

# Revista Ciencias del Mar UAS



Enero - Marzo 2025

Núm. 2 Vol.2

U N I V E R S I D A D A U T Ó N O M A D E S I N A L O A



**Edición  
especial  
mujeres  
en las ciencias  
del mar**

ISSN (en trámite)



# Revista CIMAR UAS

REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

ISSN (en trámite)



Revisión Científica

## Una breve revisión sobre los microplásticos en los ecosistemas acuáticos

### A brief review on microplastics in aquatic ecosystems



1. Gladys Valencia-Castañeda

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
Unidad Académica Mazatlán, México.

Autor de correspondencia: [gladys0908@hotmail.com](mailto:gladys0908@hotmail.com)



2. Alondra G. Sánchez-Rendón

Posgrado en Ciencias en Recursos Acuáticos,  
Facultad de Ciencias del Mar, Universidad  
Autónoma de Sinaloa, México.



3. Laura L. Bonilla-Aguirre

Posgrado en Ciencias en Recursos Acuáticos,  
Facultad de Ciencias del Mar, Universidad  
Autónoma de Sinaloa, México.

latindex



CREATIVE COMMONS



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina



---

## Una breve revisión sobre los microplásticos en los ecosistemas acuáticos

---

---

## A brief review on microplastics in aquatic ecosystems

---

### ► RESUMEN

La contaminación ambiental causada por los microplásticos (MPs) es, al día de hoy, una de las mayores preocupaciones a nivel mundial; estas partículas se han convertido en contaminantes omnipresentes en todos los ecosistemas, principalmente marinos, lo que plantea importantes riesgos ecológicos y para la salud humana. Actividades como la pesca y la acuicultura se han desarrollado gracias a la modernización e industrialización que comprende el uso de materiales y productos de plásticos que, a su vez, contribuyen a la contaminación de MPs en los ecosistemas naturales y de cultivo. El objetivo de este trabajo es presentar una breve revisión sobre la contaminación de los MPs en los ecosistemas acuáticos, sus características físicas y químicas, así como las técnicas utilizadas para la extracción e identificación de partículas de MPs en biota acuática. Además, se abordan los efectos y la transferencia de los MPs en las cadenas tróficas, la interacción de estas partículas con otros contaminantes y los efectos en la biota acuática y la salud humana.

**Palabras clave:** Plásticos, Acuicultura, Polímeros, Ingesta, Salud humana



## ► ABSTRACT

Environmental pollution caused by microplastics (MPs) has become one of the major concerns worldwide; these particles have become omnipresent contaminants in all ecosystems, mainly marine ones, posing significant ecological and human health risks. Activities such as fishing and aquaculture have developed thanks to modernization and industrialization, including the use of plastic materials and products, which in turn contribute to MPs contamination in natural and cultivated ecosystems. The objective of this paper is to present a brief review of MPs contamination in aquatic ecosystems, their physical and chemical characteristics, as well as the techniques used for the extraction and identification of MPs particles in aquatic biota. In addition, the effects and transfer of MPs in food chains, the interaction of these particles with other contaminants, and the effects on aquatic biota and human health are addressed.

**Keywords:** Plastics, Aquaculture, Polymers, Ingestion, Human health

## ► INTRODUCCIÓN

En el último siglo el crecimiento poblacional trajo consigo un crecimiento económico para el cual se volvió fundamental el uso de productos plásticos; este producto proveniente del petróleo envolvió nuestro entorno debido a que es un material muy versátil, duradero, ligero, barato y resistente a la corrosión. Anualmente se producen millones de toneladas de plástico y al ser un producto tan resistente y debido a sus cualidades físicas no se degrada sino que se fragmenta en partículas cada vez más pequeñas llamadas microplásticos (MPs) con un tamaño desde 1-5000  $\mu\text{m}$  (Boettecher et al., 2023; Thompson et al., 2009).

Los MPs son un tema de alta relevancia internacional y uno de los grandes problemas medioambientales del siglo XXI; hoy en día hay un incremento en su estudio y monitoreo, pero los avances en el tema han

sido lentos. La contaminación generalizada de los MPs es un problema mundial creciente, estas partículas se han encontrado en el océano abierto, costas, sedimentos costeros/marinos, plataformas y cuencas de aguas profundas, planteando riesgos ambientales potenciales para una diversidad de organismos acuáticos, principalmente a través de la ingestión (Alomar et al., 2016; Lusher et al., 2015).

### **Producción de los plásticos**

El plástico es un término genérico designado para describir una amplia gama de materiales a base de polímeros que se moldean bajo condiciones específicas de temperatura y presión (FAO, 2017). Químicamente están elaborados a partir de materiales orgánicos, sintéticos o semi-sintéticos, se componen de elementos a base de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, cloro o azufre. Algunas de sus características físicas y químicas son el bajo punto de fusión, baja densidad, baja conductividad eléctrica y térmica, y poca reactividad química; además, bajo costo de producción, durabilidad, ligereza y resistencia a la corrosión lo que ha permitido que la sociedad los use de manera práctica y eficiente en diversas actividades (construcción, transporte, agricultura, medicina, domésticas, pesca, industrias textiles, entre otras) (Cole et al., 2011).

El plástico se utiliza en una amplia variedad de sectores y actividades, por lo tanto, la producción global de plásticos se ha incrementado considerablemente con el paso del tiempo. En la década de 1950, se fabricaban alrededor de 1.5 millones de toneladas anuales, mientras que para el año 2016, esta cifra alcanzó los 335 millones de toneladas (Li et al., 2016; Statista, 2025). Actualmente se producen aproximadamente 413 millones de toneladas de plástico por año (PlasticEurope, 2023) (Figura 1). En México, la producción de plásticos en el 2023 fue de 3.9 millones de toneladas, donde el 47% de la producción corresponde a empresas que fabrican plásticos de un solo uso (Gobierno de México, 2025).

