

Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar.

De-la-Torre, Gabriel Enrique.

Cita:

De-la-Torre, Gabriel Enrique (2019). *Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar*. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15 (4), 27-37.

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/gabriel.e.delatorre/22>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/podQ/BbO>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.
Para ver una copia de esta licencia, visite
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.

Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: <https://www.aacademica.org>.

Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar

Microplastics in the marine environment: a problem to be addressed

Gabriel E. De-la-Torre*

Universidad San Ignacio de Loyola, Lima – Perú.

* Autor correspondiente: gabriel.e.dltp@gmail.com (G. De-la-Torre)

RESUMEN

Los microplásticos han producido una creciente preocupación por parte de la comunidad científica y el público a nivel mundial. En las últimas décadas se ha comenzado a estudiar la verdadera implicancia que los microplásticos traen consigo en términos químicos, ecológicos y biológicos. En el presente artículo se realiza una revisión bibliográfica sobre los microplásticos, su distribución en el medio marino, los impactos más relevantes en el ambiente y varias especies de organismos marinos, las metodologías de muestreo en las diversas matrices ambientales, métodos de separación y la identificación químico-analítica de los polímeros obtenidos para su correcta clasificación. Se concluye que todavía quedan muchos vacíos por llenar en cuanto a la información disponible y la estandarización de metodologías para el muestreo, extracción e identificación de microplásticos. Con el incremento de la producción de plásticos a nivel mundial y la escasa normativa existente, la problemática de los microplásticos continuará averseverándose.

Palabras clave: plástico; microplásticos; organismos marinos; contaminación

ABSTRACT

Microplastics are pollutants that have caused growing concern on the behalf of the scientific community and the public worldwide. In recent decades we have begun to study in detail the true implication that microplastics bring with them in chemical, ecological and biological terms. In the present article an exhaustive bibliographic review is made about microplastics, how is it that these are distributed in the marine environment, what are their most relevant impacts on the environment by many marine species, the sampling methodologies in the many environmental mediums, methods of separation and chemical-analytical identification of the polymers obtained for their correct classification. I concluded that there are still many gaps to fill in terms of available information and standardization of the sampling, extraction y identification methods of microplastics. With the increase of plastic production worldwide and scarce regulations, the problem microplastics pose will continue to worsen.

Keywords: plastic; microplastics; marine organisms; pollution

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación marina, y específicamente la contaminación con plásticos, ha recibido mucha atención en el mundo científico, así como por la opinión pública (Kühn et al., 2017). Cada año se producen vastas cantidades de plástico (Gewert et al., 2015), su consumo anual a nivel global ha alcanzado 320 millones de toneladas (PlasticsEurope, 2016) y casi 10% de la producción anual termina en los océanos (Avio et al., 2017).

Los impactos en el medio marino de los residuos plásticos más grandes, conocidos como macroplásticos, han sido investigados durante mucho tiempo (Cole et al., 2011), siendo el enredo e ingestión de plásticos contaminados por parte de especies marinas (Derraik, 2002), el transporte de especies marinas adheridas a residuos plásticos flotantes a nuevos hábitats (Barnes, 2002; Derraik, 2002) y el bloqueo del intercambio de gases en el fondo marino como resultado del hundimiento de los residuos (Gregory, 2009). Sin embargo, en los últimos años ha habido un incremento considerable de los estudios sobre microplásticos publicados (Wang y Wang, 2018), esto debido a la creciente preocupación mundial, como una de las amenazas más ubicuas y formidables para poner en peligro el medio ambiente marino (Crawford y Quinn, 2017).

Los objetivos del presente artículo de revisión son: definir a los microplásticos, al igual que sus principales características físicas y químicas; detallar la distribución de los mismos tras el vertimiento en el ambiente marino y todas sus matrices; evaluar los impactos que los microplásticos ocasionan sobre el ambiente y los

organismos marinos; detallar las tendencias actuales en cuanto a los métodos de muestreo en las diferentes matrices ambientales en el entorno marino y organismos propios del ecosistema y los métodos químico-analíticos utilizados para identificar el tipo de plástico obtenido.

