminación Plástica en los Ecosistemas Marinos: Un Análisis Actualizado. *Horizon Nexus Journal*, *2*(3), 18-30. https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n3/2

Recibido: 24/05/2024
Revisado: 11/06/2024
Aceptado: 22/06/2024
Publicado: 31/07/2024

Copyright: © 2024 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Resumen: La contaminación plástica en los océanos representa una amenaza significativa para la biodiversidad marina y los ecosistemas costeros. Este estudio analiza los efectos de los microplásticos y los residuos plásticos, centrándose en su impacto en especies a distintos niveles tróficos y la salud de los ecosistemas. Mediante una revisión exhaustiva de literatura científica de bases de datos como Scopus y Web of Science, se seleccionaron investigaciones recientes sobre las consecuencias toxicológicas de los plásticos y las posibles soluciones. Los resultados muestran que los microplásticos son ingeridos por una amplia variedad de organismos, provocando bloqueos digestivos, daño celular y alteraciones reproductivas, además de servir como vectores de contaminantes químicos. Aunque las políticas actuales han logrado reducir el uso de plásticos de un solo uso, la falta de infraestructuras adecuadas de reciclaje y compostaje limita la efectividad de estas medidas. El estudio concluye que se requiere una acción global coordinada, con énfasis en la transición hacia una economía circular y el desarrollo de tecnologías innovadoras, para mitigar los impactos devastadores de la contaminación plástica en los océanos.
Palabras clave: contaminación plástica; microplásticos; biodiversidad marina; economía circular; mitigación ambiental.

Abstract: Plastic pollution in the oceans represents a significant threat to marine biodiversity and coastal ecosystems. This study analyzes the effects of microplastics and plastic debris, focusing on their impact on species at different trophic levels and ecosystem health. Through a comprehensive review of scientific literature from databases such as Scopus and Web of Science, recent research on the toxicological consequences of plastics and possible solutions were selected. The results show that microplastics are ingested by a wide variety of organisms, causing digestive blockages, cell damage and reproductive alterations, as well as serving as vectors of chemical contaminants. Although current policies have been successful in reducing the use of single-use plastics, the lack of adequate recycling and composting infrastructure limits the effectiveness of these measures. The study concludes that coordinated global action, with emphasis on the transition to a circular economy and the development of innovative technologies, is required to mitigate the devastating impacts of plastic pollution in the oceans.
Keywords: plastic pollution; microplastics; marine biodiversity; circular economy; environmental mitigation.

1. Introducción

La contaminación plástica en los ecosistemas marinos representa una de las principales amenazas para la biodiversidad y la estabilidad ambiental de estos entornos. El uso extendido de plásticos en actividades industriales, comerciales y domésticas ha generado una acumulación significativa de residuos plásticos en los océanos, afectando tanto a los organismos marinos como a las funciones esenciales de los ecosistemas. Se estima que más de ocho millones de toneladas de plásticos ingresan a los océanos anualmente, lo que plantea serias preocupaciones sobre la capacidad de los ecosistemas marinos para soportar esta presión antropogénica a largo plazo (Ory, Gallardo, Lenz, & Thiel, 2017).

La problemática radica en la alta persistencia del plástico en el ambiente. A diferencia de otros materiales, el plástico no se biodegrada fácilmente; en lugar de eso, se fragmenta en partículas más pequeñas, conocidas como microplásticos, que pueden permanecer en los ecosistemas durante siglos. Estos microplásticos no solo son ingeridos por una amplia variedad de organismos marinos, desde el zooplancton hasta los grandes depredadores, sino que también sirven como vectores para la adsorción de contaminantes químicos peligrosos, amplificando su toxicidad (Rochman, 2016). La exposición prolongada a estas sustancias puede afectar el comportamiento, la reproducción y la supervivencia de las especies marinas, generando consecuencias profundas para las redes tróficas y la biodiversidad marina (Mieles-Giler, Guerrero-Calero, Moran-González, & Zapata-Velasco, 2024).

Los factores que agravan este problema incluyen la producción masiva de plásticos a nivel global y la falta de infraestructura adecuada para gestionar estos residuos. En países con economías emergentes, la infraestructura para la recolección y el reciclaje de residuos plásticos es insuficiente, lo que permite que grandes cantidades de plásticos lleguen al mar a través de sistemas fluviales (Vargas-Fonseca, Borja-Cuadros, & Cristiano-Mendivelso, 2023). Además, los océanos actúan como un sumidero final para los residuos plásticos generados en tierra, exacerbando el problema a nivel global. Los ecosistemas costeros, como los manglares y los lechos de pastos marinos, son especialmente vulnerables debido a su proximidad a las áreas urbanas y su capacidad para atrapar desechos, lo que interfiere con su capacidad de fotosíntesis y altera sus funciones ecológicas (Herrera-Feijoo, Chicaiza-Ortiz, Rivadeneira-Arias, & Andrade, 2023).