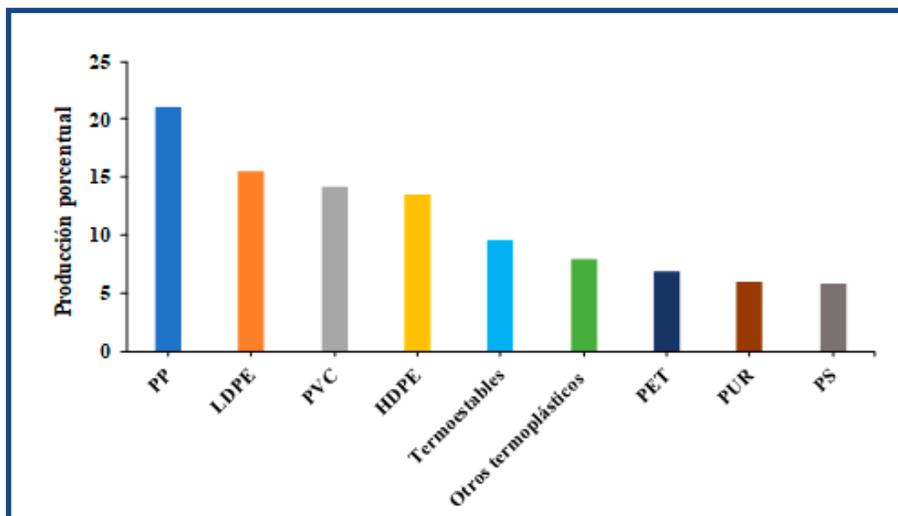


*Figura 1.* Producción mundial de plástico en la última década (2013-2023) de acuerdo a información de PlasticEurope (2023) y Statistic (2025).

### Tipos y uso de los polímeros

Según su origen y proceso de formación los polímeros se pueden clasificar en: (i) polímeros naturales, que son aquellos que se encuentran de forma natural en los organismos vivos, por ejemplo el caucho, los polisacáridos, el almidón, el glucógeno y las proteínas; (ii) polímeros sintéticos, los cuales son fabricados mediante procesos químicos como el poliestireno (PS), polimetacrilato de metilo (acrílico), polipropileno (PP), polietileno (PE), polietileno de baja densidad (LDPE), **polietileno de alta densidad (HDPE)**, cloruro de polivinilo (PVC), etc.; (iii) polímeros de adición, que se obtienen mediante la sucesiva adición de monómeros idénticos o similares sin la eliminación de subproductos (polisacáridos y proteínas); (iv) polímeros de condensación, los cuales, se forman mediante la combinación de dos monómeros diferentes, con la eliminación de moléculas pequeñas como agua, alcohol o ácido durante la reacción de polimerización; y (v) polímeros de reordenamiento, que se producen a partir de reacciones en las que los monómeros sufren cambios estructurales durante la polimerización (Liguori et al., 2021; Sidek et al., 2019).

La diversidad de estos polímeros, tanto naturales como sintéticos, permite su uso en una amplia gama de áreas por sus propiedades únicas y características que los convierten en materiales indispensables en nuestra vida cotidiana (Geyer et al., 2017). En el año 2023, la producción total de plásticos fue de 413.8 millones de toneladas a nivel mundial, siendo el PP, LDPE, PVC y HDPE los polímeros con mayor porcentaje de producción (PlasticEurope, 2023) (Figura 2).



**Figura 2.** Producción porcentual de polímeros plásticos a nivel mundial en el año 2022 (Fuente: PlasticEurope, 2023).

Entre los polímeros sintéticos, el PP es un constituyente importante de muebles, envases y embalajes alimentarios, tuberías y accesorios, así como un componente relevante en la fabricación de automóviles, etc. El LDPE se utiliza para la elaboración de bolsas, botellas para envasado de alimentos, redes, popotes; mientras que el **HDPE** se encuentra en juguetes, tuberías y accesorios, depósitos de combustible, cableado, botellas de leche y champú, tubos de crema solar, etc. El PVC se usa para la elaboración de bolsas, revestimientos de suelos y paredes, perfiles de ventanas, mosquiteras, tuberías y accesorios, aislamiento de cables, etc. El PS se encuentra en revestimiento interior de refrigeradores, cascos de seguridad, envases alimentarios, aislamiento de edificios, equipos eléctricos y electrónicos, marcos de cristal, etc. El poliuretano (PUR) es usado como aislamiento en edificios, almohadas, colchones, asientos de coches y oficinas, espumas aislantes para refrigeradores, etc. El

tereftalato de polietileno (PET) está presente en botellas de bebidas, aerosoles de limpieza, recipientes para comida preparada, etc. Los termoestables (*e.g.* resina epoxi y siliconas) son usados, como revestimientos, en muebles, vajillas reutilizables, etc. (Andrady, 2011; PlasticEurope, 2023) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tipos de polímeros plásticos y sus productos utilizados en diferentes actividades.

| Tipo de polímeros              | Abreviatura | Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) | Productos de plástico   |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|---|
| Polipropileno                  | PP          | 0.85-0.83                      | Tapones de botella, redes, muebles, envases, embalajes alimentarios, tuberías, accesorios   |
| Polipropileno de baja densidad | LDPE        | 0.91-0.93                      | Bolsas de plástico, botellas para envasado de alimentos, redes, popotes   |
| Cloruro de polivinilo          | PVC         | 1.38                           | Cubiertas de plástico, botellas, vasos, bolsas, revestimientos de suelos y paredes, perfiles de ventanas, mosquiteras, tuberías, accesorios, aislamiento de cables  |
| Polipropileno de alta densidad | HDPE        | 0.94                           | Juguetes, tuberías y accesorios, depósitos de combustible, cableado, botellas de leche y champú, tubos de crema solar   |
| Termoestables                  | -           |                                | Muebles, construcción   |
| Tereftalato de polietileno     | PET         | 1.37                           | Botellas de bebidas, aerosoles de limpieza, recipientes para comida preparada   |
| Poliuretano                    | PUR         | 1.25                           | Aislamiento en edificios, almohadas, colchones, asientos de coches y oficinas, espumas aislantes para frigoríficos  |
| Poliestireno                   | PS          | 1.05                           | Utensilios de plástico, recipientes para alimentos, revestimiento interior de refrigeradores, cascos de seguridad, envases alimentarios, aislamiento de edificios, equipos eléctricos y electrónicos, marcos de cristal |
| Polietileno                    | PE          | 0.96                           | Bolsas de supermercados, aceites, tambores, tuberías para gas, telefonía, guías de cadena, piezas mecánicas   |
| Polimetacrilato de metilo      | PMMA        | 1.18                           | Cajas para alimentación, señalización   |
| Nylon                          | PA          | 1.14                           | Industria de la pesca   |
| Acetato de celulosa            | CA          | 1.30                           | Filtros de cigarrillos  |

