

IMPACTO ECOLÓGICO DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LOS ECOSISTEMAS MARINOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

ECOLOGICAL IMPACT OF MICROPLASTICS ON MARINE ECOSYSTEMS: A SYSTEMATIC REVIEW

Tipo de Publicación: Artículo Científico

Recibido: 25/12/2025

Aceptado: 04/02/2026

Publicado: 20/02/2026

Código Único AV: e650

Páginas: 1(111-131)

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18715465>

Autor:

Francisco Antenor Calderón Vásquez

Ciencias Físicas y Matemáticas

Magíster en Docencia Universitaria e Investigación

Pedagógica

 <https://orcid.org/0009-0005-0121-6916>

E-mail: fcalderonv@ucvvirtual.edu.pe

Afiliación: Universidad César Vallejo

País: República del Perú

Hideth Fuentes Murillo

Licenciada en Lengua y Literatura

Magíster en Docencia en el Nivel Superior

Doctor en Educación

 <https://orcid.org/0000-0003-0245-413X>

E-mail: hfuentesm@uni.edu.pe

Afiliación: Universidad Nacional de Ingeniería

País: República del Perú

Rafael Anderson Gonzáles Ureta

Licenciado en Comunicación Social

Ingeniero Zootecnista

Magíster en Sistemas Ecológicos y Agropecuarios

 <https://orcid.org/0000-0002-1914-6443>

E-mail: agonzalesu@undac.edu.pe

Afiliación: Universidad Nacional Daniel Alcides

Carrión

País: República del Perú

Pedro Charry-Aysanoa

Licenciado en Educación con mención Lenguaje –
Literatura

Magíster en Comunicación Social, mención en

Investigación en Comunicación

Doctor en Educación

 <https://orcid.org/0000-0002-3762-1578>

E-mail: pcharry@undac.edu.pe

Afiliación: Universidad Nacional Daniel Alcides

Carrión

País: República del Perú

Resumen

El artículo partió de la pregunta PEO: ¿Cómo impacta la exposición a la contaminación por microplásticos (en cuanto a presencia y concentración de partículas) en los ecosistemas marinos, específicamente en las redes tróficas, los procesos bioquímicos y la resiliencia ecosistémica frente a múltiples estresores? El proceso de recopilación de investigaciones científicas en las tres bases de datos permitió identificar un total de 590 documentos (Scopus: 416, ScienceDirect: 151 y Wiley: 23); con la estrategia Prisma se logró incluir 30 documentos considerando criterios de inclusión: rango temporal: 2020-2025, artículos originales, de acceso abierto, artículos centrados específicamente al tema y artículos relevantes; se excluyeron artículos con acceso restringido, con textos incompletos, poco relevantes, con abordaje temático general y duplicidad. Los resultados confirman que los microplásticos se bioacumulan y transfieren a lo largo de las redes tróficas marinas, impactando negativamente en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas marinos. Se concluye: la contaminación por microplásticos provoca alteración de las redes tróficas debido a la excesiva bioacumulación y transferencia entre niveles, así como a los procesos bioquímicos generando estrés oxidativo, inflamación y disfunciones metabólicas afectando seriamente las funciones vitales de organismos clave, además, la reducción considerable de la resiliencia ecosistémica frente a estresores antrópicos y naturales, aumentando la vulnerabilidad de los ecosistemas marinos.

Palabras Clave Microplásticos, ecosistemas marinos, contaminación

Abstract

The article was developed based on the following PEO question: How does exposure to microplastic pollution (in terms of particle presence and concentration) impact marine ecosystems, specifically trophic networks, biochemical processes, and ecosystem resilience to multiple stressors? The process of compiling scientific studies across the three databases identified a total of 590 documents (Scopus: 416, ScienceDirect: 151, and Wiley: 23). Using the PRISMA strategy, 30 documents were included based on the following inclusion criteria: publication range 2020–2025, original articles, open-access availability, studies specifically focused on the topic, and relevant contributions. Studies with restricted access, incomplete texts, low relevance, general thematic approaches, or duplicates were excluded. The results confirm that microplastics bioaccumulate and are transferred throughout marine trophic networks, negatively affecting the structure and functioning of marine ecosystems. The study concludes that microplastic pollution alters trophic networks due to excessive bioaccumulation and inter-level transfer, and disrupts biochemical processes by inducing oxidative stress, inflammation, and metabolic dysfunctions, severely compromising the vital functions of key organisms. Furthermore, it considerably reduces ecosystem resilience to both anthropogenic and natural stressors, thereby increasing the vulnerability of marine ecosystems.

Keywords Microplastics, marine ecosystems, pollution

Introducción

La contaminación por la proliferación de los microplásticos constituye una fuerte amenaza persistente y, cada vez creciente, para los ecosistemas marinos en el mundo (Alava et al., 2023; Eriksen et al., 2023). Recientes investigaciones ponen en evidencia que los microplásticos son altamente contaminantes y son ingeridos por una inmensa cantidad de organismos marinos en el orbe, desde los fitoplancton y zooplancton hasta la diversidad de peces y mamíferos marinos; además, se bioacumulan y biomagnifican en la extensión de las redes tróficas (Ugwu, Herrera, & Gómez, 2021; Botterell et al., 2019; Rochman et al., 2019). De hecho, la transferencia trófica de los microplásticos que son absorbidos por los seres vivos marinos provoca alteración en los procesos bioquímicos importantes, como la absorción y digestión de nutrientes clave, afectando significativamente los procesos alimentarios, así como la eficiencia de forrajeo y la disponibilidad energética de las especies para la estabilidad ecosistémica (Chagnon et al., 2018; Foley et al., 2018).

Pese al creciente reconocimiento del impacto significativo y acumulativo de los microplásticos en comunidades marinas existe una brecha grande de desconocimiento respecto a cómo estas partículas acumulativas impactan negativamente la estructura y resiliencia de las extensiones tróficas frente a

estresores múltiples, además de la generación de cambios climáticos y tumultos antropogénicos variados (Alava et al., 2023; Ugwu et al., 2021).

Frente a esta realidad, lo complejo de las interacciones entre microplásticos, se hace imprescindible la aplicación y desarrollo de modelos ecosistémicos integrados, para que la bioacumulación, así como los procesos bioquímicos que están alterados se desarrolle la capacidad de las comunidades marinas para su resistencia y recuperación ante los embates contaminantes (Alava et al., 2023; Botterell et al., 2019; Fernández et al., 2022). No obstante, los modelos y enfoques con visión holística son aún dispersos e insuficientes en la literatura científica. El impacto de los microplásticos se circunscribe fundamentalmente en los ecosistemas marinos referidos a redes tróficas, procesos bioquímicos y resiliencia ecosistémica frente a estresores múltiples.