La justificación para abordar esta problemática es clara: los ecosistemas marinos proporcionan servicios ecosistémicos fundamentales, como la regulación del clima, el ciclo de nutrientes y la provisión de alimentos. La degradación de estos ecosistemas no solo impacta negativamente a las especies que dependen de ellos, sino también a las comunidades humanas que se benefician de sus recursos (Rochman, 2016). Además, la contaminación plástica ha sido identificada como una amenaza creciente para la salud humana, ya que los microplásticos pueden entrar en la cadena alimentaria y, potencialmente, afectar la salud de las personas que consumen productos marinos contaminados. Según estudios recientes, la exposición continua a los microplásticos puede tener efectos tóxicos a largo plazo, tanto para los organismos acuáticos como para los humanos que dependen de ellos para su sustento (Mieles-Giler et al., 2024).

La viabilidad de implementar soluciones a esta crisis reside en un enfoque integral que combine tanto medidas políticas como científicas. En el ámbito internacional, diversas iniciativas buscan reducir la producción de plásticos de un solo uso y mejorar las prácticas de reciclaje. Sin embargo, para que estas medidas sean efectivas, es necesario realizar investigaciones que aborden las lagunas actuales en nuestro conocimiento sobre la distribución, los efectos y la dinámica de los microplásticos en los ecosistemas marinos. Las tecnologías emergentes, como el uso de biopolímeros y la mejora en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ofrecen soluciones prometedoras para mitigar la entrada de plásticos en los océanos (Vargas-Fonseca et al., 2023).

El objetivo principal de esta revisión es proporcionar un análisis exhaustivo de los efectos de la contaminación plástica en los ecosistemas marinos, sintetizando la información disponible en la literatura científica para identificar áreas clave que requieren atención adicional. Esto incluye una evaluación de los impactos ecológicos directos, como la ingestión de microplásticos por organismos marinos, así como los efectos indirectos relacionados con la bioacumulación de toxinas y la alteración de las dinámicas de los ecosistemas. A través de este enfoque, se busca no solo aumentar la comprensión científica sobre el tema, sino también proponer estrategias efectivas para la mitigación y manejo de la contaminación plástica en los océanos.

En síntesis, la contaminación plástica en los ecosistemas marinos es un problema multifacético que requiere una atención inmediata y sostenida. Las investigaciones actuales subrayan la magnitud del impacto ambiental y económico, lo que exige acciones coordinadas entre gobiernos, comunidades científicas y el sector privado para frenar la creciente marea de desechos plásticos. Solo a través de un enfoque colaborativo y basado en evidencia será posible preservar la integridad de los ecosistemas marinos para las generaciones fut

2. Materiales y Métodos

Este artículo se basó en una revisión bibliográfica cualitativa, enfocada en la recopilación, análisis y síntesis de la información disponible sobre los efectos de la contaminación plástica en los ecosistemas marinos. El proceso metodológico siguió un enfoque estructurado que permitió identificar estudios relevantes y recientes sobre la temática, garantizando la calidad y actualidad de las fuentes utilizadas.

La selección de las fuentes se llevó a cabo mediante una búsqueda sistemática en bases de datos científicas como Scopus y Web of Science, con el fin de asegurar la inclusión de investigaciones publicadas en revistas académicas revisadas por pares. Se utilizaron palabras clave específicas, como "contaminación plástica", "ecosistemas marinos", "microplásticos" y "biodiversidad marina", para limitar los resultados a estudios directamente relacionados con el objetivo de la revisión. Esta estrategia permitió filtrar y seleccionar artículos relevantes que abordan tanto los impactos ecológicos como las posibles soluciones para mitigar la problemática.

Para la inclusión de los estudios en esta revisión, se establecieron criterios de selección rigurosos. Solo se consideraron aquellos artículos publicados en los últimos diez años con un enfoque significativo en la contaminación plástica en contextos marinos.

Además, se priorizaron estudios empíricos y teóricos que aportaran nuevas perspectivas sobre el problema o que proporcionaran datos cuantitativos o cualitativos relevantes para comprender los efectos de los plásticos en la fauna marina, los servicios ecosistémicos y la salud humana. Estudios que no cumplían con estos criterios o que no presentaban información suficiente fueron excluidos del análisis.