### Uso de los plásticos en la pesca y acuicultura

En la industria pesquera, la calidad de las redes y artes de pesca han avanzado con la fabricación industrial de plásticos y los equipos ahora están hechos principalmente de materiales sintéticos o semisintéticos. Las cuerdas de fibras sintéticas ofrecen mayor resistencia y durabilidad que las cuerdas de fibra natural, además son más económicas, duraderas y fáciles de manipular (Valdemarsen, 2001). Los materiales plásticos



actualmente se utilizan en la construcción y mantenimiento de embarcaciones; incluso, las redes y los flotadores están fabricados con una variedad de plásticos, incluidos PP, PE, PVC, PS y poliamidas (PA); una vez capturado el producto, éste se coloca en cajas de plástico para su transporte y distribución (FAO, 2016; 2017). En la acuicultura, los sistemas de cultivo han estado cambiando a medida que aumenta la demanda de los consumidores, dando lugar al avance de nuevas tecnologías para las instalaciones de producción, lo que incluye el uso de plásticos. En general, se usan materiales plásticos en diversos utensilios y equipos durante el cultivo de los organismos acuáticos, tal es el caso de las jaulas para peces y el revestimiento de estanques, incluso se utiliza plástico para el embalaje y transporte del producto final (FAO, 2017).

Los plásticos son un componente importante de la pesca y la acuicultura; desafortunadamente una parte de los materiales utilizados en estas actividades se convierten en desechos y pueden ser transportados hasta los ambientes naturales. No existen estimaciones globales de la cantidad de desechos plásticos generados por el sector de la pesca y la acuicultura (Crusot et al., 2023; FAO, 2017). La primera estimación nacional de desechos de la pesca y la acuicultura en los entornos marinos se realizó en Corea del Sur, donde el aporte anual de artes de pesca desechadas se estimó en 44 081 toneladas, 2 374 toneladas de basura arrojada por la borda desde los buques pesqueros y 4 382 toneladas de flotadores perdidos en las instalaciones de acuicultura (Jang et al., 2014).

### **Contaminación plástica y microplásticos**

A la fecha, la contaminación plástica es amplia y es uno de los mayores desafíos ambientales de nuestro tiempo. Una gestión inadecuada de los residuos plásticos en los últimos años ha ocasionado un problema de contaminación en los ambientes acuáticos, situación que podría agravarse en el futuro (Law et al., 2020; Neufeld et al., 2016). En algunos casos, este tipo de contaminación ha representado hasta el 90% de los residuos que llegan al océano. De acuerdo a Geyer et al. (2017), cada año llegan al mar 8 millones de toneladas de plástico que equivalen del 2-5% de lo que se produce al año. La alta dispersión de materiales plásticos en el medio marino se debe principalmente a que son omnipresentes, a sus propiedades flotantes y su tamaño (Campbell et al., 2017; Cole et al.,



2011). Con el tiempo, estos plásticos se descomponen en fragmentos diminutos denominados MPs, los cuales se pueden encontrar dispersos en el agua, suelo y/o aire, representando así un riesgo para la biodiversidad y la salud humana (Rhodes, 2018).

Los MPs son pequeñas partículas plásticas de dimensiones inferiores a 5 mm que se han convertido en un contaminante emergente de origen antropogénico. Estas partículas se clasifican según su origen en primarios y secundarios (Andrady, 2011). Los MPs primarios son partículas diseñadas y fabricadas intencionalmente con tamaños menores a 5 mm, que se utilizan en una variedad de aplicaciones industriales y domésticas, como gránulos de resina, así como microesferas presentes en productos cosméticos y farmacéuticos (GESAMP, 2015; Napper et al., 2015). Por otro lado, los MPs secundarios se generan en el entorno natural a partir de la fragmentación de productos o partículas de plásticos de mayor tamaño influenciada por factores climáticos y ambientales como la radiación ultravioleta, el viento, el flujo del agua, etc (Bollaín et al., 2020).

La fragmentación y/o degradación de los plásticos, que puede ser de varios tipos en función de la causa que la genere, está asociada a la decoloración, el desarrollo de desgastes en su superficie y un aumento en su fragilidad (Wang et al. 2016). La fragmentación de los plásticos de mayor tamaño son una fuente adicional de entrada de MPs a los ecosistemas, ya sea antes de ser desechados en el ambiente, como es el caso de la fragmentación de las fibras sintéticas al lavar la ropa, o una vez que estos plásticos de mayor tamaño ya forman parte del ecosistema y son degradados por diferentes procesos químicos, biológicos y físicos (Browne et al., 2011; Medrano et al., 2015; Tosin et al., 2012).

De acuerdo a su morfología, los MPs se pueden clasificar por su tipo (fragmentos, fibras, gránulos, películas, pellets y espumas); por su forma (irregular, alargado, angular, redondeado, subangular, subredondeado); por su color (transparente, blanco, rojo, rosa, amarillo, café, rojo, naranja, verde, azul, gris, etc.) y por su tamaño (< 5 mm) (Cole et al., 2011; Hidalgo-Ruz et al., 2012; Mbachu et al., 2021).

Los MPs pueden encontrarse en casi todos los hábitats de la Tierra, llegan de diversas maneras y la gran mayoría se encuentran en los ambientes



marinos procedentes directamente de fuentes continentales que se transportan a través de ríos, plantas tratadoras de agua y en menor medida se desplazan de forma aérea. Otra parte de la contaminación se debe a actividades costeras recreativas y económicas como es el caso del turismo, acuicultura, pesca, etc., (Li et al., 2016). Se sabe que los MPs pueden permanecer por décadas o hasta siglos en el ambiente incluso, en los últimos años, alrededor del mundo se han desarrollado investigaciones en las que se ha registrado contaminación plástica tanto en la columna de agua como en los sedimentos, por lo que estas partículas plásticas pueden ser ingeridas por los organismos presentes en los diferentes niveles tróficos (GESAMP, 2015; Tekman et al., 2020). Los MPs han pasado de ser un tema poco considerado a convertirse en un contaminante emergente de gran preocupación a nivel global; su amplia presencia en los ambientes acuáticos y su diminuto tamaño los hacen fácilmente confundibles con organismos acuáticos como el plancton, lo que no solo genera contaminación visual sino que también facilita su ingesta accidental, integrándose así en las cadenas alimentarias de todo el planeta (Abidli et al., 2020; Campbell et al., 2017; Cole et al., 2011).