Desarrollo

Procesos bioquímicos

La constante y simultánea exposición a microplásticos, componentes químicos, insecticidas y otros, provoca complejas respuestas bioquímicas en los organismos marinos, que se evidencian en actividades diferenciadas de enzimas detoxificadoras y en la proliferación de malformaciones morfológicas en seres marinos (Villalba et al., 2022).

Investigaciones recientes reportan que la presencia continua de agentes contaminantes en conjuntos está produciendo efectos más intensos que la exposición individual, manifestando la neurotoxicidad y efectos oxidativos que vienen comprometiendo la salud de los organismos marinos (Villalba et al., 2022). Estas respuestas bioquímicas y fisiológicas sirven como biomarcadores sensibles para la evaluación del impacto en la salud del ecosistema marino frente a estresores múltiples (Villalba et al., 2022).

Resiliencia ecosistémica frente a estresores múltiples

Los ecosistemas marinos, particularmente las zonas submarinas, vienen enfrentando la presión combinada de diversos estresores, especialmente la alteración química, contaminación y cambio climático, que están afectando la estructura y funcionalidad de las especies que viven y se movilizan sobre el lecho marino (Gómez et al., 2018). La resiliencia de estos ecosistemas marinos depende fundamentalmente de sus capacidades para mantener sus propiedades emergentes en complejas redes tróficas y desarrollar respuestas adaptativas ante las perturbaciones (Alomar et al., 2020).

Frente a este problema, para promover la efectiva conservación es necesario la incorporación de enfoques integrales que reconozcan las interacciones sinérgicas de diferentes estresores, dando facilidad a la innovación en gestión y

gobernanza ambiental que busquen la estabilidad y recuperación del ecosistema marino a largo plazo.

El objetivo de la investigación fue analizar de manera sistemática el impacto ecológico de los microplásticos en los ecosistemas marinos, enfocándose en su influencia sobre las redes tróficas, los procesos bioquímicos y la resiliencia ecosistémica frente a múltiples estresores ambientales.

Método

El artículo partió de la pregunta PEO: ¿Cómo impacta la exposición a la contaminación por microplásticos (en cuanto a presencia y concentración de partículas) en los ecosistemas marinos, específicamente en las redes tróficas, los procesos bioquímicos y la resiliencia ecosistémica frente a múltiples estresores? Así, se consideró: **P** (Población): ecosistemas marinos; **E** (Exposición): contaminación por microplásticos (presencia y concentración de partículas) y **O** (Resultado): efectos ecológicos observados: redes tróficas, procesos bioquímicos, resiliencia ecosistémica frente a estresores múltiples.

En la población, las investigaciones estuvieron centrados en ecosistemas marinos, considerando organismos desde zooplancton, peces, aves marinas y mamíferos marinos; además, comunidades y hábitats de reservas marinas y ambientes. En la exposición, se identifican y describen niveles de contaminación por

microplásticos, detallando concentraciones, tipos de partículas y vías de ingestión en organismos marinos. En resultados: los efectos ecológicos identificados perciben alteraciones en la salud fisiológica, reproducción, comportamiento e impactos en redes tróficas, procesos bioquímicos), y la resiliencia ecosistémica frente a estresores múltiples.

El objetivo general del artículo fue: analizar de forma sistemática el impacto ecológico de los microplásticos en los ecosistemas marinos, enfocándose en su influencia sobre las redes tróficas, los procesos bioquímicos y la resiliencia ecosistémica frente a múltiples estresores ambientales.

Los objetivos específicos fueron: a) evaluar cómo la presencia y acumulación de microplásticos afectan la estructura y funcionamiento de las redes tróficas marinas, considerando la bioacumulación y transferencia trófica en diferentes niveles tróficos; b) revisar los efectos de los microplásticos sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos de organismos marinos, incluyendo mecanismos de toxicidad y alteraciones metabólicas; y, c) identificar la capacidad de resiliencia de los ecosistemas marinos frente a la contaminación por microplásticos en combinación con otros estresores ambientales, y proponer estrategias para fortalecer esta resistencia ecosistémica.

Base de datos	Ecuaciones booleanas
Scopus	("microplastics" OR "micro-plastics") AND ("marine ecosystems" OR "marine environment") AND ("ecological impact" OR "biodiversity" OR "trophic interactions" OR "ecosystem health")
ScienceDirect	"microplastics" AND "marine ecosystems" AND ("ecological impact" OR "ecological effects") NOT "review"
Wiley	"microplastics" AND "marine ecosystems" AND ("ecological effects" OR "ecological impact") NOT "review"

Tabla 1. Ecuaciones booleanas de búsqueda en tres bases de datos: Scopus, ScienceDirect y Wiley

El proceso de recopilación de investigaciones científicas en las tres bases de datos permitió identificar un total de 590 documentos (Scopus: 416, ScienceDirect: 151 y Wiley: 23). En la siguiente Figura se muestra el proceso:

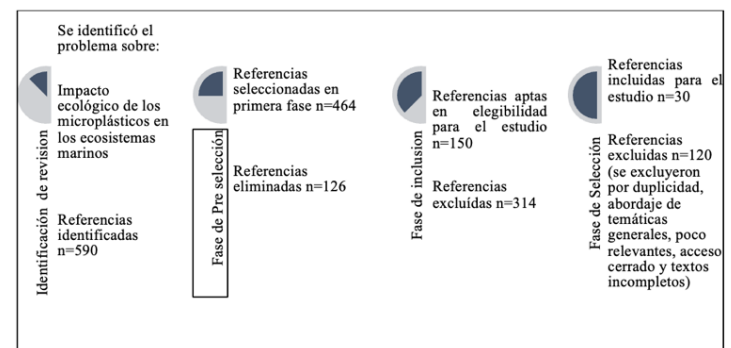


Figura 1. Proceso de recopilación de investigaciones científicas

Con soporte de la estrategia Prisma se logró seleccionar un número de 30 investigaciones referidas al tema de análisis: impacto de los

microplásticos en los ecosistemas marinos (Ver Figura 2).

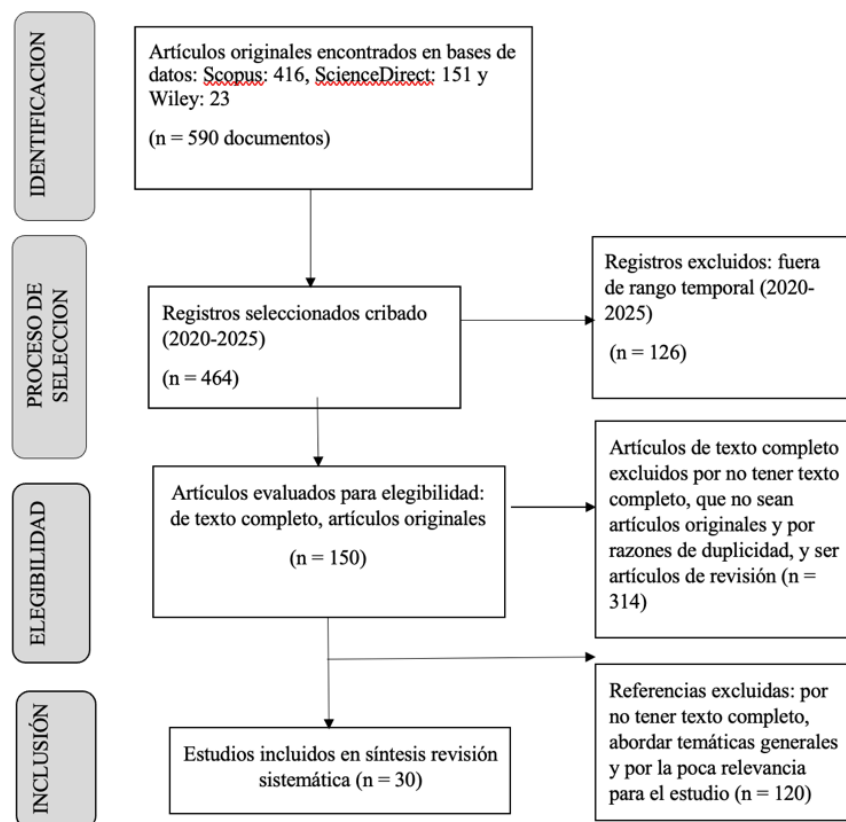


Figura 2. Diagrama PRISMA para selección de documentos de la investigación

De acuerdo al proceso de selección de documentos mediante la estrategia PRISMA se logró incluir 30 artículos científicos originales, provenientes de Scopus: 16, ScienceDirect: 9 y Wiley: 5. Los criterios de inclusión fueron: rango de años: 2020-2025, solo artículos originales, de acceso abierto, artículos centrados específicamente al impacto de los microplásticos en los ecosistemas marinos y artículos relevantes. Los criterios de exclusión fueron: artículos con acceso restringido,

con textos incompletos, poco relevantes, con abordaje temático general y duplicidad.

Resultados

Título	Autor (es)	Objetivo de la Investigación	Vacíos y deficiencias Identificadas	Propuesta de mejora
Microplastics accumulate in all major organs of the mediterranean loggerhead sea turtle (<i>Caretta caretta</i>) (1 Scopus)	Costello, L., Zetterström, A., Gardner, P., Crespo-Picazo, J., Bussy, C., Kane, I. and Shields, H.	Evaluar la contaminación por microplásticos en organismos marinos y sus efectos en la bioacumulación.	Falta de datos sobre tasas de eliminación de microplásticos en organismos clave y efecto a largo plazo.	Integrar estudios experimentales sobre eliminación y metabolismo de microplásticos, ampliar monitoreo temporal.
Microplastic contamination in some popular seafood fish species from the northern Bay of Bengal and possible consumer risk assessment (2 Scopus)	Jamal, N. T., Sultana, S., Banik, P., Nur, A. U., Albeshr, M. F., Yu, J., & Hossain, M. B.	Revisar distribución y toxicidad de microplásticos en biota marina.	Insuficiente comprensión de mecanismos tóxicos a nivel molecular y subcelular.	Promover investigaciones moleculares y omicas para identificar rutas de toxicidad y biomarcadores.
Evaluating Toxic Interactions of Polystyrene Microplastics with Hazardous and Noxious Substances Using the Early Life Stages of the Marine Bivalve <i>Crassostrea gigas</i> (3 Scopus)	Choi, H., Hwang, U.-K., Lee, M., Kim, Y.-J., & Han, T.	Modelar bioacumulación y biomagnificación de microplásticos en la cadena alimentaria del pingüino Galápagos.	Limitaciones en datos empíricos para validar modelos y variabilidad en tasas de excreción.	Realizar muestreos couplados de preys, heces, y tejidos para mejorar modelado, y estandarizar medidas de eliminación.
First Report of Microplastic Ingestion and Bioaccumulation in Commercially Valuable European Anchovies (<i>Engraulis encrasicolus</i> , Linnaeus, 1758) from the Romanian Black Sea Coast (4 Scopus)	Ciucă, A.-M., Stoica, E., & Barbeș, L.	Analizar interacción de microplásticos con contaminantes orgánicos persistentes en ecosistemas marinos.	Falta de estudios integrados que contemplen las sinergias entre microplásticos y contaminantes químicos.	Implementar ensayos combinados de exposición y uso de modelos ecosistémicos holísticos.
Characterization of plastic ingestion in urban gull chicks and its implications for their use as pollution sentinels in coastal cities	Max, A., Martín-Vélez, V., Navarro, J., Borrell, A., Montalvo, T., & García-Garín, O.	Evaluar impacto de microplásticos en procesos bioquímicos de sedimentos marinos.	Datos escasos sobre alteraciones en ciclos elementales en ambientes afectados.	Incorporar estudios de procesos bioquímicos con biomarcadores ambientales para entender alteraciones químicas.