El análisis de los estudios seleccionados consistió en una revisión narrativa que permitió comparar los hallazgos de diferentes investigaciones y evaluar las principales tendencias y conclusiones de los autores. Se hizo hincapié en la identificación de patrones recurrentes en cuanto a los efectos negativos de los plásticos en los ecosistemas marinos, así como en la variabilidad de los impactos dependiendo del tipo de plástico, su tamaño (macro, micro, y nanoplásticos) y las regiones del océano afectadas. La información obtenida fue sintetizada en función de su relevancia para los objetivos del estudio, con el propósito de ofrecer una visión integral del estado actual de la investigación sobre este tema.

Finalmente, se realizó un análisis crítico de las posibles soluciones propuestas en la literatura revisada, destacando tanto las estrategias de gestión de residuos plásticos como las iniciativas de conservación de los ecosistemas marinos. Esto permitió identificar no solo las implicaciones ambientales de la contaminación plástica, sino también las limitaciones y desafíos para implementar estas soluciones a escala global.

3. Resultados

3.1. Impacto de los Microplásticos en la Biodiversidad Marina

Los microplásticos representan una amenaza significativa para la biodiversidad marina debido a su pequeña escala y su capacidad para infiltrarse en los ecosistemas oceánicos de manera casi imperceptible. Al ser ingeridos por organismos marinos en diferentes niveles tróficos, desde el plancton hasta los grandes depredadores, los microplásticos generan una cascada de efectos negativos que alteran la salud y las funciones ecológicas de las especies involucradas (Desforges et al., 2015; Botterell et al., 2019). Uno de los mecanismos más preocupantes es la confusión entre partículas de microplástico y presas naturales, lo que lleva a una ingestión no intencionada y, en muchos casos, a la interrupción de los procesos alimenticios y reproductivos de especies clave en la cadena alimentaria.

Por ejemplo, especies filtradoras como los moluscos y crustáceos son particularmente vulnerables a los microplásticos debido a sus estrategias de alimentación. Estos organismos ingieren grandes cantidades de agua para filtrar partículas nutritivas, lo que inevitablemente conduce a la ingestión de microplásticos presentes en su entorno (Cole et al., 2013). La ingestión de estas partículas no solo bloquea el sistema digestivo de estos organismos, sino que también afecta su capacidad de absorber nutrientes, lo que resulta en una disminución en su tasa de crecimiento y una mayor mortalidad (Coppock et al., 2019). Además, la acumulación de microplásticos en los sistemas digestivos de estos organismos puede llevar a una disminución en la reproducción, lo que a su vez afecta a las poblaciones marinas y altera el equilibrio de las redes tróficas.

Un aspecto fundamental del impacto de los microplásticos es su papel como vectores de contaminantes químicos. Debido a sus propiedades químicas, los microplásticos tienen una alta capacidad para adsorber sustancias tóxicas, como los metales pesados y los contaminantes orgánicos persistentes (Lusher, 2015; Setälä et al., 2014). Estos contaminantes pueden adherirse a las superficies de los microplásticos y ser transportados a lo largo de la cadena alimentaria marina. Por ejemplo, se ha demostrado que los microplásticos ingeridos por organismos pequeños como el zooplancton pueden transferir estos contaminantes a depredadores de niveles tróficos superiores, como peces y mamíferos marinos (Frias et al., 2014). Este proceso de bioacumulación y biomagnificación amplifica los efectos tóxicos en los organismos de mayor tamaño, lo que puede causar daños a nivel fisiológico, incluyendo alteraciones en el sistema endocrino, inmunológico y reproductivo.

Además de los efectos físicos y químicos, los microplásticos también alteran el comportamiento de las especies marinas. Estudios recientes han demostrado que la exposición prolongada a microplásticos afecta la capacidad de alimentación y la movilidad de organismos como las medusas y los peces (Macali et al., 2018). En particular, se ha observado que la ingestión de microplásticos puede reducir la frecuencia de pulsaciones en las medusas, lo que impacta negativamente en su capacidad de nadar y cazar presas. Estos cambios en el comportamiento no solo afectan la supervivencia de los individuos, sino que también tienen consecuencias en cascada para las redes tróficas y la dinámica del ecosistema en su conjunto (Brandon et al., 2020).