### **Transferencia de los microplásticos en la cadena trófica**

Los MPs se encuentran presentes en prácticamente todos los hábitats marinos a lo largo del planeta. La densidad de estas partículas de acuerdo con el tipo de polímero ( $0.8$  a  $1.4 \text{ g/cm}^3$ ) (Tabla 1), parecen tener un efecto importante en su distribución, ya que, debido a las diferentes densidades que presentan en función de su composición, estas partículas plásticas se distribuyan en distintas zonas de la columna de agua y los sedimentos bentónicos (Lusher et al., 2015).

Un amplio número de investigaciones han señalado que los organismos de ecosistemas pelágicos y bentónicos puede ingerir MPs debido a sus características físicas, como su color y tamaño, lo que puede incrementar la probabilidad de que los MPs puedan ser confundidos con presas por organismos planctónicos (Shaw & Day, 1994). Debido a que la mayoría de los MPs poseen una densidad que les permite flotar cerca de la superficie, por lo que se encuentran fácilmente disponibles para

una gran diversidad de especies que interactúan con el plancton, por ejemplo, larvas de peces de interés comercial (Fendall et al., 2009).

En ciertos casos, los mecanismos de alimentación no permiten distinguir entre alimentos y MPs, lo que resulta en su ingestión accidental o intencionada, como sucede con el plancton (Moore, 2008). La ingestión de MPs por organismos de los niveles más bajos de la cadena trófica, como el fitoplancton y el zooplancton, puede servir como una vía de entrada para que estos contaminantes lleguen a niveles superiores, esto ocurre cuando los depredadores consumen presas previamente contaminadas con estas partículas (bioacumulación y biomagnificación) (Bhattacharya et al., 2010; Lusher et al., 2015) (Figura 3).



**Figura 3.** Transferencia de partículas de microplásticos en la cadena trófica.

### **Interacción de los microplásticos con otros contaminantes**

Se ha documentado de manera general que los MPs actúan como vectores para el transporte de otros contaminantes que pueden causar mayor toxicidad en los organismos, como: (i) aditivos, que son compuestos directamente relacionados con la fabricación de los plásticos para proporcionarles ciertas propiedades, por ejemplo, los ftalatos que los hacen más maleables, el bisfenol A, los retardantes de



flama, los antimicrobianos, y aquellos que evitan los daños oxidativos como los nonilfenoles; (ii) metales pesados y contaminantes orgánicos hidrofóbicos, que consisten en elementos y compuestos químicos que se adsorben en las partículas plásticas; como el cobre, zinc, plomo, bifenilos policlorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos, etc. (Ashton et al., 2010; Brennecke et al., 2015). Por otro lado, los patógenos, los cuales son considerados contaminantes biológicos que también pueden interactúan con los MPs, en donde actúan como sustrato para diversas comunidades de microorganismos (Harrison et al., 2014).

### **Efecto de los microplásticos en la biota acuática**

Aunque existe una amplia evidencia de la ingesta y presencia de MPs en la biota acuática, es importante señalar que los estudios con organismos experimentales en laboratorio son fundamentales para evaluar los efectos provocados por estos contaminantes (Abidli et al., 2020; Campbell et al., 2017; Cole et al., 2011; Watts et al., 2015). En el grupo de los peces, el pez cebra (*Danio rerio*), ha sido una de las principales especies estudiadas debido a su ciclo de vida corto y su fácil manipulación genética, no obstante, existen otras especies de peces que también han sido utilizados (Banaee et al., 2025; de Sá et al., 2018; Wang et al., 2020). Otro grupo de organismos introducidos para la evaluación de los efectos de los MPs son los crustáceos decápodos, especialmente los de menor tamaño, como los copépodos (de Sá et al., 2018; Bai et al., 2021); aunque especies de mayor tamaño como *Litopenaeus vannamei* y otros crustáceos también han sido evaluados, principalmente por su impacto en el ecosistema y su asociación con la salud humana, al ser especies de importancia comercial (D'Costa, 2022). De igual forma, aunque con menor frecuencia, los moluscos bivalvos también han sido estudiados para determinar el efecto que tienen los MPs, debido a tener una amplia distribución y capacidad filtradora (Khanjani et al., 2023).

Los principales efectos reportados en diferentes organismos acuáticos de la cadena trófica incluyen la obstrucción, disminución de la ingesta de alimento, deterioro estructural del intestino y alteraciones en la función del tracto gastrointestinal (digestión, absorción, etc.) provocando problemas nutricionales y de crecimiento (Cormier et al., 2022; Pedà et



al., 2016; Varó et al., 202; Yin et al., 2018). Además de esto, la translocación de MPs del tracto gastrointestinal a otros órganos y/o tejidos, principalmente de partículas  $< 20 \mu\text{m}$ , puede provocar inflamación y daños histológicos en diferentes tejidos (Seta et al., 2023; Varó et al., 2021; von Moos et al., 2012).

De igual forma, el estrés oxidativo es uno de los efectos que se han evaluado mayormente en los organismos acuáticos expuestos a MPs; donde se ha observado alteraciones de la actividad enzimática antioxidante (catalasa (CAT), superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPx), glutatión S-transferasa (GST), glutatión reductasa (GSH), etc.). El estrés oxidativo funge como una primera barrera de defensa contra la formación de especies reactivas de oxígeno y el aumento de la peroxidación lipídica (Lu et al., 2016; Wang et al., 2021; Zhou et al., 2023).

Otros efectos por MPs en organismos acuáticos que han sido reportados con menor frecuencia son comportamientos depredadores modificados, interrupción de la actividad natatoria y reservas de energía reducidas (Cormier et al., 2022; Yin et al., 2018). Así mismo, se han reportado efectos en la reducción del éxito de la reproducción, alteraciones en el desarrollo embrionario (De Marco et al., 2022; Lei et al., 2018), perturbación del sistema inmunitario innato e incluso la disminución en la tasa de supervivencia (Lei et al., 2018; Rist et al., 2016; Wang et al., 2021).

No obstante, es importante señalar que el grado de severidad de las respuestas fisiológicas mencionadas anteriormente, puede variar de un organismo a otro, inclusive dentro de la misma especie, esto se debe a diferencias en el diseño experimental, los mecanismos de depuración de cada especie, la etapa de desarrollo de los organismos experimentales, la elección de los tipos y concentraciones de MPs, así como los períodos de exposición y los criterios de efectos a evaluar (de Sá et al., 2018).

En México las investigaciones sobre los efectos de MPs en organismos acuáticos es limitada; sin embargo, en los últimos años se ha observado un incremento en el número de publicaciones, principalmente en especies de tallas pequeñas pertenecientes al zooplancton como los



cladóceros (*Daphnia pulex*) y anfípodos (*Parhyale hawaiensis*), así como crustáceos de mayor tamaño como los cangrejos violinistas (*Minuca rapax* y *Minuca ecuadoriensis*) (Capparelli et al., 2023; Ramírez-Olivares et al., 2024; Villegas et al., 2022). En el grupo de los anfibios, se tienen investigaciones a nivel experimental con el ajolote *Ambystoma mexicanum* (Manríquez-Guzmán et al., 2023).

## **Efectos de los microplásticos en la salud humana**

En la actualidad, el efecto de los MPs en la salud humana es un tema de gran relevancia, ya que, además de la creciente preocupación por el aumento en la producción de materiales plásticos (Bhuyan, 2022), diversas investigaciones han indicado que estos contaminantes tienen el potencial de infiltrarse en el cuerpo humano a través de la ingestión de agua y alimentos, así como la inhalación de partículas que se encuentran en el aire (Kumar et al., 2022; Ragusa et al., 2022; Yarahmadi et al., 2024). De igual forma, se han identificado MPs en varias muestras biológicas humanas, como pulmones, placenta, heces, hígado, leche materna, corazón y sangre (Horvatits et al., 2022; Jenner et al., 2022; Ragusa et al., 2021; Schwabl et al., 2019; 2022; Yang et al., 2023)

En general, la evidencia científica sugiere que la exposición a los MPs puede provocar lesiones en los tejidos de diversos órganos y disfunción en múltiples sistemas, tal es el caso del digestivo, respiratorio, cardiovascular, inmunológico, reproductivo y endocrino, lo que en consecuencia conduce a enfermedades donde el estrés oxidativo y la inflamación son puntos clave para su desarrollo (Kumar et al., 2022; Lee et al., 2024; Yarahmadi et al., 2024; Zhao et al., 2024). Sin embargo, no hay suficiente información sobre la evaluación toxicológica de los MPs en organismos vivos, por lo que se deben considerar más estudios para poder comprender de una manera integral los efectos de los MPs en la salud humana, lo que nos llevara a poder tomar medidas regulatorias y de mitigación para estos contaminantes.



## Técnicas para la extracción e identificación de microplásticos en biota acuática

En la actualidad, las técnicas de análisis de MPs en las diversas matrices (agua, sedimentos y biota) no se han estandarizado, siendo uno de los principales desafíos que se tiene para la extracción y cuantificación de MPs, especialmente en la digestión de material orgánico. Uno de los métodos para la digestión de tejidos más utilizados es con hidróxido de potasio (KOH), el cual ha sido señalado como el método más eficiente para la obtención de MPs sin presentar una degradación significativa de estos (Fernández Severini et al., 2020; Keshavarzifard et al., 2021; Yan et al., 2020). De igual forma, se ha utilizado el peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ), ya que algunos autores coinciden en que es más eficaz para digerir material biogénico (Hossain et al., 2020). De igual forma, el ácido nítrico ( $HNO_3$ ) y ácido perclórico ( $HClO_4$ ) han sido empleados para la digestión de exoesqueleto y branquias, debido a que son tejidos de material quitinoso y/o resistentes. No obstante, el tratamiento con ácidos ha sido criticado por un sector de la comunidad científica, sugiriendo que estos podrían alterar las propiedades químicas de la superficie de los MPs (Abbasi et al., 2018; Devriese et al., 2015; Valencia-Castañeda et al., 2022).

Como alternativa a la aplicación de ácidos, algunos autores han utilizado la digestión enzimática para eliminar la materia orgánica, obteniendo resultados muy comparables a los que se tienen con la digestión con KOH (Courtene-Jones et al., 2017; von Friesen et al., 2019); no obstante, el conocimiento generado para el uso de la digestión enzimática en matrices más complejas aun es escaso, por lo que realizar estudios con estas técnicas se considera de suma importancia.

La flotación con soluciones salinas (cloruro de sodio, cloruro de zinc, etc.) es una técnica usada para separar partículas con diferentes densidades una vez que la muestra ya se encuentra digerida. En este caso, las partículas de MPs quedan flotando mientras otras partículas más densas se sedimentan en el fondo del recipiente lo que ayuda a minimizar errores en la extracción de otras partículas y en el conteo de MPs (Vermeiren et al., 2020).



La identificación física y el conteo de las partículas de MPs, se realiza con ayuda de un microscopio estereoscópico; donde se identifica el tipo, forma, color y tamaño de los MPs; mientras que la identificación química de los MPs se puede realizar por espectrometría de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) y/o espectroscopia RAMAN (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Li et al., 2016). Finalmente, los resultados de las características físicas (tipo, forma, color y tamaño) y químicas (tipo de polímeros) de los MPs encontradas en las muestras analizadas se registran como porcentajes. En cuanto al número de partículas encontradas en biota, éstas se reportan como abundancias de MPs por tejido, MPs por gramo de tejido, MPs por organismo y/o MPs por gramo de organismo (Valencia-Castañeda et al., 2022).

## ► CONCLUSIÓN

Los MPs son contaminantes presentes en los ecosistemas acuáticos, su tamaño y su amplia distribución han atrapado la atención mundial debido a la ingestión de estas partículas por los organismos, así como la interacción con otros contaminantes y los efectos que puedan ocasionar en las cadenas tróficas, incluyendo al ser humano. En los últimos años ha existido un crecimiento acelerado en el número de investigaciones sobre la contaminación de los MPs; sin embargo, las técnicas para su aislamiento e identificación en la biota acuática y otras matrices ambientales (agua y sedimentos) es un tema de discusión e interés entre la comunidad científica ya que no existen técnicas estandarizadas para su análisis como ocurre con otros contaminantes presentes en los ecosistemas. Es importante seguir realizando investigaciones sobre la contaminación, técnicas y efectos de los MPs en los organismos, aunado a esto, se deben ejecutar programas de seguimiento de la contaminación de los MPs en productos acuáticos para estimar la cantidad de partículas plásticas ingeridas a través del consumo de productos pesqueros y acuícolas.