(5 Scopus)				
Experimental ingestion of microplastics in three common Antarctic benthic species (6 Scopus)	Gonzalez-Pineda, M., Ávila Escartín, C., Lacerot, G., Lozoya, J. P., Teixeira de Mello, F., Faccio, R., Pignanelli, F., & Salvadó, H.	Revisar impactos de microplásticos en el plancton y su influencia en redes tróficas iniciales.	Débil evidencias sobre efectos indirectos en niveles tróficos superiores.	Realizar experimentos a largo plazo con multiespecies y análisis trófico para evaluar efecto cascading.
Microplastics as persistent and vectors of other threats in the marine environment: Toxicological impacts, management and strategic roadmap to end plastic pollution (7 Scopus)	Ali, S. S., Alsharbaty, M. H. M., Al-Tohamy, R., Schagerl, M., Al-Zahrani, M., Kornaros, M., & Sun, J.	Estudiar biomagnificación potencial de microplásticos en peces comerciales.	Dificultad para establecer umbrales críticos de toxicidad y biomagnificación.	Desarrollar criterios toxicológicos específicos para microplásticos y metodologías estandarizadas.
Trophic transfer and bioaccumulation of nanoplastics in <i>Coryphaena hippurus</i> (mahimahi) and effect of depuration (8 Scopus)	Dey, P., Bradley, T. M., & Boymelgreen, A.	Proponer modelo integrado de gestión para contaminación por microplásticos en ecosistemas marinos chinos.	Fragmentación institucional y falta de coordinación internacional para control ambiental.	Crear sistema integral de control basado en ciclo de vida, incluidas políticas transversales y cooperación global.
Toxicological impacts of plastic microfibers from face masks on <i>Artemia salina</i> : An environmental assessment using Box-Behnken design (Scopus)	Pramanik, D. D., Sharma, A., Das, D. K., Pramanik, A., Kay, P., & Goycoolea, F. M.	Revisar impactos en la biodiversidad marina y su relación con presencia de microplásticos.	Escasez de datos en regiones remotas y hábitats críticos.	Ampliar esfuerzos de muestreo en zonas infraexploradas y usar tecnologías remotas de monitoreo.
Quantification of additives in beached plastic debris from Aotearoa New Zealand (10 Scopus)	Bridson, J. H., Masterton, H., Knight, B., Paris, C. F., Abbel, R., Northcott, G. L., & Gaw, S.	Caracterizar efectos fisiológicos y reproductivos en tortugas marinas producto de contaminación microplástica.	Ética y limitaciones en muestreos de organismos protegidos y dificultad para evidenciar efectos subletales.	Uso de biomarcadores no invasivos y modelamientos para inferir efectos en poblaciones.
Chronic polystyrene microplastics exposure-induced changes in thick-shell mussel (<i>Mytilus coruscus</i>) metaorganism: A holistic perspective (11 Scopus)	Chen, X.-L., Wu, L.-J., Miao, L.-L., Li, L., Qiu, L.-M., Zhu, H.-Q., Si, X.-R., Li, H.-F., Zhao, Q.-L., Qi, P.-Z., & Hou, T.	Estudiar asociación de microplásticos con alteraciones en la resiliencia de arrecifes coralinos.	Falta de datos sobre impactos sinérgicos y alteraciones a nivel microbioma del coral.	Combinar análisis microbiológicos y ecológicos para entender mecanismos de vulnerabilidad inducida por plástico.
Ingestion of Microplastics in the Planktonic Copepod from the Indonesian Throughflow Pathways (12 Scopus)	Manullang, C. Y., Patria, M. P., Haryono, A., Anuar, S. T., Susanto, R. D., Abdul, M. S., Fadli, M., & Wei, Z.	Analizar presencia y efectos de nanoplasticos en zooplancton y primeras etapas de peces.	Limitada detección y cuantificación de nanoplasticos en sistemas naturales.	Desarrollar métodos analíticos avanzados y estandarizados para nanoplasticos en muestras ambientales.
Developmental and biochemical markers of	Bertucci, J. I., Blanco Osorio, A.,	Evaluar transferencia de	Pocos datos sobre rates de transferencia	Realizar estudios tróficos controlados que midan

the impact of pollutant mixtures under the effect of Global Climate Change (13 Scopus)	Vidal-Liñán, L., & Bellas, J.	microplásticos a través de redes tróficas en ecosistemas costeros.	y pérdida a nivel trófico.	transferencia y pérdidas en cadenas alimentarias.
Plastic webs, the new food: Dynamics of microplastics in a Mediterranean food web, key species as pollution sources and receptors (14 Scopus)	Olmo-Gilabert, R., Fagiano, V., Alomar, C., Ríos-Fuster, B., Compa, M., & Deudero, S.	Investigar procesos de sedimentación y remobilización de microplásticos en zonas bentónicas.	Escasa información sobre impactos en procesos bentónicos y ciclos biogeoquímicos.	Incluir estudios sedimentológicos con modelado biogeoquímico para valorar impactos a largo plazo.
Modelling microplastic bioaccumulation and biomagnification potential in the Galápagos penguin ecosystem using Ecopath and Ecosim (EwE) with Ecotracer (15 Scopus)	McMullen, K., Vargas, F. H., Calle, P., Alavarado-Cadena, O., Pakhomov, E. A., & Alava, J. J.	Examinar interacción de microplásticos con microorganismos y su alteración en funciones microbianas.	Poco conocimiento sobre cambios en comunidades microbianas y funciones ecosistémicas.	Emplear técnicas metagenómicas y funcionales para evaluar impactos microbianos específicos.
Effects of microplastics in freshwater fishes' health and the implications for human health (16 Scopus)	Khan, M. L., Hassan, H. U., Khan, F. U., Ghaffar, R. A., Rafiq, N., Bilal, M., Khooharo, A. R., Ullah, S., Jafari, H., Nadeem, K., Siddique, M. A. M., & Arai, T.	Revisar efectos crónicos de microplásticos en organismos superiores y cascadas ecológicas.	Limitada integración de efectos subletales a nivel poblacional y ecosistémico.	Fomentar estudios multidisciplinarios que integren toxicología, ecología y modelado ecosistémico.
Looking for a Chinese solution to global problems: The situation and countermeasures of marine plastic waste and microplastics pollution governance system in China (17 ScienceDirect)	Yang, Y., Chen, L., & Xue, L.	Describir distribución global y fuentes de microplásticos en océanos.	Dificultad para rastrear fuentes específicas y cuantificar flujos hacia ecosistemas sensibles.	Uso de marcadores isotópicos y modelos de transporte sofisticados para mejorar trazabilidad.
Mitigation approach of plastic and microplastic pollution through recycling of fishing nets at the end of life (18 ScienceDirect)	Liotta, I., Avolio, R., Castaldo, R., Gentile, G., Errico, M. E., & Cocca, M.	Evaluar impactos de microplásticos y aditivos químicos en organismos bentónicos.	Falta de datos sobre efectos sinérgicos y dosis bajas prolongadas.	Realizar estudios crónicos multigeneracionales y evaluación conjunta de contaminantes.
Impact of plastic film mulching on microplastic in farmland soils in Guangdong province, China (19 ScienceDirect)	Long, B., Li, F., Wang, K., Huang, Y., Yang, Y., & Xie, D.	Analizar influencia de microplásticos en resiliencia ecosistémica frente a cambio climático.	Insuficiente comprensión del efecto conjunto de múltiples estresores.	Integrar modelos climáticos y de contaminación para evaluar efectos acumulativos y sinérgicos.
Marine litter on the seafloors of the Bohai	Teng, G., Shan, X., Jin, X., & Yang, T.	Revisar mecanismos de ingestión y eliminación de	Poco conocimiento sobre variabilidad inter-específica y	Desarrollar protocolos uniformes y estudios

Sea, Yellow Sea and northern East China Sea (20 ScienceDirect)		microplásticos en invertebrados marinos.	ambiental en tasas de depuración.	comparativos entre especies y hábitats.
Harmful algae and pathogens on plastics in three mediterranean coastal lagoons (21 ScienceDirect)	Pasqualini, V., Garrido, M., Cecchi, P., Connès, C., Couté, A., El Rakwe, M., Henry, M., Hervio-Heath, D., Quilichini, Y., Simonnet, J., Rinnert, E., Vitré, T., & Galgani, F.	Evaluar impacto de microplásticos en procesos de fotosíntesis y productividad primaria marina.	Falta de estudios experimentales in situ y largo plazo.	Implementar experimentos de campo y monitoreo continuo para medir efectos funcionales en fitoplancton y macroalgas.
Quantification of catch composition in fisheries: A methodology and its application to compare biodegradable and nylon gillnets (22 ScienceDirect)	Cerbule, K., Savina, E., Herrmann, B., Larsen, R. B., Feekings, J. P., Krag, L. A., & Pellegrinelli, A.	Caracterizar impacto de microplásticos en redes tróficas de estuarios y sistemas costeros.	Datos limitados a especies aisladas, poca integración ecosistémica.	Fomentar estudios multitróficos y modelado de redes para comprender impacto global.
Physical mechanisms driving biological accumulation in surface lines on coastal Hawaiian waters (23 ScienceDirect)	Smith, K. A., Whitney, J. L., McManus, M. A., Lecky, J., Copeland, A., Kobayashi, D. R., & Gove, J. M.	Revisar tecnologías para detección y monitoreo de microplásticos en ecosistemas marinos.	Métodos actuales limitados en sensibilidad, estandarización y cobertura espacial.	Desarrollar técnicas de muestreo remoto, sensores avanzados y bases de datos abiertas.
Use of biodegradable materials to reduce marine plastic pollution in small scale coastal longline fisheries (24 ScienceDirect)	Cerbule, K., Herrmann, B., Trumbić, Ž., Petrić, M., Krstulović Šifner, S., Grimaldo, E., Larsen, R. B., & Brčić, J.	Analizar riesgos ecológicos de microplásticos en fauna marina vulnerable.	Poca correlación entre exposición y efectos fisiológicos a nivel individual.	Establecer relaciones dosis-respuesta claras mediante ensayos controlados y seguimiento poblacional.
Degradation of low-density polyethylene by the bacterium Rhodococcus sp. C-2 isolated from seawater (25 ScienceDirect)	Rong, Z., Ding, Z.-H., Wu, Y.-H., & Xu, X.-W.	Revisar impacto de microplásticos en procesos biogeoquímicos marinos, especialmente ciclo del carbono.	Escasos estudios cuantitativos y de modelado integrativo de estos procesos.	Potenciar investigación interdisciplinaria con integración de datos ecológicos y geoquímicos.
Genomic and proteomic profiles of biofilms on microplastics are decoupled from artificial surface properties (26 Wiley)	Oberbeckmann, S., Bartosik, D., Huang, S., Werner, J., Hirschfeld, C., Wibberg, D., Heiden, S. E., Bunk, B., Overmann, J., Becher, D., Kalinowski, J., Schweder, T., Labrenz, M., & Markert, S.	Evaluar efectos acumulativos de microplásticos y contaminantes asociados en organismos marinos.	Falta de modelos predictivos robustos que consideren múltiples contaminantes.	Desarrollar modelos multi-contaminante e incorporar datos de campo para validación.
Microplastic Pollution in Indigenous Fish From the Padma River,	Mondal, M. T., Khan, M. A., & Mortuza, M. G.	Revisar impacto de microplásticos en estructuras tróficas y	Información fragmentada y falta	Elaborar revisiones integradoras y bases de datos georreferenciadas

Bangladesh: A Case Study (27 Wiley)		funciones ecosistémicas en ecosistemas marinos.	de síntesis global regionalizada.	para definir patrones globales y locales.
Sunscreen pollution and tourism governance: Science and innovation are necessary for biodiversity conservation and sustainable tourism (28 Wiley)	Downs, C. A., Cruz, O. T., & Remengesau, T. E.	Evaluar los impactos ecológicos de la contaminación por microplásticos y modelar la bioacumulación en redes tróficas marinas globales, además de analizar implicaciones de gestión y desigualdades en comunidades costeras.	Limitado conocimiento sobre la magnitud global de la bioacumulación de microplásticos en distintas redes tróficas y su variabilidad espacial y temporal; desigualdad en la afectación entre comunidades costeras.	Integrar modelos de bioacumulación multidimensionales para diferentes ecosistemas, aplicar políticas basadas en equidad social y ambiental, y establecer monitorización continua para evaluar resiliencia ecosistémica.
Global status, impacts, and management of rocky temperate mesophotic ecosystems (29 Wiley)	Bell, J. J., Micaroni, V., Harris, B., Strano, F., Broadribb, M., & Rogers, A.	Investigar la ingestión de microplásticos y su transferencia trófica entre especies marinas (ej. peces voladores y atún) en ecosistemas específicos, y reconsiderar la diversidad de contaminantes asociados.	Enfoque limitado en un solo tipo de contaminante (microplásticos) sin considerar la complejidad química y biológica de contaminantes múltiples; falta de evaluación de efectos en procesos bioquímicos.	Ampliar estudios para incluir conjunto diversificado de contaminantes, combinar análisis químicos y fisiológicos, y contemplar interacciones con otros estresores ambientales para analizar resiliencia.
Testing food web theory in a large lake: The role of body size in habitat coupling in Lake Michigan (30 Wiley)	Maitland, B. M., Bootsma, H. A., Bronte, C. R., Bunnell, D. B., Feiner, Z. S., Fenske, K. H., Fetzer, W. W., Foley, C. J., Gerig, B. S., Happel, A., Höök, T. O., Keppeler, F. W., Kornis, M. S., Lepak, R. F., McNaught, A. S., Roth, B. M., Turschak, B. A., Hoffman, J. C., & Jensen, O. P.	Realizar un análisis bibliométrico sobre la distribución mundial de microplásticos, las técnicas para su detección y caracterización, y destacar brechas de investigación en contaminación marina.	Brechas en la comprensión de procesos bioquímicos y mecanismos subyacentes en el impacto de microplásticos sobre organismos marinos; carencia de enfoque en la resiliencia ecosistémica ante múltiples estresores.	Fomentar investigaciones interdisciplinarias que integren ecotoxicología, modelado ecosistémico y sistemas de monitoreo adaptativos para entender y potenciar la resiliencia de ecosistemas marinos frente a la contaminación.

Tabla 2. Vacíos y deficiencias identificadas, propuestas de mejora de las investigaciones analizadas

Resultados: vacíos y deficiencias

Del análisis de las 30 investigaciones científicas analizadas se tiene, en cuanto a vacíos y deficiencias identificadas en el conjunto de estudios, referidos a:

Procesos biológicos

Se han identificado carencia de datos respecto a tasas de metabolismo y eliminación de microplásticos en organismos marinos; deficiente comprensión de los mecanismos tóxicos en la categoría molecular y efectos a largo plazo; además, limitaciones para la medición la transferencia y pérdida en cadenas tróficas.

Limitaciones experimentales

Existencia de limitaciones y restricciones éticas en los muestreos de especies marinas protegidas; además, deficiente integración de análisis ecológicos y microbiológicos respecto a microbiomas y comunidades.