Los impactos de los microplásticos en los ecosistemas marinos son diversos y complejos. Además de las consecuencias directas para la salud de los organismos marinos, los microplásticos también pueden afectar funciones ecológicas críticas, como el ciclo de nutrientes y la regulación del carbono. Los organismos planctónicos, que juegan un papel fundamental en la producción de pellets fecales que contribuyen a la exportación de carbono al fondo marino, pueden verse afectados en su capacidad para cumplir con esta función debido a la ingestión de microplásticos (Botterell et al., 2019). Esto puede alterar los ciclos biogeoquímicos en los océanos, con implicaciones para el cambio climático y la salud global del ecosistema marino.

En resumen, los microplásticos no solo representan una amenaza física para los organismos marinos, sino que también actúan como vectores de sustancias tóxicas y alteran el comportamiento y las dinámicas ecológicas. La combinación de estos efectos crea una presión significativa sobre los ecosistemas marinos, lo que pone en peligro no solo a las especies afectadas directamente, sino también a los servicios ecosistémicos de los que dependen las poblaciones humanas (Eriksson & Burton, 2003). A medida que se acumula más evidencia sobre la magnitud de estos impactos, es crucial que se implementen políticas y estrategias de mitigación efectivas para reducir la entrada de microplásticos en los océanos y minimizar sus efectos a largo plazo.

3.2. Afectaciones en los Ecosistemas Costeros

La contaminación plástica ha generado un impacto significativo en los ecosistemas costeros, alterando tanto la estructura ecológica como las funciones críticas que estos entornos desempeñan. Los manglares y los pastos marinos, dos de los ecosistemas costeros más afectados, son fundamentales para la estabilidad ambiental y el bienestar

humano, ya que proporcionan servicios esenciales como la protección contra tormentas, la regulación del clima y el almacenamiento de carbono. Sin embargo, la acumulación de residuos plásticos en estas áreas está deteriorando su capacidad de cumplir con estas funciones.

Los residuos plásticos, especialmente los microplásticos y mesoplásticos, interfieren directamente con los procesos ecológicos esenciales en los manglares y pastos marinos. En el caso de los manglares, estos desechos se incrustan en las raíces aéreas, impidiendo la fotosíntesis, la respiración de las plantas y el intercambio de gases vitales. Como resultado, se interrumpe el ciclo de nutrientes, afectando la productividad de estos ecosistemas y deteriorando la salud de las especies que dependen de ellos para su supervivencia (Brennecke et al., 2016). Un estudio realizado en el sudeste de Asia encontró que los manglares afectados por la acumulación de plásticos experimentan una reducción en la tasa de crecimiento y en la regeneración de la vegetación, lo que impacta la biodiversidad y el equilibrio ecológico (Cordova et al., 2021).

Además de los efectos directos en las plantas, la acumulación de plásticos también altera la estructura física del suelo costero. Los residuos plásticos compactan los sedimentos, lo que afecta la permeabilidad del suelo y limita la penetración de agua y nutrientes. Esto es particularmente problemático en los pastos marinos, donde la disponibilidad de luz y nutrientes es crítica para la fotosíntesis y el crecimiento. Los plásticos en suspensión en el agua reducen la claridad del agua, bloqueando la luz solar y dificultando la fotosíntesis en estas plantas (Hidalgo-Ruz & Thiel, 2013). Estos cambios no solo afectan a los organismos vegetales, sino que también impactan a las especies animales que dependen de estos hábitats, como los peces y crustáceos que utilizan los pastos marinos como zonas de cría y alimentación.

Otro impacto crítico es la reducción de la efectividad de los ecosistemas costeros como barreras naturales frente a desastres. Los manglares, conocidos por su capacidad para disipar la energía de las olas y reducir la erosión costera, están perdiendo su efectividad debido a la degradación causada por los plásticos. Los residuos plásticos que se acumulan en las raíces y los sedimentos alteran la estabilidad de estos ecosistemas, haciéndolos más vulnerables a la erosión y menos eficaces para proteger las costas frente a tormentas y tsunamis (Goldstein, Rosenberg, & Cheng, 2013). Esta degradación no solo pone en riesgo los ecosistemas, sino también las comunidades humanas que dependen de ellos para la protección frente a desastres naturales.

Finalmente, la capacidad de los ecosistemas costeros para actuar como sumideros de carbono, una función vital en la mitigación del cambio climático, también se ve comprometida. Los manglares y los pastos marinos son importantes almacenes de carbono, conocidos como "carbono azul". Capturan grandes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera y lo almacenan en los sedimentos durante siglos. No obstante, la contaminación plástica interfiere con este proceso, ya que los plásticos alteran la estructura de los sedimentos y dificultan la capacidad de estos ecosistemas para capturar y almacenar carbono de manera efectiva (Goutam & Saha, 2024). Estudios recientes han demostrado que los pastos marinos que están libres de contaminación plástica tienen una tasa significativamente mayor de secuestro de carbono en comparación con aquellos que están contaminados (Seagrass Restoration Enhances Blue Carbon Sequestration, 2021).