2. LOS MICROPLÁSTICOS

Los microplásticos son contaminantes emergentes (Richardson y Ternes, 2018) definidos como fragmentos de plástico de un diámetro menor a 5 mm (Andrady, 2017; Jiang, 2018; Sharma y Chatterjee, 2017), considerando a los fragmentos que se encuentran en un rango de 1 hasta 5 mm de diámetro (Figura 1) como los microplásticos más grandes, mientras que los menores a 0,001 mm son clasificados como nanoplásticos (Lee et al., 2013; De Souza Machado et al., 2017). Estos pueden ser categorizados entre microplásticos primarios o secundarios de acuerdo con su origen (Barboza et al., 2019).

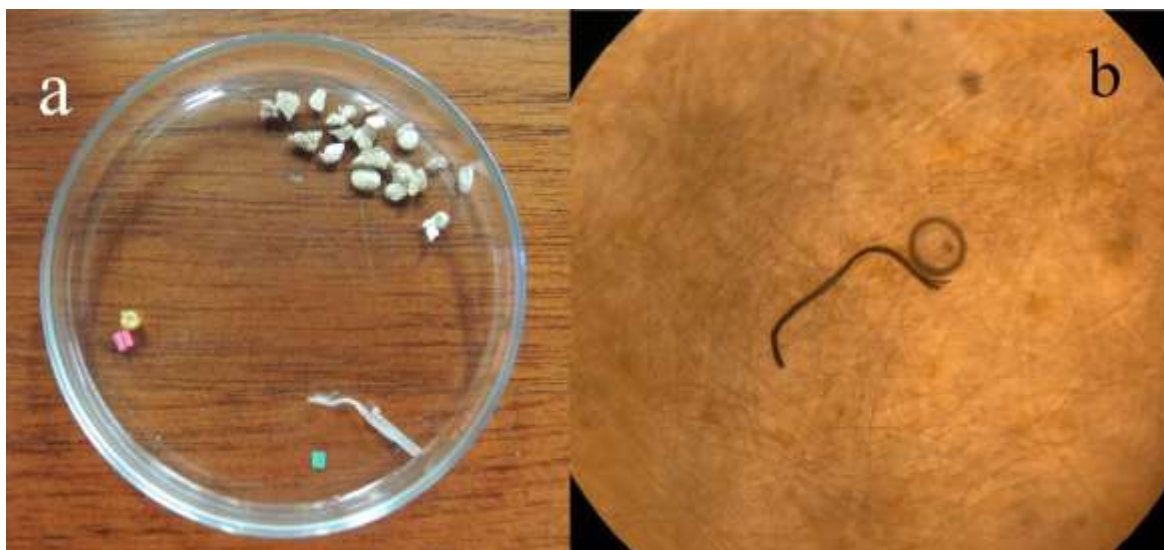


Figura 1. a) Microplásticos visibles (> 1 mm) recolectados de una playa en Lima; b) una fibra sintética microscópica extraída del estómago de un pejerrey en Lima.

Los plásticos que se fabrican para ser de un tamaño microscópico se definen como microplásticos primarios (Cole et al., 2011). Estos incluyen pellets de resina de preproducción, microperlas para abrasivos en cosméticos, pasta de dientes y voladuras, polvos microszados para recubrimientos textiles y medios de administración de fármacos (Shim et al., 2018). Contrariamente, los microplásticos secundarios derivan de la degradación de plásticos más grandes (GESAMP, 2016) por medio de la fragmentación fotolítica (radiación UV), mecánica y degradación biológica (Browne et al., 2007). Mediante estos procesos los plásticos podrían degradarse más, llegando a ser nanoplásticos (Cole et al., 2011). La degradación fotolítica da resultado al desprendimiento de los aditivos químicos del plástico, los cuales están diseñados para mejorar la durabilidad y resistencia del material (Talsness et al., 2009), pudiendo ser tóxicos para el ambiente y los organismos marinos. Esta categoría suele estar conformada por fragmentos de plástico sólido, microfibras de tela y cuerdas, recubrimientos desprendidos y residuos del desgaste de los neumáticos (Shim et al., 2018).

