

Impact of microplastics on marine ecosystems: An analysis of their ecological effects

Luis Ángel Vignolo Farfán 

Universidad Tecnológica del Perú, Piura, Perú, E-mail: c25129@utp.edu.pe

Abstract- *The presence of microplastics in marine ecosystems has generated growing concern about their ecological impacts. This study conducted a systematic literature review (SLR) in databases such as Redalyc, Web of Science, Google Scholar, Scielo, Dialnet, and Scopus, selecting 31 relevant studies. The results show that organisms such as zooplankton, bivalves, echinoderm larvae, and small fish are especially vulnerable due to their diet, developmental stage, and trophic position. Significant risks were also identified for seabirds, turtles, and marine mammals, primarily through accidental ingestion and bioaccumulation. The most common physiological effects include apoptosis, inflammation, oxidative stress, and metabolic imbalances, affecting digestive organs and enzymatic functions. Bioaccumulation throughout the food chain exacerbates these damages. Furthermore, densely populated coastal regions such as the Sundarbans, Lake Tai, and parts of Latin America have high levels of pollution, with negative impacts on marine biodiversity. The findings highlight the urgent need to implement actions to mitigate the ecological effects of microplastics in marine environments.*

Keywords: *Microplastics, Marine ecosystems, Ecological effects, Marine pollution, Bioaccumulation.*

Impacto de microplásticos en ecosistemas marinos: Un análisis de sus efectos ecológicos

Luis Ángel Vignolo Farfán 

Universidad Tecnológica del Perú, Piura, Perú, E-mail: c25129@utp.edu.pe

Resumen- La presencia de microplásticos en ecosistemas marinos ha generado creciente preocupación por sus impactos ecológicos. Este estudio realizó una revisión sistemática de la literatura (RSL) en bases como Redalyc, Web of Science, Google Académico, Scielo, Dialnet y Scopus, seleccionando 31 estudios relevantes. Los resultados evidencian que organismos como el zooplankton, bivalvos, larvas de equinodermos y peces pequeños son especialmente vulnerables, debido a su alimentación, etapa de desarrollo y posición trófica. También se identificaron riesgos significativos para aves marinas, tortugas y mamíferos marinos, principalmente por ingestión accidental y bioacumulación. Los efectos fisiológicos más comunes incluyen apoptosis, inflamación, estrés oxidativo y desequilibrios metabólicos, afectando órganos digestivos y funciones enzimáticas. La bioacumulación a lo largo de la cadena trófica agrava estos daños. Además, regiones costeras densamente pobladas como Sundarbans, el lago Tai y zonas latinoamericanas presentan altos niveles de contaminación, con impactos negativos en la biodiversidad marina. Los hallazgos resaltan la necesidad urgente de implementar acciones para mitigar los efectos ecológicos de los microplásticos en ambientes marinos.

Palabras clave: Microplásticos, Ecosistemas marinos, Efectos ecológicos, Contaminación marina, Bioacumulación.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la contaminación por plásticos se ha consolidado como una de las amenazas más graves para los ecosistemas marinos a nivel global. Dentro de esta problemática, los microplásticos —fragmentos de plástico menores a 5 mm— han adquirido especial relevancia debido a su persistencia en el ambiente, su fácil incorporación en las redes tróficas y su presencia incluso en zonas remotas del océano [1]. Estas partículas pueden originarse por la fragmentación de plásticos de mayor tamaño o ser fabricadas intencionalmente para su uso en productos industriales y cosméticos, representando un riesgo creciente para la salud ambiental de mares y océanos.

La presencia de microplásticos afecta a una amplia variedad de organismos marinos, desde el plancton hasta los grandes depredadores. Diversas investigaciones han demostrado que estos contaminantes son ingeridos accidentalmente, provocando efectos fisiológicos como inflamaciones,

obstrucciones intestinales y alteraciones metabólicas [2]. También se han documentado impactos reproductivos significativos, como la reducción de la fecundidad y el desarrollo embrionario anormal en invertebrados y peces [3]. Estos efectos individuales pueden escalar a consecuencias ecológicas más amplias, incluyendo alteraciones en las dinámicas poblacionales, debilitamiento de las redes alimentarias y deterioro de hábitats marinos [4].

Uno de los aspectos más preocupantes es la capacidad de los microplásticos para actuar como vectores de contaminantes químicos y microorganismos patógenos. Este fenómeno favorece procesos de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica [5], comprometiendo no solo la salud de las especies marinas, sino también la seguridad alimentaria humana al afectar recursos pesqueros clave. Además, hábitats como arrecifes de coral, praderas submarinas y fondos oceánicos están siendo degradados por la acumulación constante de estos residuos, lo que reduce su capacidad de resiliencia frente a otros estresores ambientales, como el cambio climático [6].

Los ecosistemas marinos son esenciales para el equilibrio del planeta: regulan el clima, absorben dióxido de carbono y son fuente de alimentos, oxígeno y biodiversidad. Sin embargo, su creciente vulnerabilidad frente a las actividades humanas exige una comprensión profunda de las amenazas que enfrentan. En este contexto, resulta fundamental realizar una revisión crítica y actualizada sobre los efectos ecológicos de los microplásticos, no solo para dimensionar la magnitud del problema, sino también para orientar estrategias de conservación, legislación ambiental y educación pública.