En síntesis, los efectos de los plásticos en los ecosistemas costeros son profundos y multifacéticos. No solo afectan la fotosíntesis y los ciclos de nutrientes, sino que también deterioran la calidad del hábitat, reducen la capacidad de estos ecosistemas para actuar como barreras naturales frente a desastres y comprometen su función como sumideros de carbono. Para mitigar estos impactos, es crucial implementar políticas de reducción de plásticos y promover la restauración ecológica de estas áreas críticas.

3.3. Consecuencias Toxicológicas en Organismos Marinos

Las consecuencias toxicológicas de los plásticos en los organismos marinos son cada vez más evidentes a medida que la investigación avanza, revelando el profundo impacto de los aditivos tóxicos presentes en los plásticos y su capacidad para alterar funciones biológicas críticas. Los ftalatos y el bisfenol A (BPA), dos de los compuestos químicos más comunes en los plásticos, son reconocidos por sus propiedades de *disruptores endocrinos*, lo que significa que interfieren con el sistema hormonal de los organismos expuestos, alterando la reproducción, el desarrollo y el comportamiento (Fabrello & Matozzo, 2022). Estos químicos se liberan al ambiente marino a medida que los plásticos se degradan, lo que los convierte en una amenaza persistente.

El BPA, por ejemplo, puede imitar la acción de las hormonas naturales en los organismos, lo que provoca efectos adversos en el desarrollo sexual y en la diferenciación celular, afectando a una amplia gama de especies marinas, desde moluscos hasta mamíferos marinos. Estudios en peces y crustáceos han demostrado que la exposición prolongada a BPA puede causar anomalías reproductivas, como la feminización de machos, lo que afecta la viabilidad de las poblaciones (Rochman et al., 2013). De manera similar, los ftalatos, que se utilizan comúnmente como plastificantes, también alteran los sistemas hormonales, lo que compromete el crecimiento y el desarrollo de los organismos expuestos (Fred-Ahmadu et al., 2020).

Además de los efectos endocrinos, la exposición a microplásticos puede inducir respuestas inflamatorias en los organismos marinos. Los microplásticos pueden actuar como irritantes físicos cuando son ingeridos o inhalados por los organismos acuáticos, lo que desencadena una respuesta inflamatoria que daña los tejidos y las células. En peces, se ha observado que la exposición a microplásticos provoca daño celular en el hígado y en los riñones, órganos que son críticos para la detoxificación y la regulación metabólica (Hamed et al., 2019). Estas lesiones celulares no solo comprometen la salud de los individuos, sino que también afectan su capacidad para sobrevivir y reproducirse en un entorno contaminado.

Otro aspecto importante es la capacidad de los plásticos para adsorber contaminantes orgánicos persistentes (POPs), como pesticidas y metales pesados, que luego son transferidos a los tejidos de los organismos que ingieren estos plásticos. Los microplásticos actúan como esponjas, atrapando estos contaminantes y transportándolos a lo largo de la cadena alimentaria, lo que amplifica los efectos tóxicos a medida que los contaminantes se bioacumulan en los depredadores superiores (Gao et al., 2019). Esto es particularmente preocupante en especies comerciales, como peces y mariscos, que no solo están expuestos a estos contaminantes, sino que también pueden transferirlos a los humanos a través del consumo (Fred-Ahmadu et al., 2020).

Los efectos toxicológicos de la exposición a plásticos también se reflejan en la disminución de la tasa de supervivencia y en el éxito reproductivo de varias especies. La ingestión de microplásticos y los contaminantes asociados ha demostrado interferir con la producción de huevos y el desarrollo embrionario en especies marinas clave, como el *Dicentrarchus labrax* (lubina europea) (Barboza et al., 2018). Estas alteraciones no solo afectan a las poblaciones individuales, sino que también tienen repercusiones ecológicas más amplias, ya que la reducción en el éxito reproductivo compromete la capacidad de las especies para mantener poblaciones viables a largo plazo.

Finalmente, es importante destacar que los efectos combinados de los microplásticos y los contaminantes químicos amplifican los riesgos toxicológicos para los organismos marinos. La sinergia entre los microplásticos y los compuestos adsorbidos, como el bisfenol A y los ftalatos, puede aumentar la toxicidad de estos últimos, exacerbando los efectos negativos en los sistemas biológicos de los organismos expuestos (Hamed et al., 2019; Fabrello & Matozzo, 2022). Esto subraya la necesidad de abordar no solo la contaminación por plásticos, sino también los contaminantes químicos que se acumulan en ellos, para mitigar adecuadamente el impacto de esta creciente amenaza ambiental.