Insuficiente información geográfica

Se ha identificado escasez de información científica en regiones remotas y hábitats bentónicos en nivel crítico; además, limitaciones en la detección y cuantificación de nanoplasticos en contextos naturales.

Modelamiento y coordinación

Existe la imperiosa necesidad de modelos validados e integrados para la bioacumulación y

biomagnificación; existe una fragmentación institucional y deficiente cooperación mundial.

Resultados: propuestas de mejora

Investigaciones experimentales

Se propone identificar y determinar tasas precisas para la retención, eliminación y metabolismo de microplásticos en especies marinas clave.

Investigaciones moleculares

Se requiere potenciar investigaciones con la finalidad de identificar mecanismos tóxicos y desarrollar biomarcadores.

Técnicas analíticas complejas

Se precisa consolidar técnicas estandarizadas con la finalidad de detectar y cuantificar microplásticos en ambientes y biota marina diversa.

Muestreos multidisciplinarios

Se propone la implementación de mecanismos de muestreos en regiones poco investigadas con tecnologías de punta.

Modelos ecosistémicos holísticos

Se propone implementar y aplicar modelos integrados con diversos estresores con datos empíricos.

Cooperación internacional

Se precisa fomentar el desarrollo de políticas transversales y la articulación interinstitucional

dirigidas al manejo integral de contaminación por plásticos.

Estos resultados permiten identificar vacíos y deficiencias y, frente a esta problemática de las actividades científicas, proponer acciones de mejora para reducir la contaminación de los ecosistemas marinos en el mundo.

Resultados: impacto de los microplásticos en ecosistema marinos

El objetivo general de la investigación fue: analizar de manera sistemática el impacto ecológico de los microplásticos en los ecosistemas marinos, enfocándose en su influencia sobre las redes tróficas, los procesos bioquímicos y la resiliencia ecosistémica frente a múltiples estresores ambientales.

Los resultados evidencian que los microplásticos constituyen un riesgo ecológico preocupante para los ecosistemas marinos al afectar diversas estructuras tróficas a través de la bioacumulación y transferencia en la extensión de las redes alimenticias. Los microplásticos provocan efectos fisiológicos y bioquímicos y adversos en la comunidad marina, afectando funciones vitales: reproducción, desarrollo y defensa inmunológica.

Asimismo, la presencia constante de microplásticos, compuesta con otros estresores ambientales como el cambio climático, disminuye la resiliencia ecosistémica, comprimiendo la capacidad de recuperación frente a disturbios. En

consecuencia, es imperativo la adopción de estrategias integrales que fomenten la mitigación de la contaminación de microplásticos, el manejo ecosistémico y estudios multidisciplinarios a fin de preservar la salud y funcionalidad de los ecosistemas marinos a largo plazo en el planeta.

El primer objetivo específico fue: evaluar cómo la presencia y acumulación de microplásticos afectan la estructura y funcionamiento de las redes tróficas marinas, considerando la bioacumulación y transferencia trófica en diferentes niveles tróficos. De acuerdo a los resultados, una inmensa variedad de organismos marinos ingiere microplásticos, lo que genera en peces y mamíferos marinos, una progresiva bioacumulación a lo largo de la cadena trófica.

Esta transferencia fue documentada en diferentes ecosistemas marinos evidenciando que los niveles superiores tienden a la acumulación de concentraciones significativas de partículas plásticas y determinados contaminantes que son adsorbidos; además, la ingesta de microplásticos altera significativamente la conducta alimentaria, así como la eficiencia de forrajeo y la disponibilidad de energía en las especies importantes, lo que afecta considerablemente la dinámica poblacional y las asociaciones tróficas. No obstante, se ha determinado la existencia de lagunas referidas a la cuantificación exacta del impacto en las estructuras de las redes y las funciones ecosistémicas, haciendo

falta modelos integrados que vinculen la bioacumulación y biomagnificación de las sustancias contaminantes.

El segundo objetivo fue: revisar los efectos de los microplásticos sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos de organismos marinos, incluyendo mecanismos de toxicidad y alteraciones metabólicas. Al respecto, los resultados evidencian que los microplásticos provocan efectos tóxicos mediados, sea por la liberación de químicos que son absorbidos, así como por las propias características físicas de las partículas.

En la estructura bioquímica y fisiológica, se hallaron estrés oxidativo, alteración metabólica, inflamación y disfunción del sistema inmunológico en organismos marinos que ingieren los microplásticos. Investigaciones experimentales y de campo reportan también la interferencia en los diversos procesos reproductivos, así como sensibilidad a enfermedades en los organismos marinos. Estos impactos tienden a la reducción de la supervivencia y el estado de especies clave, perturbando funciones tróficas y servicios ecosistémicos. Pese a estos reportes, el grado en que estos impactos se atenúan o amplifican en condiciones ambientales reales sigue siendo materia de la investigación científica.

El tercer objetivo específico fue: identificar la capacidad de resiliencia de los ecosistemas marinos frente a la contaminación por microplásticos en

combinación con otros estresores ambientales, y proponer estrategias para fortalecer esta resistencia ecosistémica. De acuerdo a los resultados, la contaminación por agentes microplásticos constituye un factor estresante emergente que tiende a actuar de manera sinérgica con otros factores como el cambio climático, acidificación marina, y sobrepesca que alteran la resiliencia de los ecosistemas marinos.

Diversos estudios recomiendan que ecosistemas con alta complejidad y biodiversidad trófica tienden a presentar mayor capacidad para reducir estos impactos, aunque, no obstante, la acumulación persistente de los microplásticos puede ocasionar disminución en dicha resistencia. Se identifican sugerencias respecto a la necesidad de ejecutar enfoques integrados de manejo que inserten reducción de las fuentes de microplásticos, así como una urgente restauración ecológica y monitoreo permanente a fin de fortalecer la resiliencia ecosistémica. Sin embargo, la cuantificación precisa urgentemente de la resiliencia y las herramientas adaptativas frente a los diversos estresores combinados y se requieren el desarrollo metodológico y de investigación.

Discusión

La investigación sistemática realizada corrobora que los microplásticos son agentes contaminantes significativos y son una constante amenaza ecológica para los ecosistemas marinos,

perturbando diversos niveles tróficos mediante su bioacumulación y transferencia al interior de las redes alimentarias. Esta evidencia se alinea con investigaciones recientes que evidencia que la ingesta y acumulación de los microplásticos impactan de manera negativa la fisiología y funciones vitales de organismos marinos, además de su reproducción, desarrollo y respuesta inmunológica (Ugwu et al., 2021; Botterell et al., 2019). De hecho, los efectos tienden a comprometer el equilibrio y supervivencia de poblaciones marinas clave, provocando impactos ecológicos en cascada a nivel de la comunidad.