## ► LITERATURA CITADA

**Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., & Hassanaghaei, M. (2018).** Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere*, 205, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.076>

**Abidli, S., Akkari, N., Lahbib, Y., & El Menif, N. (2020).** First evaluation of microplastics in two commercial fish species from the lagoons of Bizerte and Ghar El Melh (Northern Tunisia). *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101581. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101581>

**Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016).** Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Environmental Research*, 115, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005>

**Andrady, A. L. (2011).** Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

**Ashton, K., Holmes, L., & Turner, A. (2010).** Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 2050–2055. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.014>

**Bai, Z., Wang, N., & Wang, M. (2021).** Effects of microplastics on marine copepods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217, 112243. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112243>

**Banaee, M., Multisanti, C.R., Impellitteri, F., Piccione, G., & Faggio, C. (2025).** Environmental toxicology of microplastic particles on fish: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 287, 110042. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2024.110042>



- Bhattacharya, P., Turner, J. P., & Ke, P. C. (2010).** Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis. *The Journal of Physical Chemistry*, 114, 16556–16561. <https://doi.org/10.1021/jp1054759>
- Bhuyan, Md. S. (2022).** Effects of Microplastics on Fish and in Human Health. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.827289>
- Boettcher, H., Jukulka, T., & Cohen, J. H. (2023).** Methods for controlled preparation and dosing of microplastic fragments in bioassays. *Scientific reports*, 13, 5195. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32250-y>
- Bollain, C., Bollain, P. C., & Agulló, D. V. (2020).** Presence of microplastics in water and the potential impact on public health. *Revista Española de Salud Pública*, 93: 1135-5727.
- Brennecke D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., & Canning-Clode, J. (2015).** Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, 189 - 195. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003>
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011).** Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45, 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Campbell, S. H., Williamson, P. R., & Hall, D. H. (2017).** Microplastics in the gastrointestinal tracts of fish and the water from an urban prairie creek. *FACETS*, 2, 395-409. <https://doi.org/10.1139/facets-2017-0008>
- Capparelli, M. V., Ramírez, C. A., Rodríguez-Santiago, M. A., Valencia-Castañeda, G., Ávila, E., & Moulatlet, G. M. (2023).** Effect of salinity on microplastic accumulation and osmoregulatory toxicity in the fiddler crab *Minuca rapax*. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115260. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115260>



**Cormier, B., Cachot, J., Blanc, M., Cabar, M., Clérandeau, C., Dubocq, F., Le Bihanic, F., Morin, B., Zapata, S., Bégout, M. L., & Cousin, X. (2022).** Environmental microplastics disrupt swimming activity in acute exposure in *Danio rerio* larvae and reduce growth and reproduction success in chronic exposure in *D. rerio* and *Oryzias melastigma*. *Environmental Pollution*, 308, 119721. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119721>

**Cole, M., Lindeque, K. P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011).** Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

**Courtene-Jones, W., Quinn, B., Murphy, F., Gary, S. F., & Narayanaswamy, B. E. (2017).** Optimisation of enzymatic digestion and validation of specimen preservation methods for the analysis of ingested microplastics. *Analytical Methods*, 9 (9), 1437–1445. <https://doi.org/10.1039/C6AY02343F>

**Cormier, B., Cachot, J., Blanc, M., Cabar, M., Clérandeau, C., Dubocq, F., Le Bihanic, F., Morin, B., Zapata, S., Bégout, M. L., & Cousin, X. (2022).** Environmental microplastics disrupt swimming activity in acute exposure in *Danio rerio* larvae and reduce growth and reproduction success in chronic exposure in *D. rerio* and *Oryzias melastigma*. *Environmental Pollution*, 308, 119721. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119721>

**Crusot, M., Gaerther, J.C., Rodriguez, T., Lo, C., & Gaertner-Mazouni, N. (20213).** Assessment of plastic waste generated by the aquaculture industry: The case study of pearl farming in French Polynesia. *Journal of Cleaner Production*, 245, 138902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138902>

**D'Costa, A. H. (2022).** Microplastics in decapod crustaceans: Accumulation, toxicity and impacts, a review. *Science of The Total Environment*, 832, 154963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154963>

**De Marco, G., Conti, G. O., Giannetto, A., Cappello, T., Galati, M., Iaria, C., Pulvirenti, E., Capparucci, F., Mauceri, A., Ferrante, M., & Maisano, M. (2022).** Embryotoxicity of polystyrene microplastics in zebrafish *Danio rerio*. *Environmental Research*, 208, 112552. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112552>



**De Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T. L., & Futter, M. N. (2018).** Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of The Total Environment*, 645, 1029–1039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>

**Devriese, L. I., van der Meulen, M. D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., Robbens, J., & Vethaak, A. D. (2015).** Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Marine Pollution Bulletin*, 98 ( 1 – 2 ) , 1 7 9 – 1 8 7 . <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.051>

**Fernández Severini, M. D., Buzzi, N. S., Forero López, A. D., Colombo, C. V., Chatelain Sartor, G. L., Rimondino, G. N., & Truchet, D. M. (2020).** Chemical composition and abundance of microplastics in the muscle of commercial shrimp *Pleoticus muelleri* at an impacted coastal environment (Southwestern Atlantic). *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111700. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111700>

**FAO. (2016).** Fisheries and Aquaculture topics. Fish capture technology. Topics Fact Sheets. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 4 January 2 0 1 6 . [ C i t e d 2 N o v e m b e r 2 0 1 6 ] . <http://www.fao.org/fishery/technology/capture/en>

**FAO. (2017).** Microplastics in fisheries and aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Roma, 2017.

**Fendall, L. S., & Sewell, M. A. (2009).** Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1 2 2 5 – 1 2 2 8 . <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025>

**GESAMP. (2015).** In: Kershaw, P.J. (ed.). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment (rep. stud. GESAMP no. 90). Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, p. 96. IMO/FAO/UNESCO\_IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP.

**Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017).** Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made. *Science Advances Research Article*, 3, 5 p. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>



**G o b i e r n o   d e   M é x i c o .   ( 2 0 2 5 ) .**  
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/plastics-product-manufacturing>.

**Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012).** Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46, 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>

**Harrison, J. P., Schratzberger, M., Sapp, M., & Osborn, A. M. (2014).** Rapid bacterial colonization of low-density polyethylene microplastics in coastal sediment microcosms. *BMC Microbiol*, 14: 232. <http://www.biomedcentral.com/1471-2180/14/232>

**Hossain, M. S., Rahman, M. S., Uddin, M. N., Sharifuzzaman, S. M., Chowdhury, S. R., Sarker, S., & Nawaz Chowdhury, M. S. (2020).** Microplastic contamination in Penaeid shrimp from the Northern Bay of Bengal. *Chemosphere*, 238, 124688. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124688>

**Horvatits, T., Tamminga, M., Liu, B., Sebode, M., Carambia, A., Fischer, L., Püschel, K., Huber, S., & Fischer, E. K. (2022).** Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. *EBioMedicine*, 82, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2022.104147>

**Jang, Y. C., Lee, J., Hong, S., Mok, J. Y., Kim, K. S., Lee, Y. J., Choi, H. W., Kang, H., & Lee, S. (2014).** Estimation of the annual flow and stock of marine debris in South Korea for management purposes. *Marine Pollution Bulletin*, 86 (1): 505-511. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.021>

**Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, R. T., Cowen, M., Tentzeris, V., & Sadofsky, L. R. (2022).** Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy. *Science of The Total Environment*, 831, 154907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>

**Keshavarzifard, M., Vazirzadeh, A., & Sharifinia, M. (2021).** Occurrence and characterization of microplastics in white shrimp, *Metapenaeus affinis*, living in a habitat highly affected by anthropogenic pressures, northwest Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112581. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112581>



- Khanjani, M. H., Sharifinia, M., & Mohammadi, A. R. (2023).** The impact of microplastics on bivalve mollusks: A bibliometric and scientific review. *Marine Pollution Bulletin*, 194, 115271. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115271>
- Kumar, R., Manna, C., Padha, S., Verma, A., Sharma, P., Dhar, A., Ghosh, A., & Bhattacharya, P. (2022).** Micro(nano)plastics pollution and human health: How plastics can induce carcinogenesis to humans? *Chemosphere*, 298, 134267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134267>
- Law, K. L., Starr, N., Siegler, T. R., Jambeck, J. R., Mallos, N. J., & Leonard, G. H. (2020).** The United States' contribution of plastic waste to land and ocean. *Science Advances*, 6(44) - eabd0288. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd0288>
- Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Fu, Z., Shi, H., Raley-Susman, K. M., & He, D. (2018).** Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. *Science of The Total Environment*, 619 – 620, 1 – 8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.103>
- Lee, J.-Y., Chia, R. W., Veerasingam, S., Uddin, S., Jeon, W.-H., Moon, H. S., Cha, J., & Lee, J. (2024).** A comprehensive review of urban microplastic pollution sources, environment and human health impacts, and regulatory efforts. *Science of The Total Environment*, 946, 174297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174297>
- Liguori F. Moreno M. C., & Barbaro P. (2021).** Valorisation of plastic waste via metal-catalysed depolymerisation. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*. 17, 589 – 621. <https://doi.org/10.3762/bjoc.17.53>
- Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., & Shi, H. (2016).** Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environmental Pollution*, 214: 177-184. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.012>
- Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L., & Ren, H. (2016).** Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in ebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environmental Science & Technology*, 50(7), 4054–4060. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00183>



- Lusher, A., Hernandez, M. G., O'Brien, J., Berrow, S., O'Connor, I., & Officer, R. (2015).** Microplastic and macroplastic ingestión by a Deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale *Mesoplodon mirus*. *Environmental Pollution*, 199, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.023>
- Manríquez-Guzmán, D. L., Chaparro-Herrera, D. J., & Ramírez-García, P. (2023).** Microplastics are transferred in a trophic web between zooplankton and the amphibian Axolotl (*Ambystoma mexicanum*): Effects on their feeding behavior. *Food Webs*, 37, e00316. <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2023.e00316>
- Mbachu, O., Jenkins, G., Kaparaju, P., & Pratt, C. (2021).** The rise of artificial soil carbon inputs: Reviewing microplastic pollution effects in the soil environment. *Science of The Total Environment*, 780, 146569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146569>
- Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015).** Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63–82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- Moore, C. J. (2008).** Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, longterm threat. *Environmental Research*. 108, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
- Napper, I. E., Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2015).** Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.029>
- Neufeld, L., Stassen, F., Sheppard, R., & Gilman, T. (2016).** The new plastic economy: rethinking the future of plastic. *World Economic Forum*, ref080116, Geneva, Switzerland, p. 36.
- Pedà, C., Caccamo, L., Fossi, M. C., Gai, F., Andaloro, F., Genovese, L., Perdichizzi, A., Romeo, T., & Maricchiolo, G. (2016).** Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: Preliminary results. *Environmental Pollution*, 212, 251–256. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.083>



- PlasticsEurope. (2023).** “Plastics – the fast Facts 2023”. (2023, octubre 19). <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>.
- Ragusa, A., Notarstefano, V., Svelato, A., Belloni, A., Gioacchini, G., Blondeel, C., Zucchelli, E., De Luca, C., D'Avino, S., Gulotta, A., Carnevali, O., & Giorgini, E. (2022).** Raman Microspectroscopy Detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. *Polymers*, 14 (13), 2700. <https://doi.org/10.3390/polym14132700>
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021).** Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>
- Ramírez-Olivares, A. I., Vargas-Abúndez, J. A., & Capparelli, M. V. (2024).** Microplastics impair the reproductive behavior and life history traits of the amphipod *Parhyale hawaiiensis*. *Marine Pollution Bulletin*, 205, 116630. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116630>
- Rist, S. E., Assidqi, K., Zamani, N. P., Appel, D., Perschke, M., Huhn, M., & Lenz, M. (2016).** Suspended micro-sized PVC particles impair the performance and decrease survival in the Asian green mussel *Perna viridis*. *Marine Pollution Bulletin*, 111 (1 – 2), 213 – 220. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.006>
- Rhodes, C. J. (2018).** Plastic Pollution and Potential Solutions. *Science Progress*, 101, 207 – 260. <https://doi.org/10.3184/003685018x15294876706211>
- Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019).** Detection of various microplastics in human stool. *Annals of Internal Medicine*, 171(7), 453–457. <https://doi.org/10.7326/M19-0618>
- Seta, A. S., Müller, L., Tavella, R., da Silva Júnior, F. M. R., Pedrosa, V., Romano, L. A., Wasielesky, W., Josende, M. E., & Ventura-Lima, J. (2023).** Oxidative effects of consuming microplastics in different tissues of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115137. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115137>