3.4. Intervenciones y Medidas de Mitigación

La gestión de la contaminación plástica se ha convertido en un desafío global de grandes proporciones, requiriendo un enfoque integral que combine regulaciones estrictas, avances tecnológicos y una cooperación internacional sólida. A medida que la producción de plásticos continúa aumentando exponencialmente, con más de 450 millones de toneladas producidas anualmente, las estrategias de manejo deben enfocarse tanto en la reducción en la fuente como en la mejora de los sistemas de recolección y reciclaje (Huang et al., 2022). Esta crisis no solo afecta a los ecosistemas terrestres y marinos, sino también la salud humana, ya que los microplásticos y los químicos asociados pueden bioacumularse en las cadenas alimentarias (Jambeck et al., 2015).

Uno de los pilares en la gestión de la contaminación plástica es la implementación de políticas que limiten el uso de plásticos de un solo uso, especialmente en productos no esenciales como bolsas, envases y cubiertos desechables. Países como Alemania y Francia han implementado medidas para eliminar progresivamente estos productos, complementando estas políticas con la promoción de materiales biodegradables y reutilizables (Kuchta et al., 2022). Sin embargo, el impacto global de estas políticas depende de su implementación a gran escala. Los estudios demuestran que, a pesar de los esfuerzos en varias regiones, la producción de plásticos sigue aumentando, y se estima que para 2050 habrá más plásticos que peces en los océanos si no se toman medidas más radicales (Geyer et al., 2017).

Además, las políticas deben estar respaldadas por infraestructuras adecuadas de recolección y reciclaje, lo cual sigue siendo un reto, especialmente en países en desarrollo. La mayoría de los residuos plásticos que llegan a los océanos provienen de fuentes terrestres mal gestionadas, lo que subraya la necesidad de mejorar la infraestructura de gestión de residuos sólidos. En países de bajos ingresos, hasta el 90% de los residuos plásticos no se recolectan de manera eficiente, lo que exacerba la acumulación de plásticos en ambientes marinos y fluviales (Jambeck et al., 2015).

En cuanto a los avances tecnológicos, el desarrollo de materiales biodegradables es una solución emergente que, si se implementa correctamente, podría reducir significativamente la persistencia de los plásticos en el ambiente. No obstante, estos materiales requieren condiciones específicas para su descomposición, como plantas de compostaje industrial, que no están ampliamente disponibles en muchas partes del mundo (Kuchta et al., 2022). Por ello, el reciclaje sigue siendo una pieza clave en la gestión de residuos. En particular, las innovaciones como el "bio-upcycling" ofrecen una alternativa interesante, al transformar los residuos plásticos en productos de mayor valor, lo que fomenta una economía circular (Geisendorf & Pietrulla, 2018).

La cooperación internacional también es crucial para enfrentar esta crisis. La naturaleza transfronteriza de la contaminación plástica, que viaja a través de corrientes oceánicas y afecta regiones remotas como el Ártico, requiere un enfoque coordinado a nivel global. La Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA) adoptó en 2022 una resolución histórica para desarrollar un tratado internacional vinculante que regule la producción, el uso y la eliminación de plásticos. Este acuerdo internacional, respaldado por coaliciones como la End Plastic Pollution International Collaborative (EPPIC), busca unir esfuerzos entre gobiernos, el sector privado y la sociedad civil para establecer normas globales de gestión de plásticos y fomentar una transición hacia una economía circular (IUCN, 2023).

Finalmente, la implementación de una economía circular que minimice la producción de nuevos plásticos y maximice la reutilización y el reciclaje es esencial para reducir el impacto ambiental de los plásticos. Esto no solo implicará cambios a nivel político y tecnológico, sino también una transformación en los hábitos de consumo y la concienciación pública sobre la importancia de reducir la dependencia de los plásticos.

4. Discusión

La discusión sobre las soluciones a la contaminación plástica en los ecosistemas marinos y costeros revela la necesidad de abordar el problema desde múltiples enfoques, combinando la implementación de políticas robustas, avances tecnológicos y una cooperación internacional sostenida. El análisis realizado resalta que, si bien las iniciativas locales, como la reducción de plásticos de un solo uso, han demostrado ser efectivas, el desafío reside en la naturaleza global y transfronteriza de la contaminación plástica, que afecta no solo a los mares y costas, sino también a regiones remotas como el Ártico (Bergmann et al., 2017).