Este artículo de revisión tiene como objetivo general analizar los efectos ecológicos de los microplásticos en los ecosistemas marinos, integrando hallazgos recientes que permitan comprender cómo estas partículas alteran la estructura y funcionalidad de los sistemas biológicos oceánicos. La importancia de este análisis radica en que proporciona una base científica sólida para abordar una de las problemáticas ambientales más urgentes de nuestro tiempo. A partir de las subpreguntas formuladas mediante el método PICOC, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar los organismos marinos más vulnerables a la exposición a microplásticos.
2. Analizar los efectos fisiológicos y reproductivos que provocan los microplásticos en diversas especies marinas.
3. Evaluar las consecuencias de la bioacumulación de microplásticos en la cadena trófica marina.
4. Determinar las regiones o hábitats marinos con mayores niveles de contaminación por microplásticos y cómo esta afecta a la biodiversidad local.

II. METODOLOGÍA

La metodología PICOC es una herramienta estructurada que facilita la formulación de preguntas de investigación de manera clara, precisa y enfocada, siendo especialmente útil en revisiones sistemáticas y estudios clínicos. Su nombre corresponde a los siguientes componentes:

P (Población): grupo de individuos con características comunes sobre los cuales se desea obtener información.

I (Intervención): acción, tratamiento o exposición que se busca evaluar.

C (Comparación): grupo control o alternativa frente a la intervención.

O (Resultados): efectos o desenlaces que se pretenden medir.

C (Contexto): entorno físico, social o institucional en el que ocurre la intervención.

El uso de esta metodología permitió una formulación más clara de la pregunta de investigación y facilitó la identificación precisa de estudios relevantes, al establecer criterios de inclusión y exclusión bien definidos (Actas Urológicas Españolas, 2018) [7].

A partir de la aplicación del enfoque PICOC, se formuló la siguiente pregunta de investigación central:

¿Cuáles son los efectos ecológicos de los microplásticos en los ecosistemas marinos?

De esta pregunta principal se derivaron subpreguntas específicas asociadas a cada componente del modelo, las cuales se presentan en la Tabla I.

TABLA I
SUBPREGUNTAS DERIVADAS DE PICOC

Siglas	Elemento	Interacción	Preguntas
P	Población	(Población - Intervención)	¿Qué organismos marinos presentan mayor vulnerabilidad a la exposición a microplásticos?
I	Intervención	(Intervención - Resultado)	¿Qué efectos fisiológicos y reproductivos provocan los microplásticos en especies marinas?
C	Comparación	(Comparación - Resultado)	¿Cómo varían los impactos ecológicos entre ecosistemas marinos contaminados con microplásticos y aquellos relativamente libres de ellos?
O	Resultado	(Resultado - Población)	¿Qué consecuencias tiene la bioacumulación de microplásticos en la cadena trófica marina?
C	Contexto	(Contexto - Intervención - Resultado)	¿Qué regiones o hábitats marinos presentan mayores niveles de contaminación por microplásticos y cómo afecta esto a la biodiversidad local?

Asimismo, la tabla II muestra las palabras clave rescatadas de esta metodología, las cuales ayudaron al desarrollo de la ecuación de búsqueda.

TABLA II
PALABRAS CLAVES OBTENIDAS CON LA METODOLOGÍA PICOC

Siglas	Elemento	Descripción aplicada
P	Población	Organismos marinos / Ecosistemas marinos
I	Intervención	Exposición a microplásticos
C	Comparación	Ecosistemas sin presencia de microplásticos
O	Resultado	Efectos ecológicos: fisiológicos, bioacumulación, cambios en la cadena trófica
C	Contexto	Ecosistemas marinos (océanos, mares, zonas costeras)

La búsqueda de fuentes de información se llevó a cabo con rigurosidad metodológica, respetando estrictamente los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Esta estrategia permitió la formulación precisa de ecuaciones de búsqueda, las cuales fueron aplicadas en cada una de las bases de datos seleccionadas. Gracias a ello, fue posible filtrar de manera efectiva los artículos pertinentes al tema de investigación.

La guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) constituye un estándar internacional ampliamente reconocido para la elaboración de revisiones sistemáticas y metaanálisis. Este instrumento proporciona un conjunto de 27 ítems distribuidos en secciones clave del informe (título, resumen, introducción, métodos, resultados, discusión y financiamiento), además de un diagrama de flujo que facilita la selección de estudios.

La versión más reciente, PRISMA 2020, incorpora actualizaciones metodológicas que responden a los avances en la síntesis de evidencia, mejorando la presentación de resultados y promoviendo una mayor transparencia y reproducibilidad en las revisiones (Page et al., 2021) [8]. Asimismo, esta guía busca fortalecer la precisión en la

documentación de las estrategias de búsqueda bibliográfica, los criterios de selección y la evaluación del riesgo de sesgo (Revista Panamericana de Salud Pública, 2022) [9][10].

En esta herramienta se registraron las seis bases de datos utilizadas: Web of Science, Redalyc, Scielo, Dialnet, Google Académico y Scopus, con un total de 247 artículos identificados. Además, se definieron los criterios de inclusión y exclusión, los cuales se detallan en las Tablas III y IV.