- Shaw, D. G., & Day, R. H. (1994).** Colour- and form-dependent loss of plastic microdebris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 28, 39–43, 302. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90184-8)
- Sidek, I. S., Draman, S. F. S., Abdullah, S. R. S., & Anuar, N. (2019).** [Current development on bioplastics and its future prospects: an introductory review](#). *INWASCON Technology Magazine*, 1, 03–08. <http://itechmag.org/paper/volume%201/03-08.pdf>
- Statista. (2025).** Producción de plástico a nivel mundial de 2002 a 2022. <https://es.statista.com/estadisticas/636183/produccion-mundial-de-plastico/>
- PlasticEurope. (2024).** <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2024/>
- Tekman, M. B., Wekerle, C., Lorenz, C., Primpke, S., Hasemann, C., Gerdt, G., & Bergmann, M. (2020).** Tying up loose ends of microplastic pollution in the Arctic: distribution from the sea surface through the water column to deep-sea sediments at the HAUSGARTEN Observatory. *Environmental Science & Technology*, 54 (7), 4079–4090. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06981>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom, F. S., & Swan, S. H. (2009).** Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 56-70. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Tosin, M., Weber, M., Siotto, M., Lott, C., & Degli, I. F. (2012).** Laboratory test methods to determine the degradation of plastics in marine environmental conditions. *Frontiers in Microbiology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00225>
- Valdemarsen, J. W. (2001).** Technological trends in capture fisheries. *Ocean & Coastal Management*, 44, 635–651. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(01\)00073-4](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(01)00073-4)
- Valencia-Castañeda, G., Ruiz-Fernández, A. C., Frías-Espéricueta, M. G., Rivera-Hernández, J. R., Green-Ruiz, C. R., & Páez-Osuna, F. (2022).** Microplastics in the tissues of commercial semi-intensive shrimp pond-farmed *Litopenaeus vannamei* from the Gulf of California ecoregion. *Chemosphere*, 297, 134194. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134194>



- Varó, I., Osorio, K., Estensoro, I., Naya-Català, F., Sitjà-Bobadilla, A., Navarro, J. C., Pérez-Sánchez, J., Torreblanca, A., & Piazzon, M. C. (2021).** Effect of virgin low density polyethylene microplastic ingestion on intestinal histopathology and microbiota of gilthead sea bream. *Aquaculture*, 545, 737245. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737245>
- Vermeiren P., Muñoz C., & Ikejima K. (2020).** Microplastic identification and quantification from organic rich sediments: A validated laboratory protocol. *Environmental Pollution*, 262:114298. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114298>
- Villegas, L., Cabrera, M., Moulatlet, G. M., & Capparelli, M. (2022).** The synergistic effect of microplastic and malathion exposure on fiddler crab *Minuca ecuadoriensis* microplastic bioaccumulation and survival. *Marine Pollution Bulletin*, 175, 113336. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113336>
- von Friesen, L. W., Granberg, M. E., Hassellöv, M., Gabrielsen, G. W., & Magnusson, K. (2019).** An efficient and gentle enzymatic digestion protocol for the extraction of microplastics from bivalve tissue. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.016>
- von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. (2012).** Uptake and Effects of Microplastics on Cells and Tissue of the Blue Mussel *Mytilus edulis* L. after an Experimental Exposure. *Environmental Science & Technology*, 46(20), 11327–11335. <https://doi.org/10.1021/es302332w>
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., & Li, M. (2016).** The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>
- Wang, W., Ge, J., & Yu, X. (2020).** Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189, 109913. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109913>
- Wang, Z., Fan, L., Wang, J., Zhou, J., Ye, Q., Zhang, L., Xu, G., & Zou, J. (2021).** Impacts of microplastics on three different juvenile shrimps: Investigating the organism response distinction. *Environmental Research*, 198, 110466. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110466>



**Watts, A. J. R., Urbina, M. A., Corr, S., Lewis, C., & Galloway, T. S. (2015).** Ingestion of plastic microfibers by the crab *Carcinus maenas* and its effect on food consumption and energy balance. *Environmental Science & Technology*, 49(24), 14597–14604. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04026>

**Yan, W., Hamid, N., Deng, S., Jia, P. P., & Pei, D. S. (2020).** Individual and combined toxicogenetic effects of microplastics and heavy metals (Cd, Pb, and Zn) perturb gut microbiota homeostasis and gonadal development in marine medaka (*Oryzias melastigma*). *Journal of Hazardous Materials*, 397, 122795. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122795>

**Yang, Y., Xie, E., Du, Z., Peng, Z., Han, Z., Li, L., Zhao, R., Qin, Y., Xue, M., Li, F., Hua, K., & Yang, X. (2023).** Detection of various microplastics in patients undergoing cardiac surgery. *Environmental Science & Technology*, 57(30), 10911–10918. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07179>

**Yarahmadi, A., Heidari, S., Sepahvand, P., Afkhami, H., & Kheradjo, H. (2024).** Microplastics and environmental effects: investigating the effects of microplastics on aquatic habitats and their impact on human health. *Frontiers in Public Health*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1411389>

**Yin, L., Chen, B., Xia, B., Shi, X., & Qu, K. (2018).** Polystyrene microplastics alter the behavior, energy reserve and nutritional composition of marine jacobever (*Sebastes schlegelii*). *Journal of Hazardous Materials*, 360, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.110>

**Zhao, B., Rehati, P., Yang, Z., Cai, Z., Guo, C., & Li, Y. (2024).** The potential toxicity of microplastics on human health. *Science of The Total Environment*, 912, 168946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168946>

**Zhou, N., Wang, Z., Yang, L., Zhou, W., Qin, Z., & Zhang, H. (2023).** Size-dependent toxicological effects of polystyrene microplastics in the shrimp *Litopenaeus vannamei* using a histomorphology, microbiome, and metabolic approach. *Environmental Pollution*, 316, 120635. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120635>