Uno de los puntos clave es que las políticas centradas en la eliminación de plásticos de un solo uso deben ser parte de un enfoque más amplio, que incluya el fortalecimiento de las infraestructuras de gestión de residuos. Estudios han demostrado que, a pesar de los esfuerzos en países como Kenia, que han visto reducciones significativas en el uso de plásticos desechables, estos esfuerzos resultan insuficientes si no van acompañados de mejoras en los sistemas de recolección y reciclaje (Besseling et al., 2017). Además, las proyecciones indican que, sin una intervención drástica, la producción de plásticos seguirá aumentando exponencialmente, lo que exacerbará la crisis de residuos plásticos en los océanos para 2050 (Geyer et al., 2017).

Otro aspecto fundamental discutido es la viabilidad de los plásticos biodegradables. Si bien estos materiales ofrecen una solución prometedora para reducir la persistencia de los plásticos en el ambiente, su eficacia depende en gran medida de las condiciones bajo las cuales son desechados y gestionados. Actualmente, la falta de infraestructura adecuada para el compostaje industrial limita el potencial de los plásticos biodegradables para reemplazar los plásticos tradicionales (Kuchta et al., 2022). Este hecho subraya la importancia de una transición hacia una economía circular, en la cual los productos plásticos sean diseñados desde su origen para ser reutilizados o reciclados, minimizando la producción de desechos (Geisendorf & Pietrulla, 2018).

Además, la discusión sobre la cooperación internacional destaca la necesidad de un tratado vinculante para regular la producción y gestión de plásticos a nivel global. La resolución adoptada por la Asamblea de las Naciones Unidas en 2022 representa un avance significativo, pero su éxito dependerá de la capacidad de los países para coordinarse y aplicar soluciones efectivas que consideren tanto el contexto local como el impacto global de la contaminación plástica (IUCN, 2023). La creación de alianzas como la End Plastic Pollution International Collaborative (EPPIC) refuerza la importancia de la cooperación público-privada para acelerar la innovación y la implementación de estrategias de gestión de residuos.

Finalmente, los avances en tecnologías de reciclaje, como el "bio-upcycling", ofrecen una vía para transformar los residuos plásticos en productos de mayor valor. Esta innovación no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también fomenta una mayor eficiencia en el uso de recursos, lo que es clave para la transición hacia una economía circular sostenible (Huang et al., 2022). Sin embargo, los desafíos técnicos y económicos para la implementación masiva de estas soluciones requieren de un esfuerzo concertado entre gobiernos, empresas y la sociedad civil.

Para concluir, la discusión sobre la gestión de la contaminación plástica evidencia que las soluciones deben ser integrales, abarcando desde la reducción en la fuente hasta la mejora en la gestión de residuos y la innovación tecnológica. La combinación de políticas efectivas, avances científicos y cooperación internacional puede lograr un impacto significativo en la mitigación de la crisis plástica que enfrenta el planeta.

5. Conclusiones

A partir del análisis de la contaminación plástica en los ecosistemas marinos y costeros, se concluye que este problema requiere un enfoque integral y coordinado para ser abordado eficazmente. Las políticas de reducción del uso de plásticos de un solo uso, aunque importantes, no son suficientes sin una mejora significativa en los sistemas de gestión de residuos y reciclaje, especialmente en regiones con infraestructuras deficientes. El desarrollo de materiales biodegradables ofrece una solución prometedora, pero su implementación efectiva está condicionada por la creación de infraestructuras que permitan su descomposición adecuada y la integración en la economía circular.

El reto de la contaminación plástica también pone de manifiesto la necesidad de una cooperación internacional sólida, dado que los residuos plásticos no respetan fronteras y afectan ecosistemas a nivel global. El reciente impulso hacia un tratado internacional

vinculante, promovido por la Asamblea de las Naciones Unidas, es un paso clave en la regulación de la producción y eliminación de plásticos. La ciencia, la tecnología y las políticas deben trabajar en conjunto para desarrollar soluciones que no solo mitiguen la acumulación de plásticos, sino que también transformen la manera en que se diseñan, consumen y gestionan estos materiales.

En última instancia, la transición hacia una economía circular es esencial para reducir la dependencia de los plásticos y minimizar su impacto ambiental. Esto requerirá no solo innovaciones tecnológicas, sino también un cambio cultural y económico hacia un sistema más sostenible y eficiente en el uso de recursos.