TABLA III

CRITERIOS DE INCLUSIÓN APLICADOS PARA LA SELECCIÓN DE ESTUDIOS

N°	Criterio
CI-1	Estudios que traten el tema de los organismos marinos que presentan mayor vulnerabilidad a la exposición a microplásticos
CI-2	Estudios que se centren específicamente en lo efectos fisiológicos y reproductivos provocan los microplásticos en especies marinas
CI-3	Estudios que aborden los impactos ecológicos entre ecosistemas marinos contaminados con microplásticos y aquellos relativamente libres de ellos
CI-4	Estudios que traten el tema de las consecuencias de la bioacumulación de microplásticos en la cadena trófica marina
CI-5	Estudios que aborden los hábitas marinos presentan mayores niveles de contaminación por microplásticos y cómo afecta esto a la biodiversidad

TABLA IV

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN APLICADOS PARA LA SELECCIÓN DE ESTUDIOS

N°	Criterios
CE-1	Estudios publicados fuera del rango temporal definido (2020-2025)
CE-2	Estudios en idiomas que no correspondan al español o inglés
CE-3	Artículos cuyo texto completo se encuentre restringido
CE-4	Estudios que no correspondan a artículos de investigación.
CE-5	Estudios que estén en proceso o que no estén publicados en su forma final.

Ecuaciones de Búsqueda por Base de Datos

Web of Science: TS= (microplastics AND marine ecosystems) AND LANGUAGE:(Spanish OR English) AND YEAR: [2020-2025]

Scopus: TITLE-ABS-KEY (microplastics AND marine biodiversity) AND PUBYEAR > 2019 AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, 'English') OR LIMIT-TO (LANGUAGE, 'Spanish'))

Redalyc: microplásticos + ecosistemas marinos + filtros: idioma español, años 2020-2025

SciELO: (microplásticos AND efectos ecológicos) AND filtros: español/inglés, 2020-2025

Dialnet: microplásticos en ecosistemas marinos AND filtros: artículos científicos, 2020-2025

Google Académico: "microplásticos ecosistemas marinos" + filtros: idioma español/inglés, años 2020-2025

Evaluación de Calidad y Riesgo de Sesgo

Instrumentos utilizados:

- Estudios observacionales: STROBE checklist.

Número de revisores: 2 por fase. Discrepancias resueltas por consenso o tercer revisor.

Limitaciones del Estudio

- Alta heterogeneidad entre estudios.
- Posible sesgo de publicación e idioma.
- Escasez de datos cuantificables.
- Mezcla de estudios marinos y dulceacuícolas.

Continuando con el proceso de exclusión, este se realizó tal y como se observa en la fig. 1 diagrama PRISMA:

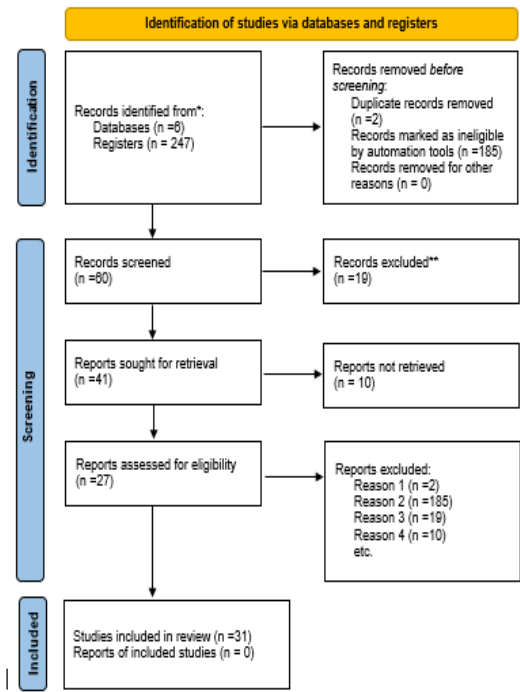


Fig. 1 Diagrama PRISMA

Fechas de búsqueda: enero 2020 - junio 2025.

Bases: Web of Science, Scopus, Redalyc, SciELO, Dialnet, Google Académico.

III. RESULTADOS

Los resultados se presentan básicamente respondiendo a los cuatro (04) objetivos específicos los mismos que están en sintonía con las subpreguntas que se obtuvieron con la aplicación de método PICOC.

3.1 Resultados del objetivo específico 1: Identificar los organismos marinos que presentan mayor vulnerabilidad a la exposición a microplásticos

La exposición a microplásticos afecta a una amplia variedad de especies marinas; sin embargo, ciertos organismos presentan una vulnerabilidad significativamente mayor debido a factores como su morfología, hábitos alimentarios, hábitat y posición en la cadena trófica. Entre los más afectados se encuentran el zooplancton, los bivalvos, peces pequeños, equinodermos juveniles, aves marinas, tortugas y mamíferos marinos.

Los organismos filtradores, como los bivalvos (por ejemplo, *Ruditapes philippinarum*), son especialmente susceptibles, ya que ingieren microplásticos de forma involuntaria a través de su mecanismo de alimentación, lo que puede provocar alteraciones fisiológicas y bioquímicas [19]. De igual manera, el zooplancton base fundamental de la cadena alimentaria marina presenta una alta tasa de ingestión de microplásticos, particularmente en zonas costeras durante eventos estacionales como los monzones, donde aumenta la biodisponibilidad de estos contaminantes [13].

Las especies en etapas larvarias o juveniles también muestran una sensibilidad elevada. Por ejemplo, los pepinos de mar (*Holothuria leucospilota*) presentan mayores tasas de ingestión y alteraciones en su desarrollo cuando están expuestos a microplásticos durante sus fases tempranas [17].

Mamíferos marinos, aves y tortugas enfrentan otra forma de vulnerabilidad, ya que pueden ingerir fragmentos plásticos al confundirlos con presas o como resultado del proceso de bioacumulación a lo largo de la red trófica [11].

Con base en la literatura revisada, los organismos marinos más vulnerables a la exposición a microplásticos incluyen:

- Zooplancton, por su posición basal en la cadena trófica y su alta tasa de ingestión [13].
- Bivalvos filtradores, como *Ruditapes philippinarum* [19].

- Larvas de equinodermos, como *Holothuria leucospilota* [17].
- Peces pequeños y especies bentónicas, que habitan zonas donde se acumulan microplásticos [12], [16].
- Aves marinas, tortugas y mamíferos marinos, especialmente en áreas con alta concentración de macro y microplásticos [11], [14].
- Peces modelo, como el pez cebra (*Danio rerio*), que han mostrado efectos sistémicos tras exposiciones prolongadas [18].

3.2 Resultados del objetivo específico 2: Analizar los efectos fisiológicos y reproductivos que provocan los microplásticos en diversas especies marinas.

Numerosos estudios han evidenciado que la exposición a microplásticos puede provocar efectos fisiológicos y reproductivos significativos en una amplia gama de especies marinas. Estos impactos incluyen desde daño celular y estrés oxidativo hasta alteraciones hormonales y disminución del éxito reproductivo.

En medusas (*Aurelia aurita*), la exposición combinada a microplásticos y tetraciclina indujo apoptosis, alteraciones enzimáticas y trastornos metabólicos en los pólipos, lo que demuestra la interferencia directa de los microplásticos en funciones celulares esenciales [21].

En *Artemia sp.*, se observaron daños gastrointestinales, acumulación de microplásticos, desequilibrio osmótico, estrés oxidativo y alteraciones enzimáticas digestivas, afectando su fisiología general y capacidad reproductiva [22].

En mejillones juveniles, la exposición a microfibras de poliéster y algodón generó alteraciones en el crecimiento y efectos subletales, como acumulación de lípidos, estrés oxidativo y cambios en la actividad hepática, lo que sugiere un impacto fisiológico crónico con posibles consecuencias reproductivas a largo plazo [23].

En moluscos bivalvos, la exposición a ftalatos y microplásticos provocó disfunciones reproductivas, incluyendo alteraciones en la espermatogénesis y en la expresión génica relacionada con la producción hormonal, evidenciando una disrupción endocrina [24].

En carpas, los microplásticos de polietileno causaron apoptosis ovárica, inflamación y afectación de la vía de señalización miR-132/CAPN, comprometiendo la integridad celular de los ovarios y la capacidad reproductiva [25].

En peces cebra (*Danio rerio*), se reportaron efectos negativos sobre la eclosión embrionaria, acumulación intestinal y daños durante el desarrollo larval, lo que implica consecuencias tanto fisiológicas como reproductivas [26]. Otro estudio con esta especie mostró que la exposición combinada a microplásticos de poliestireno y al retardante de llama TBBPA generó toxicidad celular, afectando la viabilidad embrionaria y reproductiva [27].

En el zooplancton *Daphnia magna*, los microplásticos redujeron el crecimiento y la reproducción al interferir con la ingesta de alimentos y alterar su fisiología interna, disminuyendo la tasa reproductiva y el tamaño de las crías [28].

Finalmente, en *Poecilia reticulata*, la exposición gestacional a nanoplasticos de poliestireno provocó alteraciones reproductivas en las hembras y efectos bioquímicos adversos en los embriones, lo que sugiere un impacto transgeneracional que compromete la viabilidad de futuras generaciones [29].

Efectos fisiológicos identificados:

- Apoptosis y daño celular [21], [25].
- Estrés oxidativo y alteraciones enzimáticas [22], [23].
- Acumulación intestinal y metabólica [22], [26].
- Alteración en vías de señalización celular (miR-132/CAPN) [25].

Efectos reproductivos identificados:

- Inhibición de la espermatogénesis y disrupción endocrina [24].
- Reducción en la viabilidad embrionaria [26], [27].
- Disminución en la tasa reproductiva y tamaño de crías [28].
- Efectos transgeneracionales negativos [29].

3.3. Resultados de objetivo específico 3: Evaluar las consecuencias de la bioacumulación de microplásticos en la cadena trófica marina.

La bioacumulación de microplásticos (MPs) en organismos marinos ha demostrado tener efectos negativos a lo largo de distintos niveles tróficos, desde el plancton hasta los grandes depredadores. Uno de los principales riesgos es la transferencia de microplásticos a través de la cadena alimentaria, lo que incrementa su concentración en los niveles

tróficos superiores mediante un proceso conocido como biomagnificación [36], [40].

Esta acumulación puede alterar funciones fisiológicas esenciales. Por ejemplo, se ha documentado que la exposición crónica a MPs afecta negativamente el metabolismo y el sistema inmunológico de moluscos y peces, generando estrés oxidativo y reduciendo su capacidad reproductiva [19], [20]. Además, la transferencia trófica de estos contaminantes puede modificar la disponibilidad de nutrientes y alterar el comportamiento alimentario de los organismos afectados [37].

Principales consecuencias fisiológicas y ecológicas observadas:

- Estrés oxidativo: La exposición prolongada a MPs promueve la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que altera la actividad de enzimas antioxidantes en bivalvos y peces, como en el caso de *Ruditapes philippinarum* [19].
- Disminución en la eficiencia alimentaria: Organismos como el plancton y otros filtradores reducen su tasa de alimentación debido a la obstrucción del sistema digestivo por microplásticos, lo que conlleva deficiencias nutricionales [20], [41].
- Afectaciones reproductivas: Se ha observado una disminución en la producción de gametos, alteraciones en las glándulas reproductoras y una reducción en la fertilidad en peces y moluscos expuestos a MPs [19], [38].
- Modificaciones conductuales: Algunos peces presentan cambios en sus patrones de alimentación, lo que puede afectar su crecimiento y éxito reproductivo [37].