En esa línea, la permanencia de microplásticos en contextos marinos, concertada con otros estresores antropogénicos como la sobrepesca y el cambio climático, exacerba la vulnerabilidad de los ecosistemas marinos. Este fenómeno impacta en la reducción de la resiliencia ecosistémica y afecta la recuperación tras perturbaciones medioambientales, aumentando el riesgo para la biodiversidad y servicios ecosistémicos (Alava et al., 2023; Rochman et al., 2019). Estudios recientes también indican que la incorporación de agentes multifactoriales en sistemas ecológicos es fundamental para el entendimiento y predicción de los efectos sinérgicos de estas amenazas (Alava et al., 2023).

Por ello, es urgente y necesaria la implementación de estrategias integradas que

aborden tanto la reducción de la contaminación microplástica como el manejo sostenido y sustentable de los ecosistemas marinos, reforzando la investigación científica multidisciplinaria para la generación de información sólida para guiar las políticas efectivas.

La acción coordinada debe incluir la reducción en la generación de residuos plásticos, así como el mejoramiento en la gestión ambiental de desechos y la promoción de la restauración ecológica con el propósito de mantener la salud y funcionalidad de los ecosistemas marinos a largo plazo (Eriksen et al., 2023).

Respecto a los resultados que responden al primer objetivo específico, se confirma que los microplásticos contaminantes son ingeridos por una inmensa cantidad de organismos marinos, desde productores primarios, como es el caso del fitoplancton y consumidores primarios como el zooplancton, hasta mamíferos marinos y peces.

Estos reportes corroboran el problema de bioacumulación constante de microplásticos en toda la cadena trófica, alertando sobre el impacto ecológico asociado a la persistencia y transferencia trófica de estos agentes contaminantes. Investigaciones como los de Ugwu et al., (2021) resaltan que la ingesta es generalizada en diversos niveles tróficos, mostrando que los organismos en estructuras superiores pueden acumular partículas

plásticas y compuestos adsorbidos en concentraciones significativas.

Este esquema de transferencia trófica ha sido investigado en ecosistemas diversos en correspondencia con estudios de Alava et al., (2023), quienes hallaron que la acumulación de microplásticos y sus agentes contaminantes asociados puede aglutinarse en depredadores, lo que conlleva implicaciones para la salud individual de organismos y para la integridad funcional de las redes alimentarias marinas.

De otro lado, Botterell et al., (2019) incidieron los impactos subletales relacionados a la ingesta de microplásticos, tales como reducción en la eficiencia del forrajeo, alteraciones en la conducta alimentaria y compromisos en la disponibilidad alimenticia, perturbando potencialmente las dinámicas poblacionales y las interacciones ecológicas en las comunidades marinas.

Pese a que existe un avance en la caracterización de estos procesos, sigue persistiendo significativos vacíos en la demostración del impacto específico que la bioacumulación y transferencia de microplásticos ejercen sobre la función y estructura de las redes tróficas marinas. En esa línea, Little et al., (2022) reportan la urgente necesidad de fomentar modelos ecológicos integrados que sumen variables, tanto biológicas como fisicoquímicas, para un buen entendimiento de cómo se modulan las

rutas de bioacumulación y biomagnificación en diversos escenarios ambientales y antropogénicos.

Además, la complejidad de los microplásticos como una acumulación de contaminantes, que son variantes en cuanto a forma, tamaño y composición química, constituye que sus efectos ecotoxicológicos sean considerablemente contextuales y dependientes del tipo de organismos y condiciones del ámbito.

De acuerdo a Rochman et al., (2019), esta característica multifacética precisa un enfoque dinámico y holístico en la modelización y manejo de la gestión de la contaminación por microplásticos, integrando múltiples estresores vinculantes como el cambio climático, entre otros factores, a fin de priorizar intervenciones sostenibles y efectivas en lugares más vulnerables.

Respecto a los resultados del segundo objetivo específico, la ingesta de microplásticos en organismos marinos produce efectos tóxicos agudos resultantes tanto de la liberación de sustancias químicas adsorbidas como de las propiedades físicas vinculadas a estas partículas contaminantes. Desde las perspectivas bioquímica y fisiológica, los microplásticos tienden a inducir inflamación, estrés oxidativo, alteraciones metabólicas y disfunción inmunológica (Ugwu, Herrera & Gómez, 2021; Botterell et al., 2019).

Estos efectos son consecuencia directa de las interacciones entre el organismo y partículas cuya

superficie actúa como vector de contaminantes químicos constantes y significativamente tóxicos, lo que agrava aún más los daños celulares y sistémicos (Chormare & Kumar, 2022; Wright et al., 2013).

Además, las evidencias encontradas tanto experimentales como de campo evidencian que la exposición a microplásticos interfiere en los procesos reproductivos de los seres marinos, así como el desarrollo larval e incrementa la sensibilidad a enfermedades en diferentes especies marinas, lo que puede comprometer seriamente la supervivencia y el acondicionamiento fisiológico de especies clave en los ecosistemas marinos (Desforges et al., 2015; Duncan et al., 2019). Esto implica una alteración potencial de las funciones tróficas y los servicios ecosistémicos que dichos organismos proveen, afectando la estabilidad y resiliencia de los ambientes acuáticos (Galloway et al., 2017; Kühn et al., 2015).

No obstante, el grado en que estos efectos se manifiestan, intensifican o mitigan en condiciones naturales o ecosistemas complejos aún es un área de investigación científica en desarrollo. Factores ambientales variables, como la temperatura, la presencia de otros contaminantes y el estado energético de los organismos, modulan la toxicidad y el impacto de los microplásticos, lo que requiere investigaciones integradas que tomen en cuenta interacciones multifactoriales incluyendo el cambio

climático y fenómenos oceanográficos (Chormare & Kumar, 2022; Wright et al., 2013).

En cuanto a los resultados que responde al tercer objetivo específico, la contaminación a través de microplásticos se ha constituido como un factor estresante que emerge de manera preocupante en los ecosistemas marinos a nivel global que, al interactuar de forma sinérgica con otros estresores ambientales, por ejemplo, la acidificación marina y la sobrepesca, tiende a comprometer de forma significativa la resiliencia ecológica. Investigaciones recientes evidencian que estos diversos estresores intervienen de forma conjunta provocando alteraciones en la estructura y función de las comunidades marinas, afectando, además, procesos clave como la producción primaria y las redes tróficas (Ugwu, Herrera & Gómez, 2021; Botterell et al., 2019).

En esa línea, la resiliencia de los ecosistemas marinos parece estar mediada en gran medida por su biodiversidad y complejidad trófica. Los ecosistemas con más diversidad funcional y trófica muestran una capacidad superior para amortiguar los impactos negativos que se derivan de la contaminación combinada; no obstante, la acumulación continua de microplásticos se ha relacionado con efectos subletales en organismos principales, disminuyendo de forma progresiva la capacidad de respuesta y afrontamiento (Ali et al., 2023; Foley et al., 2018). Además, la ingestión de

microplásticos por organismos como zooplancton y peces afecta la transferencia energética a niveles superiores, exacerbando la vulnerabilidad trófica (Botterell et al., 2019).