Referencias Bibliográficas

Barboza, L. G. A., Vieira, L. R., & Guilhermino, L. (2018a). Single and combined effects of microplastics and mercury on juveniles of the European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Environmental Pollution, 236*, 1014–1019. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.082

Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364*(1526), 1985-1998. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205

Bergmann, M., Wirzberger, V., Krumpen, T., Lorenz, C., Primpke, S., Tekman, M. B., & Gerdts, G. (2017). High quantities of microplastic in Arctic deep-sea sediments from the HAUSGARTEN observatory. *Environmental Science & Technology, 51*(19), 11000–11010. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03331

Besseling, E., Quik, J. T., Sun, M., & Koelmans, A. A. (2017). Fate of nano-and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution, 220*, 540–548. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.001

Botterell, Z. L., Beaumont, N., Cole, M., Hopkins, F. E., & Lindeque, P. K. (2019). Bioavailability of microplastics to marine zooplankton: effect of shape and infochemicals. *Environmental Science & Technology*, 54(19), 12024–12033. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02715

Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Cacador, I., & Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 178*, 189-195. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2015). Microplastics alter the properties and sinking rates of zooplankton faecal pellets. *Environmental Science & Technology, 50*(5), 3239-3246. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05905

Costa, E. et al. (2020). Trophic Transfer of Microplastics From Copepods to Jellyfish in the Marine Environment. *Frontiers*. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00148

Fred-Ahmadu, O. H., Bhagwat, G., Oluyoye, I., Benson, N. U., Ayejuyo, O. O., & Palanisami, T. (2020). Interaction of chemical contaminants with microplastics: principles and perspectives. *Science of the Total Environment*, 706, 135978. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135978

Gao, F., Li, J., Sun, C., Zhang, L., Jiang, F., Cao, W., & Zheng, L. (2019). Study on the capability and characteristics of heavy metals enriched on microplastics in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 144, 61-67. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.017

Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2018). The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 60, 771–782. https://doi.org/10.1002/tie.21968

Goldstein, M. C., Rosenberg, M., & Cheng, L. (2013). Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. *Biology Letters, 8*(6), 817-820. https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0298

Goutam, S., & Saha, S. C. (2024). Tiny particles, big problems: The threat of microplastics to marine life and human health. *Processes, 12*(7), 1401. https://doi.org/10.3390/pr12071401

Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias (pp. 72–91). Editorial Grupo AEA. https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17

Hidalgo-Ruz, V., & Thiel, M. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Marine Environmental Research, 87-88*, 12-18. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015

Huang, S., Wang, H., Ahmad, W., Ahmad, A., Ivanovich Vatin, N., Mohamed, A. M., & Mehmood, I. (2022). Plastic Waste Management Strategies and Their Environmental Aspects: A Scientometric Analysis and Comprehensive Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8), 4556. https://doi.org/10.3390/ijerph19084556

IUCN. (2023). *End Plastic Pollution International Collaborative*. https://doi.org/10.3390/su142416476

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. https://doi.org/10.1126/science.1260352

Kuhn, S., Rebolledo, E. L. B., & van Franeker, J. A. (2015). Deleterious effects of litter on marine life. In *Marine anthropogenic litter* (pp. 75-116). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4

Lamb, J. B., Willis, B. L., Fiorenza, E. A., Couch, C. S., Howard, R., Rader, D. N., & Harvell, C. D. (2018). Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science, 359*(6374), 460-462. https://doi.org/10.1126/science.aar3320

McIlgorm, A., Campbell, H. F., & Rule, M. J. (2011). The economic cost and control of marine debris damage in the Asia-Pacific region. *Ocean & Coastal Management, 54*(9), 643-651. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.05.007

Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. Journal of Economic and Social Science Research, 4(3), 65–88. https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121

Ory, N. C., Gallardo, C., Lenz, M., & Thiel, M. (2017). Capture, swallowing, and egestion of microplastics by a planktivorous juvenile fish. *Environmental Pollution, 225*, 477-485. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.072

Rochman, C. M. (2016). The role of plastic debris in chemical pollution of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science, 73*(3), 175-184. https://doi.org/10.1007/698_2016_17

Seagrass Restoration Enhances Blue Carbon Sequestration. (2021). *PLOS ONE*. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072469

Vargas-Fonseca, A. D., Borja-Cuadros, O. M., & Cristiano-Mendivelso, J. F. (2023b). Introducción a la estructura ecológica principal del Distrito Capital y su región ambiental: Conceptos fundamentales, ordenamiento territorial e instrumentos jurídicos. Editorial Grupo AEA. https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.34

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses