

## Contaminación por microplásticos en ecosistemas acuáticos

Sara Castro-García<sup>1</sup>, Andrea María Barrera-Leiva<sup>2</sup>, Alma Margarita González-Evaristo<sup>1</sup>, Ana Lucía Pinot-Gómez<sup>2</sup>, Joset Rubí Vargas-Chan<sup>3</sup>, Itzel Sierra-Lemus<sup>1</sup>, Juan Pablo Huchin-Mian<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología, Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, C.P. 36050, Guanajuato, Gto., México.

<sup>2</sup>Universidad de San Carlos, 11 Avenida, C.P. 01012, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

<sup>3</sup>Universidad Politécnica Mesoamericana, Carretera a Tenosique-El Ceibo, C.P. 86928, Tenosique Tabasco, México.

\*[jp.huchin@ugto.mx](mailto:jp.huchin@ugto.mx)

### Resumen

Los microplásticos (MPs) son fragmentos plásticos de un tamaño menor a 5 mm que actualmente se pueden encontrar en todos los ecosistemas del planeta, entre ellos los ecosistemas acuáticos. El número de estudios sobre MPs ha ido incrementando desde la década de 2010; a la fecha los científicos consideran a los MPs como una contaminación con potencial de afectar la biología y ecología de la fauna silvestre en los ecosistemas acuáticos, inclusive al ser humano. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es ofrecer un panorama general sobre este tema que ayude a comprender el origen, abundancia, distribución, composición, y hasta los efectos que ejercen los MPs sobre el componente biótico y abiótico en los ecosistemas acuáticos. Nos enfrentamos a una contaminación difícil de combatir, pues el plástico es ampliamente usado en la industria y en nuestras actividades cotidianas. El uso irracional y desregulado de los plásticos y MPs representa una amenaza real para la biodiversidad y puede poner en riesgo la conservación de los ecosistemas.

**Palabras clave:** Abundancia; Guanajuato; agua; plantas de tratamiento; biodegradación.

### Introducción

Los plásticos están en todos lados, en cualquier lado que miremos los encontraremos. Estos productos se utilizan ampliamente en las industrias y en nuestra vida cotidiana debido a su bajo costo de producción, peso ligero, versatilidad y durabilidad. El plástico consiste en polímeros como el polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno y poliestireno (PS) (Du et al., 2021). La producción de plástico tuvo un crecimiento acelerado desde la década de 1950; en tan solo 60 años la producción de plástico pasó de 1,5 a 335 millones de toneladas (Amelia et al., 2021). Debido a un mal manejo de la basura, la mayoría de los plásticos terminan en los ecosistemas acuáticos de todo el mundo (Du et al., 2021) en donde causan una enorme contaminación ambiental (Smith et al., 2018); sin embargo, en los últimos años ha llamado mucho la atención de los científicos los plásticos muy pequeños, llamados microplásticos.

Los microplásticos son fragmentos de plástico de un tamaño entre 0.1  $\mu\text{m}$  y 5 mm de tamaño, en ocasiones a penas se pueden observar a simple vista. Según su origen, los microplásticos (MPs) se clasifican en primarios y secundarios (figura 1). Los MPs primarios son aquellos producidos de un tamaño menor a 5 mm para ser usado como productos cosméticos o en productos para el cuidado personal como la pasta de dientes (Yang et al., 2020), vectores de fármacos y en aplicaciones industriales o de ingeniería (Amelia et al., 2021). Por otro lado, los MPs secundarios derivan de la fragmentación de piezas grandes de plástico mediante procesos químicos (fotólisis, hidrólisis, y termólisis), mecánicos (abrasión y oleaje) o biológicos (bacterias y hongos) (Amelia et al., 2021; Smith et al., 2018). Con el tiempo, los MPs primarios y secundarios contaminan



**Figura 1.** Tipos de microplástico según su origen. A) Primarios, B) Secundarios.

la tierra, el aire y el agua; además, tienen el potencial de afectar negativamente a los animales y a nosotros los seres humanos.

Las principales formas en que se encuentran los MPs en los ecosistemas acuáticos son: fibras, fragmentos, películas, gránulos, perlas y espuma de poliestireno (figura 2). Los MPs tipo fibra de PE o PP son los más comunes de encontrar (figura 2A) y los colores dominantes son el azul y el negro. Las fibras las podemos encontrar enredadas o desenredadas, así como rectas o curvas (Amelia et al., 2021).

Los estudios más recientes han evidenciado que el microplástico es actualmente un material ubicuo en ambientes dulceacuícolas y marinos (Amelia et al., 2021; Du et al., 2021). Las principales fuentes de MPs en estos ecosistemas incluyen: plantas de tratamiento de aguas residuales, vertederos, riego, campos agrícolas, efluentes industriales, y las aguas residuales domésticas (Amelia et al., 2021). Otras fuentes de MPs son la deposición atmosférica, fertilizantes, césped artificial, por carretera, transporte aéreo, los textiles, las actividades costeras, el turismo, la pesca comercial, embarcaciones marinas, y la acuicultura (Ugwu et al., 2021).

Debido al impacto que tienen los MPs sobre todos los ecosistemas, resulta importante comprender su fuente, distribución, transporte, clasificación, hasta las posibles soluciones encaminadas a su disminución y posible erradicación. Por lo tanto, en este artículo se revisa y discute las principales características de la contaminación por MPs en ecosistemas dulceacuícolas y marinos que permita comprender la amenaza que representa esta contaminación para dichos ecosistemas.

## Transporte y acumulación de los microplásticos

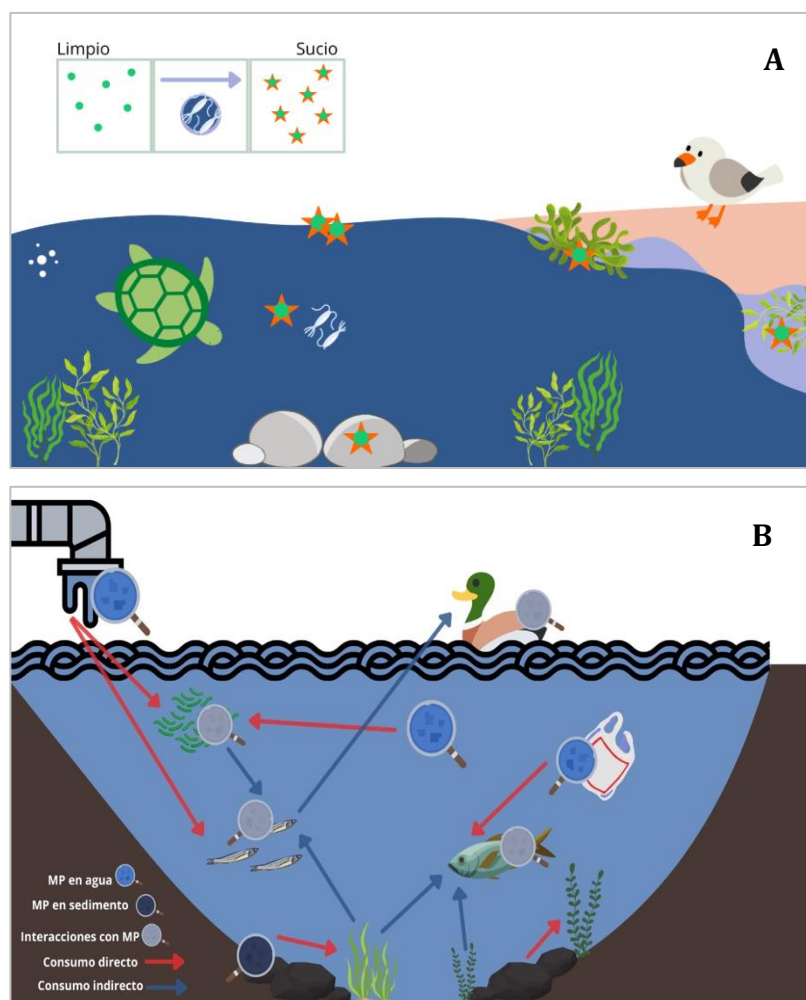
Los complejos procesos de transporte y distribución del microplástico incluyen principalmente la dinámica del océano; es decir, la deriva de la superficie, la mezcla vertical, sedimentación, y el arrastre, así como las características físicas del microplástico como el tamaño, forma y densidad (figura 3A). Diversas investigaciones han evidenciado que tan solo la dinámica de los océanos ha causado grandes áreas de convergencia de MPs en el agua superficial de forma natural hasta acumular 580,000 piezas por kilómetro cuadrado. Por otro lado, tenemos que los agregados orgánicos o microorganismos, como las diatomeas, pueden acumularse rápidamente en la superficie de los desechos plásticos formando una biopelícula, que luego aumenta de densidad, provocando el hundimiento del microplástico flotante o suspendido que en un inicio era de baja densidad (Amelia et al., 2021). Así pues, el ejemplo anterior nos muestra como las características físicas de los MPs influyen en su distribución, en este caso, debido a un cambio en su densidad, derivado del hecho de que ciertos microorganismos son capaces de adherirse a su superficie.

Es importante mencionar que, algunos investigadores afirman que los plásticos pueden durar potencialmente de cientos a miles de años en el océano debido a sus propiedades químicas únicas. Por consiguiente, debido a las propiedades de los MPs, como la flotabilidad y la durabilidad extrema, los polímeros sintéticos están ampliamente distribuidos en ríos, lagos y océanos de todo el mundo (Du et al., 2021). En el océano, se ha detectado la acumulación de MPs en el Atlántico, Pacífico, el Mar Caribe, Mar Mediterráneo, e incluso en regiones abisales y polares (Du et al., 2021).



**Figura 2.** Tipos de microplásticos comúnmente encontrados en los ecosistemas acuáticos A) fibras, B) microperlas, C) filamento, D) lámina de pintura, E) fragmento transparente, F) película transparente. Tomado de Carretero et al., 2021.

Además de los entornos marinos, también se han encontrado MPs en agua dulce, y la contaminación es tan severa como en el océano y tiene mecanismos similares de entrada, dispersión y bioacumulación (figura 3B). Algunas investigaciones han informado de la ocurrencia mundial de MPs en el río Rin, uno de los ríos europeos más grandes, ríos urbanos (por ejemplo, sur de California) y ríos estuarinos (por ejemplo, La Bahía de Chesapeake) (Du et al., 2021). Así mismo, en sedimentos de agua dulce y ambientes terrestres, se ha encontrado una amplia distribución y alta concentración de contaminación por MPs en todo el mundo (Du et al., 2021). En consecuencia, se puede observar como los microplásticos se liberan de diferentes fuentes, interactuando entonces con múltiples sistemas ambientales, como agua marina, agua dulce, agua subterránea, aire, sedimentos y suelos, por lo tanto, debido a su gran producción y rápida expansión, existe una necesidad crucial de una revisión crítica de la distribución, transporte y acumulación de los MPs en el medio ambiente.



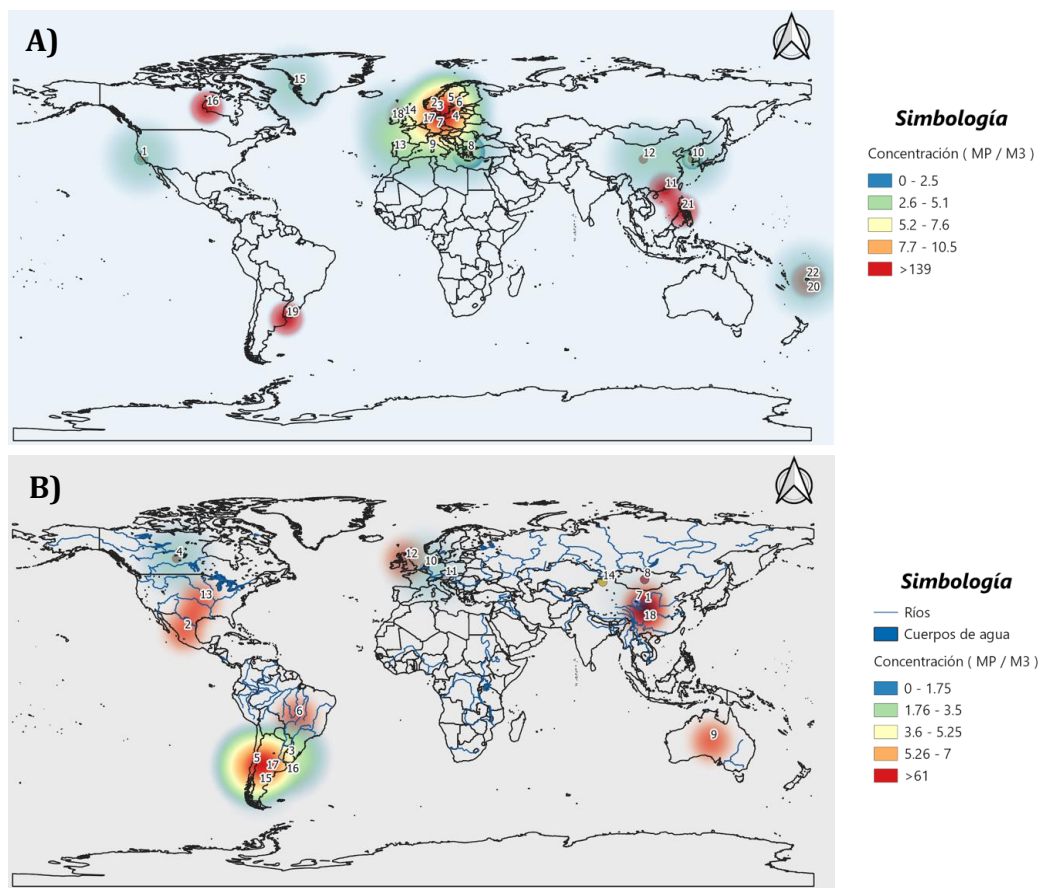
**Figura 3.** Modelos conceptuales del movimiento y dispersión de los microplásticos en la red trófica de un A) ecosistema marino y B) ecosistema dulceacuático. Modificado de Carbery, et al., 2018, y Kukkola et al., 2021.