En conjunto, estos efectos no solo comprometen la salud individual de las especies marinas, sino que también amenazan la estabilidad ecológica de los ecosistemas marinos al alterar las interacciones tróficas y los procesos de transferencia de energía.

3.4. Resultados de objetivo específico 4: Determinar las regiones o hábitats marinos con mayores niveles de contaminación por microplásticos y cómo esta contaminación afecta a la biodiversidad local.

Diversos hábitats marinos y costeros presentan altos niveles de contaminación por microplásticos (MPs), lo que genera impactos fisiológicos y reproductivos significativos en múltiples especies. Los ecosistemas costeros y estuarios,

debido a su cercanía a fuentes urbanas e industriales, son especialmente vulnerables [36], [38].

En el ecosistema de manglares de Sundarbans (Bangladesh), se ha registrado una elevada concentración de MPs, los cuales afectan la salud de especies acuáticas mediante su ingestión y posterior transferencia trófica. Esto ha provocado respuestas fisiológicas como daño celular, acumulación de radicales libres y estrés oxidativo en peces y crustáceos [39].

En América Latina, se ha identificado una distribución significativa de MPs en zonas costeras, particularmente en el Caribe y el Pacífico, donde se ha constatado su presencia en peces y moluscos. Estos organismos presentan alteraciones reproductivas como reducción en la fertilidad y disfunción gonadal [38].

Además, estudios como el de Zhang et al. destacan que las regiones costeras densamente pobladas presentan una alta acumulación de microplásticos y una intensa transferencia trófica, lo que incrementa el riesgo ecológico en estos entornos [36].

Regiones y hábitats con mayores niveles de contaminación por microplásticos:

- Sundarbans (Bangladesh): Ecosistema de manglar con alta concentración de MPs y efectos fisiológicos documentados en peces y crustáceos [39].
- Zonas costeras de América Latina: Especialmente en el Caribe y el Pacífico, con presencia de MPs en organismos clave y efectos reproductivos evidentes [38].
- Regiones costeras densamente pobladas: Alta acumulación de MPs y riesgo de biomagnificación en la cadena trófica marina [36].

IV. DISCUSIÓN

La revisión de la literatura evidencia un patrón consistente: los organismos marinos que se alimentan por filtración, poseen ciclos de vida larvales prolongados o se ubican en niveles tróficos bajos son los más afectados por la exposición a microplásticos. En ecosistemas tropicales costeros, el zooplancton experimenta una mayor exposición durante temporadas de lluvias intensas, lo que amplifica los efectos en niveles tróficos superiores a través del proceso de biomagnificación [13].

Los bivalvos, como *Ruditapes philippinarum*, han mostrado respuestas fisiológicas adversas, incluyendo estrés oxidativo y alteraciones enzimáticas, especialmente cuando están expuestos a microplásticos en combinación con metales pesados como el cobre, lo que representa una amenaza ambiental compuesta [19].

Las especies en etapas larvales, como el pepino de mar, enfrentan efectos letales y subletales debido a la ingestión continua de microplásticos, comprometiendo su desarrollo y supervivencia [17]. Asimismo, organismos modelo como el pez cebra han evidenciado alteraciones en el microbioma intestinal y el metabolismo, lo que indica un desequilibrio sistémico derivado de la exposición prolongada a polímeros sintéticos [18].

En niveles tróficos superiores, aves marinas, mamíferos y tortugas están expuestos tanto a la ingestión directa de microplásticos como a su transferencia a través de las presas. El índice de vulnerabilidad propuesto por Omeyer et al. [11] clasifica a estas especies como altamente vulnerables debido a su comportamiento alimentario y su dependencia de hábitats costeros [11], [14].

Los microplásticos generan una amplia gama de efectos negativos, tanto fisiológicos como reproductivos. Se ha documentado su capacidad para inducir apoptosis [21], [25], alterar procesos enzimáticos [22], [23] y afectar funciones gastrointestinales y celulares, como se ha observado en *Artemia sp.* y *Danio rerio* [22], [26]. Estos efectos son especialmente críticos en etapas vulnerables como larvas y embriones.

En el ámbito reproductivo, los microplásticos actúan como disruptores endocrinos, interfiriendo en la espermatogénesis y la producción de hormonas sexuales en mejillones [24], así como generando efectos negativos en la descendencia de *guppys* expuestos durante la gestación [29].

La variabilidad de los efectos según la especie y la etapa de desarrollo resalta la complejidad del problema. Por ejemplo, *Daphnia magna* presenta una reducción en la reproducción debido a la interferencia alimentaria [28], mientras que en *Poecilia reticulata* los efectos se extienden desde las madres hasta sus crías [29].

En conjunto, estos hallazgos demuestran que los microplásticos no solo representan un riesgo físico al ser ingeridos, sino que también tienen un profundo impacto biológico a nivel celular, endocrino y reproductivo.

La transferencia trófica de microplásticos representa una amenaza emergente para la salud de los ecosistemas acuáticos. Estudios como el de [36] muestran, mediante modelos de balance de masa, cómo los MPs se acumulan en depredadores tope, afectando especialmente a especies longevas. En el

contexto latinoamericano, [38] subrayan la urgencia de comprender estos efectos en especies clave como los peces comerciales, dada su relevancia para la seguridad alimentaria humana.