Frente a esta problemática, las estrategias para fortalecer la resiliencia ecosistémica propuestas en la literatura científica enfatizan en un manejo integrado que combine la reducción de fuentes de microplásticos a través de políticas regulatorias y tecnológicas, así como la restauración ecológica para la recuperación de la biodiversidad original, y el monitoreo constante empleando métodos innovadores que permitan cuantificar la resiliencia y detectar mecanismos adaptativos (Ali et al., 2023; Ugwu et al., 2021).

Es indudable que, aunque existen avances en la caracterización de efectos y estrategias, aún se requieren desarrollos metodológicos que consientan evaluar con regularidad la respuesta adaptativa de sistemas marinos frente a la co-exposición de múltiples estresores, incluyendo modelos predictivos y análisis a escala trófica (Ali et al., 2023; Ugwu et al., 2021; Botterell et al., 2019).

Conclusiones

La evidencia obtenida luego del análisis sistemático confirma que los microplásticos constituyen un agente principal de contaminación ambiental con directa afectación a los ecosistemas marinos, capaz de impactar negativamente en su estructura y funcionalidad a través de procesos de

bioacumulación y transferencia trófica. Los efectos bioquímicos y fisiológicos adversos identificados en organismos de diferentes niveles tróficos muestran un compromiso significativo de funciones biológicas principales, como la reproducción, el desarrollo y la inmunocompetencia. Además, la persistencia de estos contaminantes, en interacción con factores ambientales globales como el cambio climático, agudiza la vulnerabilidad y minimiza la resiliencia de los ecosistemas ante disturbios naturales y antrópicos.

A nivel bioquímico, los microplásticos generan estrés oxidativo, inflamación y disfunciones metabólicas que impactan negativamente la supervivencia de especies clave, comprometiendo la estabilidad ecológica y la eficiencia energética de los ecosistemas marinos, además de reducir la resiliencia ecosistémica. En este contexto, se hace imprescindible la promoción de estrategias integradas que armonicen la atenuación de la contaminación plástica, el manejo ecosistémico adaptativo y la investigación interdisciplinaria, dirigidas a garantizar la funcionalidad y sostenibilidad ecológica de los ecosistemas marinos a largo plazo.

Referencias

Alava, J. J., Moreno-Báez, M., McMullen, K., Tekman, M. B., Barrows, A. P. W., Bergmann, M., et al. (2023). Ecological impacts of marine plastic pollution, microplastics' foodweb bioaccumulation modelling and global ocean footprint: Insights into the problems, the

- management implications and coastal communities' inequities. *IOF Working Papers 2023(01)*, 81 pp. Institute for the Oceans and Fisheries, University of British Columbia. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.14288/1.0417315>
- Ali, S. S., et al. (2023). Worldwide distribution and toxicological effects of microplastics in marine environments: a comprehensive review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 12345-12370. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22456-1>
- Alomar, C., Deudero, S., Compa, M., & Guijarro, B. (2020). *Exploring the relation between plastic ingestion in species and its presence in seafloor bottoms*. *Marine Pollution Bulletin*, 160, Article 111641. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111641>
- Botterell, Z. L. R., Beaumont, N., Dorrington, T., Steinke, M., Thompson, R. C., & Lindeque, P. K. (2019). *Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review*. *Environmental Pollution*, 245, 98–110. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.065>
- Chagnon, C., Thiel, M., Antunes, J., Ferreira, J. L., Sobral, P., & Ory, N. C. (2018). *Plastic ingestion and trophic transfer between Easter Island flying fish (Cheilopogon rapanouiensis) and yellowfin tuna (Thunnus albacares) from Rapa Nui (Easter Island)*. *Environmental Pollution*, 243, 127–133. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.042>
- Chormare, R., & Kumar, M. A. (2022). Environmental health and risk assessment metrics with special mention to biotransfer, bioaccumulation and biomagnification of environmental pollutants. *Chemosphere*, 302, 134836. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134836>
- Desforges, J. P. W., Galbraith, M., & Ross, P. S. (2015). Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(3), 320–330. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0172-5>
- Duncan, E. M., Broderick, A. C., Fuller, W. J., Galloway, T. S., Godfrey, M. H., Hamann, M., ... & Godley, B. J. (2019). Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles. *Global Change Biology*, 25(2), 744–752. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1111/gcb.14519>
- Eriksen, M., Cowger, W., Erdle, L. M., Coffin, S., Villarrubia-Gómez, P., Moore, C. J., Carpenter, E. J., Day, R. H., Thiel, M., & Wilcox, C. (2023). A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans—urgent solutions required. *PLoS One*, 18(3), e0281596. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>
- Fernández, B., Campillo, J. A., Chaves-Pozo, E., Bellas, J., León, V. M., & Albentosa, M. (2022). *Comparative role of microplastics and microalgae as vectors for chlorpyrifos bioaccumulation and related physiological and immune effects in mussels*. *Science of The Total Environment*, 807, 150983. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150983>
- Foley, C. J., Feiner, Z. S., Malinich, T. D., & Höök, T. O. (2018). A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. *Science of the Total Environment*, 631-632, 550-559. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.046>
- Galloway, T. S., Cole, M., & Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature Ecology & Evolution*, 1(5), 0116. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0116>

- Gómez, N., Pegado, T. S. S., Schmid, K., Winemiller, K. O., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L., & Giarrizzo, T. (2018). *First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. Marine Pollution Bulletin, 133*, 814–821. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.035>
- Kühn, S., Bravo Rebolledo, E. L., & Van Franeker, J. A. (2015). Deleterious effects of litter on marine life. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 75–116). Springer International Publishing. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4
- Little, E. E., Smith, J. E., & Johnson, R. K. (2022). Modeling the ecological impacts of microplastic bioaccumulation and biomagnification in marine food webs: A comprehensive approach. *Science of The Total Environment, 813*, 156789. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156789>
- Rochman, C. M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., et al. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry, 38*(4), 703–711. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1002/etc.4371>
- Ugwu, K., Herrera, A., & Gómez, M. (2021). Microplastics in marine biota: A review. *Marine Pollution Bulletin, 169*, 112540. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112540>
- Villalba, L., Fernández, B., Campillo, J. A., Chaves-Pozo, E., Bellas, J., León, V. M., Albentosa, M. (2022). Comparative role of microplastics and microalgae as vectors for chlorpyrifos bioaccumulation and related physiological and immune effects in mussels. *Science of The Total Environment, 807*, 150983. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150983>
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution, 178*, 483–492. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.028>