Una vez que los microplásticos se encuentran en océanos, ríos o cualquier otro ecosistema acuático, estos pueden ser ingeridos por la fauna acuática más pequeña, como el zooplancton, peces pequeños o los organismos más grandes, como los lobos marinos o ballenas (Carbery et al., 2018). Los peces son uno de los grupos de vertebrados más afectados por la presencia de microplásticos (Kutralam-Muniasamy et al., 2020), ellos pueden ingerir los microplásticos al confundirlos con alimento flotante en la columna de agua, y también pueden obtenerlos por bioacumulación al ingerir a presas que contienen microplásticos. La ingesta directa o indirecta de microplásticos por la fauna acuática de niveles tróficos inferiores, como zooplancton o peces, representan una vía de entrada y acumulación de MPs en la

cadena alimenticia (figura 3). Los impactos negativos de esta ingesta y bioacumulación no están del todo dilucidados y es necesario realizar más estudios enfocados al efecto que generan los MPs a nivel celular y molecular.

### ¿Cuánto microplástico se encuentra en los ecosistemas acuáticos?

La producción mundial de plástico ha aumentado rápidamente desde que comenzó la producción en masa en la década de 1950 y actualmente supera los 288 millones de toneladas por año. Aproximadamente el 10% de ese plástico termina en el océano. Debido a la continua entrada de basura plástica a los océanos, es difícil conocer la cantidad de MPs que se encuentran actualmente en estos ecosistemas; sin embargo, un estudio realizado recientemente, indica que existen más de 5 trillones de partículas de plástico en la superficie del mar, lo que es un equivalente a 268,940 toneladas de este material flotando en el océano (Ugwu et al., 2021).



**Figura 4.** Abundancia de microplásticos en agua de ecosistemas A) marinos; B) dulceacuícolas. Las regiones con mayor concentración de microplásticos se muestran en rojo intenso. Mapa creado en QGIS 3.20.0 RC.

En este trabajo se revisaron 22 artículos científicos realizados en ecosistemas marinos y mediante un mapa de calor global se representa las zonas con mayor abundancia de MPs por  $m^3$ . Los puntos de muestreo se encuentran ubicados en 4 continentes: América, Europa, Asia y Oceanía. Se encontró que el punto de muestreo marino con mayor contaminación por microplásticos corresponde a Hong Kong con una concentración de 27,909 MPs/ $m^3$  mientras que el punto con menor contaminación corresponde a la costa sur de Fiji con una concentración de 0.002 MPs/ $m^3$  (figura 4A). Por otro lado, la contaminación por MPs en ecosistemas dulceacuícolas no es menos grave que en el mar; se encontró que la mayor abundancia de MPs en estos ecosistemas se localiza en Argentina con 33,373 MPs/ $m^3$  (figura 4B).

## ¿Son peligrosos los microplásticos?

Los microplásticos están en todos los ecosistemas y se acumulan a una velocidad creciente en ambientes acuáticos, como lagos y ríos, que actúan como recolectores de plásticos del entorno (Koelmans et al. 2019; Zhang et al. 2019). La toxicidad de los MPs preocupa mucho a la comunidad científica, debido a la abundancia y ubiquidad de la contaminación. Los microplásticos contienen aditivos para mejorar o modificar las propiedades y la procesabilidad de los polímeros, incluyendo plastificantes, retardantes de llama, antioxidantes, estabilizadores térmicos, estabilizadores ultravioletas, estabilizadores térmicos, biocidas, colorantes, rellenos, agentes de soplado, lubricantes y auxiliares de procesamiento (Andrady, 2017); es decir, una mezcla de productos químicos añadidos durante la fabricación, que pueden liberarse al ambiente. Se ha observado que diferentes especies animales ingieren desechos microplásticos en condiciones naturales. Los expertos opinan que estos aditivos pueden causar toxicidad y bio-acumularse en los tejidos. Estos tóxicos pueden llegar al ser humano y potencialmente causar daño. En estudios con modelos de animales mamíferos se encontró que los MPs pueden afectar células vivas, como las células dendríticas, el sistema linfático y circulatorio, aunque se necesitan más estudios para establecer una relación directa entre la presencia de los MPs y la toxicidad o enfermedades en el ser humano (Eerkes-Medrano et al., 2015).