Por otro lado, [39] reportan una correlación entre la presencia de MPs y la disminución de la biomasa reproductiva en especies del ecosistema de manglares de Sundarbans, lo que evidencia la vulnerabilidad de hábitats sensibles. En el lago Tai, [37] destacan el riesgo de transferencia de MPs hacia el ser humano, lo que incrementa la preocupación por los efectos acumulativos a largo plazo. [40] refuerzan que la biomagnificación de microplásticos no solo afecta a los organismos individuales, sino que compromete la estabilidad de toda la red trófica, lo que exige una atención especial a las rutas de exposición y a las respuestas fisiológicas específicas según el grupo taxonómico.

Finalmente, la distribución desigual de microplásticos en el ambiente marino está directamente relacionada con la actividad humana. Las regiones costeras y cuerpos de agua cercanos a zonas urbanas presentan una mayor acumulación de MPs, lo que conlleva consecuencias fisiológicas más severas en la fauna local. En Sundarbans, por ejemplo, se ha documentado bioacumulación de MPs en peces, con disfunciones enzimáticas y reproductivas [39], en línea con los hallazgos de [36]. En América Latina, [38] destacan que la falta de tratamiento adecuado de residuos plásticos ha favorecido una alta presencia de MPs, afectando la reproducción de moluscos y peces, y comprometiendo la viabilidad poblacional de diversas especies.

Además, [41] demuestran que el zooplancton, componente clave en la base de la red trófica marina, también sufre efectos fisiológicos por la ingestión de MPs, lo que puede desencadenar consecuencias en cascada sobre todo el ecosistema.

V. CONCLUSIONES

Los organismos más vulnerables a los microplásticos incluyen el zooplancton, bivalvos, larvas de equinodermos y peces pequeños, debido a su forma de alimentación, etapa de desarrollo o posición en la cadena trófica.

Aves marinas, tortugas y mamíferos marinos presentan una vulnerabilidad distinta pero igualmente grave, relacionada con la ingestión accidental de microplásticos y su acumulación a través de la cadena alimentaria.

La susceptibilidad a los microplásticos varía según factores ambientales, como la estacionalidad y la ubicación geográfica,

Los microplásticos provocan efectos fisiológicos severos, incluyendo apoptosis, inflamación, estrés oxidativo y alteraciones metabólicas en diversas especies marinas.

Los procesos reproductivos también se ven afectados, con consecuencias como la reducción de la fertilidad, alteraciones hormonales y efectos negativos en la descendencia.

La acción de los microplásticos como disruptores endocrinos es especialmente preocupante, ya que puede generar efectos a largo plazo y afectar a múltiples generaciones.

Los efectos varían según la especie y el tipo de microplástico, lo que subraya la necesidad de investigaciones continuas y de políticas regulatorias específicas para mitigar esta forma de contaminación.

La bioacumulación de microplásticos en la cadena trófica marina genera consecuencias fisiológicas graves, como daño en órganos digestivos, estrés oxidativo y alteraciones metabólicas.

Los efectos reproductivos incluyen la disminución en la producción de gametos, disfunciones hormonales y reducción de la fertilidad, afectando a peces, moluscos y otros organismos marinos.

La transferencia trófica intensifica la concentración de microplásticos en los niveles superiores, aumentando los riesgos fisiológicos en depredadores tope y representando una amenaza potencial para la salud humana.

Las regiones costeras con alta densidad poblacional, como el manglar de Sundarbans y las costas de América Latina, presentan los mayores niveles de contaminación por microplásticos. Esta contaminación genera efectos negativos directos sobre la biodiversidad marina, manifestados en daños fisiológicos (estrés oxidativo, alteraciones enzimáticas y metabólicas) y reproductivos (disminución de la fertilidad, alteraciones hormonales y daño gonadal).

La persistencia de estos efectos compromete la estabilidad ecológica y la sostenibilidad de las poblaciones marinas a mediano y largo plazo, lo que hace urgente la implementación de acciones regionales específicas de monitoreo, regulación y mitigación.

IMPLICACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

- Monitoreo en estuarios tropicales.
- Manejo de residuos plásticos en costas urbanas.

AGENDA DE INVESTIGACIÓN FUTURA

- Estudios longitudinales sobre efectos multigeneracionales.
- Evaluación de impacto de nanoplasticos en especies comerciales.
- Desarrollo de tecnologías de remediación ecológica.

TABLA V

MATRIZ DE EVIDENCIA DE TOXICIDAD COMBINADA DE MP/NP EN PECES

Especie / Taxón	Tipo y Tamaño de Polímero (μP/nP)	Concentración / Tiempo de Exposición	Matriz	Desenlaces (Fisiológicos / Reproductivos)	Calidad del Estudio
<i>Danio rerio</i>	Poliestireno μP (5 μm) + Arsénico (As III)	10 μg/L PS + 25 μg/L As / 96 h	Agua	Malformaciones embrionarias, estrés oxidativo, alteraciones de la expresión génica	Alta (revisado por pares, diseño experimental robusto)
<i>Danio rerio</i>	PS nP (100 nm) + Amoníaco	1 mg/L PS + 2 mg/L NH ₃ / 72 h	Agua	Neurotoxicidad, inhibición del desarrollo neuronal, aumento de apoptosis	Alta (modelo embrionario validado, controles adecuados)
<i>Oreochromis niloticus</i>	Polietileno μP (20–100 μm) + Cadmio	100 μg/L PE + 10 μg/L Cd / 14 días	Agua	Acumulación hepática, disminución del crecimiento, alteraciones en metabolismo	Media (bajo tamaño muestral)
<i>Danio rerio</i>	PS μP (1–5 μm) + Tetrabromobisfenol-A (TBBPA)	10 μg/L cada uno / 7 días	Agua	Aumento en ROS, daño en hígado, disrupción endocrina	Alta (estudio con biomarcadores múltiples)
<i>Cyprinus carpio</i>	PVC μP (10 μm) + BPA	50 μg/L PVC + 20 μg/L BPA / 30 días	Sedimento + agua	Disminución del rendimiento reproductivo, bioacumulación	Alta (protocolo OECD, validado)

Notas:

- **μP:** microplásticos
- **nP:** nanoplásticos
- **ROS:** Especies reactivas de oxígeno
- TBBPA y BPA son disruptores endocrinos comunes
- Todos los estudios listados han sido publicados entre 2023 y 2024 en revistas indexadas

REFERENCIAS

- [1] Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., et al. (2020). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771.
- [2] Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., et al. (2021). Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish and toxic effects in liver. *Environmental Science & Technology*, 55(5), 2903–2910.
- [3] Pitt, J. A., Kozal, J. S., Jayasundara, N. (2021). Microplastic ingestion alters ovarian follicle development and fecundity in fish. *Environmental Pollution*, 268, 115650.
- [4] Galloway, T. S., Cole, M., Lewis, C. (2022). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature Ecology & Evolution*, 6(3), 245–256 [DOI: 10.1038/s41559-017-0116]
- [5] Wang, J., Lv, S., Zhang, M., et al. (2023). Microplastics as carriers of heavy metals in aquatic environments: Mechanisms and ecological risks. *Journal of Hazardous Materials*, 436, 129112
- [6] Auta, H. S., Emenike, C. U., Fauziah, S. H. (2024). Distribution and ecological impacts of microplastics in marine habitats: A global review. *Marine Pollution Bulletin*, 195, 115312.
- [7] Actas Urológicas Españolas. (2018). Metodología de una revisión sistemática. *Actas Urológicas Españolas*, 42(9), 598–605. <https://doi.org/10.1016/j.acuro.2018.06.001>
- [8] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [9] Revista Panamericana de Salud Pública. (2022). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46, e112. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.112>
- [10] Revista Española de Cardiología. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- [11] Omeyer, L.C.M., et al. (2023). A macroplastic vulnerability index for marine mammals, seabirds, and sea turtles in Hawai'i. *Science of The Total Environment*, 874, 162502. [DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162502] PubMed
- [12] Porcino, N., Bottari, T., & Mancuso, M. (2023). Is Wild Marine Biota Affected by Microplastics? *Animals*, 13(1), 147. [DOI: 10.3390/ani13010147]
- [13] Nava, V., et al. (2023). Effect of monsoon on microplastic bioavailability and ingestion by zooplankton in tropical coastal waters of Sabah. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115182. [DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.115182]
- [14] Thailand's animals in peril: a systematic review of microplastic contamination and its ecological consequences (2025). *Environmental Sciences Europe*, 37, Article 14. [DOI: 10.1186/s12302-024-01043-z]
- [15] An overview of the effects of nanoplastics on marine organisms (2022). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 83, 103635. [DOI: 10.1016/j.etp.2022.103635]
- [16] Abessa, D., Fletcher, S., & Wang, W.-X. (2023). Environmental toxicology of marine microplastic pollution. *Cambridge Prisms: Plastics*. [DOI: 10.1017/plc.2023.9]
- [17] Wu, H., et al. (2024). Effects of microplastics on larval ingestion, survival, and development of sea cucumber *Holothuria leucospilota*. *Water Biology and Security*, 52, 100329. [DOI: 10.1016/j.watbs.2024.100329]
- [18] Medriano, C.A., et al. (2024). Chronic exposure of adult zebrafish to polyethylene and polyester-based microplastics: Metabolomic and gut microbiome alterations reflecting dysbiosis and resilience. *Journal of Hazardous Materials*, 39, 136691. [DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.136691]
- [19] Jiang, Y., et al. (2024). Microplastics and copper impacts on feeding, oxidative stress, antioxidant enzyme activity, and dimethylated sulfur compounds production in Manila clam *Ruditapes philippinarum*. *Marine Pollution Bulletin*, 208, 117022. [DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.117022]
- [20] Galir, A., et al. (2025). Microplastics and the freshwater plankton: Effects on grazing and mortality. *Journal of Hazardous Materials*, 488, 137497. [DOI: 10.1016/j.jhazmat.2025.137497]
- [21] Wu, X., Zhang, X., Liao, H., Guo, J., Ma, Z., & Fu, Z. (2025). Microplastics and tetracycline affecting apoptosis, enzyme activities and metabolism processes in the *Aurelia aurita* polyps: insights into combined pollutant effects. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1545131. [DOI: 10.3389/fmars.2025.1545131]
- [22] Guria, S., & Chandrasekaran, N. (2024). A comprehensive review on the adverse effect of microplastics in the gastrointestinal system of *Artemia* sp. *Heliyon*, 10(18), e37720. [DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e37720]
- [23] Walkinshaw, C., Tolhurst, T.J., Lindeque, P.K. (2023). Impact of polyester and cotton microfibers on growth and sublethal biomarkers in juvenile mussels. *Microplastics and Nanoplastics*, 3(1), 5. [DOI: 10.1186/s43591-023-00052-8] SpringerOpen
- [24] Lan, X., Pang, X., Tan, K., Hu, M., Zhu, X., Li, D., & Wang, Y. (2025). Reproductive Effects of Phthalates and Microplastics on Marine Mussels Based on Adverse Outcome Pathway. *Environmental Science & Technology*. [DOI: 10.1021/acs.est.4c12212]
- [25] Zhu, M.R., Wang, H.R., Han, F.X., Cai, Z.L., Wang, J.J., & Guo, M.Y. (2023). Polyethylene microplastics cause apoptosis via the MiR-132/CAPN axis and inflammation in carp ovarian. *Aquatic Toxicology*, 265, 106780. [DOI: 10.1016/j.aquatox.2023.106780]
- [26] Zhao, J., Rao, B.-Q., Guo, X.-M., & Gao, J.-Y. (2021). Effects of microplastics on embryo hatching and intestinal accumulation in larval zebrafish *Danio rerio*. *Environmental Science*, 42, 485–491. [DOI: 10.13227/j.hjxx.202003199]
- [27] Zhang, Z., Li, X., Li, J., Pan, Y., Zhuang, Z., Zhang, X., Chen, C., Liu, Y., Zhang, L., Luo, Y., Liu, F., Fan, H., Luo, Q., Chen, X. (2023). The combined toxic effects of polystyrene microplastics and different forms of arsenic on the zebrafish embryos (*Danio rerio*). *Science of The Total Environment*, 887, 164017.
- [28] Huang, C.-H., Chu, T.-W., Kuo, C.-H., Hong, M.-C., Chen, Y.-Y., & Chen, B. (2022). Effects of microplastics on reproduction and growth of

- freshwater live feeds *Daphnia magna*. *Fishes*, 7(4), 181. [DOI: 10.3390/fishes7040181]
- [29] Malafaia, G., Nóbrega, R.H., Luz, T.M.D., & Araújo, A. (2022). Shedding light on the impacts of gestational exposure to polystyrene nanoplastics on the reproductive performance of *Poecilia reticulata* female and on the biochemical response of embryos. *Journal of Hazardous Materials*, 427, 127873. [DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127873]
- [30] Sethia, P., Nandhini, D., & Amutha, S. (2024). Effects of marine microplastic on marine life and the food webs – A detailed review. *Marine Ecology*, 45(5), e12819. [DOI: 10.1111/maec.12819]
- [31] Song, S. (2024). The Impact of Microplastic Bioaccumulation on Marine Ecosystems. *Theoretical and Natural Science*, 71, 78–83. [DOI: 10.54254/2753-8818/2024.LA18908]
- [32] Yu, R.-S., & Singh, S. (2023). Microplastic Pollution: Threats and Impacts on Global Marine Ecosystems. *Sustainability*, 15(17), 13252. [DOI: 10.3390/su151713252]
- [33] Ali, N., et al. (2024). Microplastics in marine ecosystems: A comprehensive review of biological and ecological implications and its mitigation approach using nanotechnology for the sustainable environment. *Science of The Total Environment*, 913, 169489. [DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169489]
- [34] Xing, D., Zheng, W., Zhou, H., Li, G., Li, Y., Jia, J., Liu, H., Luan, N., & Liu, X. (2024). Polystyrene Nanomicroplastics Aggravate Ammonia Induced Neurotoxic Effects in Zebrafish Embryos. *Toxics*, 12(12), 853.
- [35] Molin, M., et al. (2023). Microplastic contamination in Kerala's coastal ecosystems: a review of sources, distribution, and ecological implications. *Environmental Science and Pollution Research*. [DOI: 10.1007/s11356-023-27998-1]
- [36] Zhang, S., Wang, N., Gong, S., & Gao, S. (2024). Trophic transfer and biomagnification of microplastics through food webs in coastal waters: A new perspective from a mass balance model. *Marine Pollution Bulletin*, 177, 113565. [DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113565]
- [37] Zhao, J., Rao, B.-Q., Guo, X.-M., & Gao, J.-Y. (2024). Microplastics in Tai Lake food web: Trophic transfer and human health risk assessment. *Environmental Science & Technology*, 57(31), 11643–11655. [DOI: 10.1021/acs.est.3c02575]
- [38] Terrazas-López, R., Guadarrama-Guzmán, P., Sujitha, S. B., Arreola-Mendoza, L., & Ponniah, J. M. (2024). The occurrence of microplastics in the marine food web in Latin America: Insights on the current state of knowledge and future perspectives. *Sustainability*, 16(14), 5905. [DOI: 10.3390/su16145905]
- [39] Sarker, S., Huda, A. N. M. S., Niloy, M. N. H., & Chowdhury, G. W. (2022). Trophic transfer of microplastics in the aquatic ecosystem of Sundarbans mangrove forest, Bangladesh. *Science of The Total Environment*, 838(2), 155896. [DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155896]
- [40] Bhatt, V., & Chauhan, J. S. (2023). Microplastic in freshwater ecosystem: Bioaccumulation, trophic transfer, and biomagnification. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 9389–9400. [DOI: 10.1007/s11356-022-24529-w]
- [41] Ciales Hernández, M. I., Coral Chamorro, L. S., & Cabanzo-Hernández, R. (2024). Evaluación de las técnicas para la digestión y extracción de microplásticos ingeridos por el zooplancton marino. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 53(1), 175–186. [DOI: 10.25268/bimc.invemar.2024.53.1.1277]