Los microplásticos también absorben y/o adsorben eficazmente sustancias persistentes, bioacumulables y tóxicas (PBT) presentes en el medio marino. Además, los microplásticos son un sustrato sobre el que viven organismos marinos como invertebrados, microalgas, bacterias, hongos o virus, algunos de los cuales representan patógenos potenciales. Por lo tanto, se cree que los MPs pueden ser considerados como vectores de enfermedades. Inclusive, se ha encontrado que los MPs pueden adsorber y acumular antibióticos de los ecosistemas acuáticos (Li et al., 2018a).

Con respecto a la exposición a microplásticos a través del consumo de productos pesqueros y acuícolas, pequeñas especies de peces, crustáceos o moluscos que se consumen enteros, sin eliminar los intestinos, representan la principal fuente de preocupación en la salud de los seres humanos (Hale et al. 2020). Por otro lado, en una exposición crónica a MPs en ostiones del pacífico *Crassostrea gigas*, se observó que los microplásticos afectan negativamente la fecundidad, la supervivencia larvaria y el desarrollo adecuado de los organismos estudiados (Bringer et al., 2020). Sin embargo, se sabe poco sobre la capacidad de los microplásticos para alterar los procesos ecológicos a mayor escala y los mecanismos para su transferencia trófica en condiciones naturales.

## Algunas estrategias para eliminar microplásticos: PTAR y biodegradación

### Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Los microplásticos son contaminantes emergentes en los ecosistemas naturales. Las fuentes son muchas y entre las principales se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (Li et al., 2018b). Aunque las PTAR pueden eliminar hasta un 95% de microplásticos (Talvitie et al., 2017) existe una cantidad sustancial de microplásticos que se descargan en los cuerpos de aguas naturales como ríos, lagos y lagunas (Li et al., 2018b); esto se debe a que durante el tratamiento de las aguas residuales los microplásticos se someten a procesos incompletos de retención, lo que conduce a la descarga en grandes cantidades (Sol et al., 2020).

Los microplásticos provenientes de PTAR constituyen actualmente un problema. Aunque las PTAR suelen tener porcentajes de eficiencia que pueden ser considerados altos, la cantidad de aguas residuales que se trata día a día en las PTAR es bastante alta, por lo que la cantidad de microplásticos proveniente de esta fuente es significativa. Por ejemplo, se ha reportado que en una PTAR escocesa que atiende a una población de 650,000 habitantes, a pesar de tener una eficiencia de eliminación superior al 98%, se liberaron al medio ambiente alrededor de 65 millones de microplásticos cada día (Murphy et al., 2016).

Se conocen diversos tratamientos para la remoción de MPs desde una PTAR, entre ellos encontramos: procesos de oxidación con  $H_2O_2$  para digerir la materia orgánica; el método de flotación por espuma en donde burbujas de aire hidrofóbicas interactúan con los microplásticos dentro de un reactor y permite que floten, su eficiencia de remoción es del 55% (Imhof et al., 2012); otros métodos más especializados incluye la extracción magnética mediante nano partículas de hierro hidrofóbico capaces de unirse a los MPs y la recuperación se realiza con métodos de

magnetización. Este último método es prometedor puesto que permite extraer en agua marina hasta el 92% de partículas de polietileno y poliestireno de entre 10 y 20  $\mu\text{m}$  (Sol et al., 2020).

En los últimos años diferentes procesos para la remoción de microplásticos han sido estudiados y evaluados. Algunos de los mismos han sido probados en plantas de tratamientos reales, mientras que la gran mayoría se ha evaluado a escala de laboratorio; por lo tanto, es urgente realizar más estudios sobre el mejoramiento de la capacidad de retención de las PTAR a nivel municipal, así como el uso de otros métodos de remoción como la biodegradación utilizando microorganismos.

## Biodegradación de microplásticos mediada por microorganismos

La contaminación por MPs es una preocupación ambiental significativa debido a su persistencia y a sus posibles efectos adversos sobre la biota. La mayoría de los estudios científicos han examinado la distribución, ingestión, destino, comportamiento, cantidad y efecto de los MPs. Sin embargo, pocos estudios han descrito el desarrollo de métodos para su remoción y remediación. Aunque los MPs pueden persistir en el medio ambiente y resistir la degradación, algunos microorganismos pueden degradarlos. Sin embargo, en la actualidad, se han aislado pocos microorganismos funcionales para biodegradar MPs (Yuan et al., 2020).

Las bacterias son un grupo importante de microorganismos y son los más abundantes de todos los organismos; las bacterias viven principalmente en el suelo, el agua y la atmósfera, y muchas especies son bien conocidas por su capacidad para degradar contaminantes. En la actualidad, numerosos estudios han investigado el uso de bacterias para la degradación de MPs (Oliveira et al., 2020; Yuan et al., 2020). En los últimos años, se ha identificado un número creciente de cepas bacterianas capaces de degradar MPs, así como sus propiedades de degradación y efectos sobre dichas partículas plásticas (Tabla 1). Los principales taxones con capacidad de biodegradar MPs, incluyen a los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Chelatococcus* y *Lysinibacillus*. Cabe destacar que, cuando las bacterias degradan los MPs, la tasa de pérdida de peso es baja, típicamente del 0 al 15%, lo que sugiere que los MPs son poco biodegradables. Además, una característica importante de la degradación de los MPs mediada por bacterias es que el proceso es relativamente largo, por lo general de 0 a 3 meses. En resumen, es fundamental optimizar las condiciones y mejorar las cepas en estudios futuros para acortar el proceso de degradación y aumentar la tasa de degradación de los MPs mediada por bacterias (Yuan et al., 2020).

**Tabla 1.** Ejemplos de cepas bacterianas capaces de degradar MPs en condiciones de laboratorio y en el medio ambiente. Modificado de Yuan et al., 2020.

Género/especie	Cepa	Fuente	Tipo de MPs	Duración de degradación (días)	Pérdida de peso gravimétrico (%)	Tipo de enzima (s)
<i>Bacillus</i>	27	Sedimento de manglar	PP	40	4.0	-
Rhodococcus	36	Sedimento de manglar	PP	40	6.4	-
<i>Bacillus gottheilii</i>	-	Ecosistemas de manglares	PE/PE/PP/PS	40	6.2/3.0/3.6/5.8	-
<i>Enterobacter asburiae</i>	YT1	Gusanos de cera comedores de plástico	PE	28	6.1 $\pm$ 0.3	-
<i>Bacillus</i>	YP1	Gusanos de cera comedores de plástico	PE	28	10.7 $\pm$ 0.2	-
<i>Bacillus subtilis</i>	MZA-75	Muestras de tierra	PUR	28	-	Esterasa

<i>Chelatococcus</i>	E1	Compost	PE	80	-	-
<i>Comamonas acidovorans</i>	TB-35	-	PURs	8	100	Esterasas
<i>Pseudomonas</i>	MYK1	Lodo digerido	PLA	40	-	-
<i>Bacillus</i>	MYK2	Lodo digerido	PLA	40	-	-
<i>Paenibacillus amylolyticus</i>	TB-13	Muestras de tierra	PLA	14	-	Proteasa/Esterasa
<i>Ideonella sakaiensis</i>	201-F6	Muestras contaminadas	PE/PET	60	-	Glucósido hidrolasas

PP = Polipropileno/-PE = Polietileno/-PET = Tereftalato de polietileno/-PS = Poliestireno/-PUR = Poliuretano /-PLA = Ácido poliláctico.

Nota: “-” significa desconocido (Yuan et al., 2020).

Además de las bacterias, los hongos también tienen el potencial de adherirse y utilizar MPs (Oliveira et al., 2020). Los hongos pueden promover la formación de diferentes enlaces químicos en los MPs, como los grupos funcionales carbonilo, carboxilo y éster, disminuyendo su hidrofobicidad. Así mismo, recientemente, se ha demostrado que los hongos pueden utilizar a los MPs como fuente de carbono (Yuan et al., 2020). En las últimas décadas, se ha aislado un número creciente de hongos que pueden degradar MPs en condiciones de laboratorio (**Tabla 2**). En la actualidad, la investigación sobre la degradación de MPs por hongos en diferentes ambientes es todavía un área de investigación activa en la que se han logrado algunos avances.

El proceso de degradación microbiana de MPs implica múltiples reacciones bioquímicas y existen algunas diferencias en dicha degradación, dependiendo del MP en cuestión. La degradación del MP mediada por microbios se rige por diferentes factores, incluida la estructura química y el peso molecular de los MPs, así como el tipo de microorganismo presente y otras condiciones ambientales (Oliveira et al., 2020). Los MPs son despolimerizados por enzimas microbianas en un proceso que típicamente implica hidrólisis, que es la reacción más importante para la degradación de MP. Durante el proceso de hidrólisis, la enzima se une a los MPs y posteriormente cataliza la escisión hidrolítica. Los MPs pueden degradarse por la acción de las depolimerasas intracelulares o extracelulares en diferentes microorganismos. La degradación intracelular implica la hidrólisis de un depósito de carbono endógeno por los propios microbios que se acumulan. En contraste, la degradación extracelular implica la utilización de una fuente de carbono exógena que no es necesariamente realizada por los microorganismos acumuladores, ya que las enzimas extracelulares de los microorganismos descomponen los MPs en cadenas cortas o moléculas más pequeñas (p. Ej., Oligómeros, dímeros y monómeros) que son lo suficientemente pequeñas para atravesar membranas semipermeables. Este proceso se conoce como despolimerización. Estas moléculas de cadena corta luego se mineralizan en productos finales (p. Ej., CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O o CH<sub>4</sub>), y estos productos pueden luego utilizarse como fuentes de carbono y energía (Yuan et al., 2020).

**Tabla 2.** Ejemplos de cepas de hongos capaces de degradar MPs en condiciones de laboratorio y en el medio ambiente. Modificado de Yuan et al., 2020.

Taxones microbianos	Tipo de MPs	Ambiente	Duración de degradación	Efectos sobre los MPs
<i>Aspergillus tubingensis</i>	HDPE	Zona costera marina	30 días	Degrada HDPE
<i>Aspergillus flavus</i>	HDPE	Zona costera marina	30 días	Degrada HDPE
<i>Penicillium simplicissimum</i>	PE irradiada por 500 h con luz UV	Suelo y hojas	3 meses	Disminuye el peso molecular del PE
<i>Penicillium pinophilum</i>	Polvo de LDPE	Comprado en un centro de cepas	31 meses	Cambios morfológicos y estructurales del LDPE

Pestalotiopsis microspora	PUR	Plantas leñosas	2 semanas	Los aislados crecen en PUR en condiciones aeróbicas y anaeróbicas.
<i>Zalerion maritimum</i>	PE pellets	Marino	28 días	Disminución de la masa y el tamaño de los pellets de PE.

HDPE = Polietileno de alta densidad/-PE = Polietileno/-LDPE = Polietileno de baja densidad/-PUR = Poliuretano.

## Estudio de microplásticos en Guanajuato, México

Los estudios sobre MPs en México son muy escasos, por ejemplo, en el estado de Guanajuato no se conoce de alguno; por lo tanto, el laboratorio de Ecología de la Universidad de Guanajuato ha enfocado su esfuerzo en analizar la presencia de microplásticos en el componente biótico de ecosistemas acuáticos en dos Áreas Naturales Protegidas (ANP): Laguna de Yuriria y Presa La Purísima. En la Laguna de Yuriria se analizó la presencia de MPs en el tracto digestivo de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y la carpa común (*Cyprinus carpio*). El aislamiento de los MPs se realizó a través de una digestión oxidativa (peróxido de hidrógeno, 30%). En total se analizaron 154 peces (100 tilapias y 54 carpas), y los análisis revelaron que el 93.6% de los peces (n= 144) presentaban fragmentos tipo microplástico en los tractos digestivos (datos no publicados). En México, solamente existe un artículo publicado sobre MPs en tilapias y ninguno sobre la carpa. Este trabajo representa el primer reporte de contaminación por fragmentos tipo microplástico en peces en Guanajuato y en la Laguna de Yuriria. Por otro lado, en la Presa La Purísima se analizó la presencia de MPs en las heces de 8 pelícanos y 39 cormoranes. Se tuvo una media de 9.5 MPs en los pelícanos y 5.9 MPs en cormoranes (Datos no publicados). Hasta el momento, y según esta revisión, no existe ningún estudio publicado que haya examinado la presencia de MPs en aves silvestres en nuestro país. Nuestros primeros resultados confirman lo que han indicado los expertos, el microplástico es una contaminación ubicua y es urgente realizar más estudios para conocer su potencial impacto negativo en los ecosistemas acuáticos.

## Conclusiones

La contaminación por microplásticos es una contaminación invisible y emergente, y sin lugar a duda es motivo de preocupación. La contaminación por microplásticos en los ecosistemas acuáticos es preocupante, pues hemos tomado a nuestros mares y lagos como un basurero, esperando simplemente que nuestros desechos desaparezcan. Hoy más que nunca es necesario realizar investigación para disminuir la presencia de los MPs, y entre las propuestas prometedoras se encuentran la retención de microplásticas por las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y la biodegradación de microplásticos mediada por microorganismos, como bacterias y hongos: ambas con perspectivas muy interesante que requieren más investigación. Aún queda mucho por descubrir respecto a los microplásticos y su impacto en nuestro entorno; mientras tanto empecemos el cambio desde nosotros, nuestros hábitos y estilo de vida, los cuales deben cambiar si queremos tener nuestro entorno con menos microplásticos.

## Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato por la beca otorgada en este XXVI Verano de la Ciencia a las estudiantes SCG, ISL, y AMGE. Agradecemos el financiamiento del Instituto de Innovación, Ciencia y Emprendimiento para la Competitividad en Guanajuato (IDEA GTO) a través del proyecto "Contaminación por microplásticos en peces de importancia comercial del estado de Guanajuato" clave AI-20-05 a cargo del Dr. Juan Pablo Huchin Mian. También un agradecimiento especial a la Convocatoria Institucional de Investigación Científica (CIIC-2021) de la Universidad de Guanajuato por el financiamiento del proyecto "Contaminación por microplásticos en aves acuáticas del Área Natural Protegida Presa La Purísima, Guanajuato" (proyecto 231/2021).

## Referencias

- Amelia, T.S.M., Khalik, W.M.A.W.M., Ong, M.C., Shao, Y.T., Pan, H.-J., Bhubalan, K., 2021. Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Prog Earth Planet Sci* 8, 12.
- Andrady, A.L., 2017. The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin* 119, 12-22.
- Bringer, A., Cachot, J., Prunier, G., Dubillot, E., Clérandeau, C., Hélène Thomas, 2020. Experimental ingestion of fluorescent microplastics by pacific oysters, *Crassostrea gigas*, and their effects on the behaviour and development at early stages. *Chemosphere* 254, 126793.



- Carbery, M., O'Connor, W., Palanisami, T., 2018. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment International* 115, 400–409.
- Carretero, O., Gago, J., & Viñas, L. (2021). From the coast to the shelf: Microplastics in Rías Baixas and Miño River shelf sediments (NW Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111814.
- Du, J., Zhou, Q., Li, H., Xu, S., Wang, C., Fu, L., & Tang, J. (2021). Environmental distribution, transport and ecotoxicity of microplastics: A review. *Journal of Applied Toxicology*, 41(1), 52–64.
- Eerkes-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.
- Hale RC, Seeley ME, La Guardia MJ, Mai L, Zeng EY. 2020. *Geophys Res Oceans*. A global perspective on microplastics.
- Imhof, H.J., Schmid, J., Niessner, R., Ivleva, N.P., 2012. A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnology and Oceanography: Methods - Wiley Online Library*.
- Koelmans AA, Nor NHM, Hermsen E, KooiM, Mintenig SM, De France J. 2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality.
- Kukkola, A., Krause, S., Lynch, I., Sambrook Smith, G.H., Nel, H., 2021. Nano and microplastic interactions with freshwater biota – Current knowledge, challenges and future solutions. *Environment International* 152, 106504.
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., Shrutí, V.C., 2020. Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. *Environmental Pollution* 267, 115463.
- Li J, Zhang K, Zhang H. (2018a). Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environ Pollut*. 237:460–7.
- Li, J., Liu, H., & Chen, J. P. (2018b). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water research*, 137, 362–374.
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B., 2016. Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environ Sci Technol* 50, 5800–5808.
- Oliveira, J., Belchior, A., da Silva, V.D., Rotter, A., Petrovski, Ž., Almeida, P.L., Lourenço, N.D., Gaudêncio, S.P., 2020. Marine Environmental Plastic Pollution: Mitigation by Microorganism Degradation and Recycling Valorization. *Frontiers in Marine Science* 7.
- Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M., Neff, R.A., 2018. Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Curr Environ Health Rep* 5, 375–386.
- Sol, D., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2020). Approaching the environmental problem of microplastics: Importance of WWTP treatments. *Science of The Total Environment*, 740, 140016.
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., & Koistinen, A. (2017). How well is microlitter purified from wastewater?. A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water research*, 109, 164–172.
- Ugwu, K., Herrera, A., Gómez, M., 2021. Microplastics in marine biota: A review. *Marine Pollution Bulletin* 169, 112540.
- Yang, Y., Liu, W., Zhang, Z., Grossart, H.-P., & Gadd, G. M. (2020). Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(15), 6501–6511.
- Yuan, J., Ma, J., Sun, Y., Zhou, T., Zhao, Y., & Yu, F. (2020). Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. *The Science of the Total Environment*, 715, 136968.
- Zhang, L., Zhang, S., Wang, Y., Yu, K., Li, R., 2019. The spatial distribution of microplastic in the sands of a coral reef island in the South China Sea: Comparisons of the fringing reef and atoll. *Science of The Total Environment* 688, 780–786.