Los plásticos están compuestos por moléculas de cadena larga (macromoléculas), que a su vez están compuestas por muchas moléculas pequeñas (monómeros) que se repiten unidas en una secuencia (Crawford y Quinn, 2017). Los principales polímeros encontrados en los microplásticos son los termoplásticos: polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS) y polietileno tereftalato (PET) (Andrady, 2017). Por lo que los microplásticos abarcan un conjunto muy heterogéneo de partículas y fibras (Chubarenko, 2018; Hidalgo-Ruz et al., 2012).

Aparte de los materiales poliméricos, los plásticos contienen aditivos químicos integrados durante la manufactura (Andrady y Neal, 2009) para mejorar o modificar las propiedades y la procesabilidad de los polímeros parentales, incluyendo plastificantes, retardantes de llama, antioxidantes, estabilizadores térmicos, estabilizadores ultravioletas, estabilizadores térmicos, biocidas, colorantes, rellenos, agentes de soplado, lubricantes y auxiliares de procesamiento (Hong et al., 2018). Dichos aditivos pueden generar impactos negativos en el medio marino.

Los plásticos pueden ser flotantes, neutros o sumergidos, dependiendo de su composición, densidad y forma (Anderson et al., 2016). La flotabilidad se encuentra influenciada por factores biológicos, como la bioincrustación (Fazey y Ryan, 2016; Wright et al., 2013). Es así como los microplásticos bioincrustados y de alta densidad, se alojan en el sedimento marino (GESAMP, 2016). Considerando estos factores, la flotabilidad de los microplásticos determina su biodisponibilidad para los diferentes organismos marinos.

3. DISTRIBUCIÓN EN EL AMBIENTE MARINO

Los residuos plásticos continentales ingresan al océano principalmente por medio de la escorrentía o se descargan directamente en aguas costeras (Cózar et al., 2014). Los modelos oceanográficos indican que los residuos flotantes se acumulan en los giros (Ryan, 2019), los cuales son el centro de vastas corrientes oceánicas anticiclónicas y subtropicales (Cole et al., 2011). Como consecuencia, en los años 1990s se reportó una creciente isla de basura (más comúnmente conocido como *garbage patch* en inglés) en el giro subtropical del Pacífico norte (Rochman et al., 2016) e incluso antes, en los años 1970s ya existía documentación sobre residuos flotantes en el mismo (Goldstein y Goodwin, 2013). Actualmente, la isla de basura del Pacífico continúa acumulando plástico muy rápidamente (Lebreton et al., 2018) y otras islas de basura se han formado alrededor del mundo.

Los microplásticos más densos tienden a alojarse en el sedimento marino (GESAMP, 2016; Shim et al., 2018), mientras que los organismos bioincrustados (Fazey y Ryan, 2016) y agregados fitoplanctónicos facilitan la precipitación de los microplásticos (Dai et al., 2018; Long et al., 2015). La distribución de microplásticos en el sedimento es desigual, debido a sus propiedades y la influencia de factores ambientales, como los vientos y corrientes (Prata et al., 2018). A pesar de que se proyecta que el 70% de los residuos marinos se hundirán y permanecerán en el sedimento marino (Frias et al., 2016), pocos estudios se han enfocado en la acumulación de los residuos en las zonas bentónicas y el suelo marino debido a las dificultades y costos que este proceso implica (Barboza et al., 2019). La acumulación de plástico en el fondo marino todavía permanece sin cuantificar en gran medida (Ling et al., 2017) y no se han establecido métodos estándar para el muestreo de sedimentos (Wang et al., 2019).

Las zonas costeras reciben residuos plásticos de fuentes terrestres y marinas (Cole et al., 2011). En áreas urbanas y sitios turísticos la fuente terrestre es la dominante (Barnes et al., 2009), mientras que las fuentes marinas se depositan en las costas por medio de las corrientes cercanas y embarcaciones (Ryan et al., 2009). Con la presencia de giros en todos los océanos del mundo, la acumulación de microplásticos ocurre a escala mundial y ha sido ampliamente documentado (Lusher, 2015).

La investigación de Purca y Henostroza (2017) ha demostrado la presencia de microplásticos en las playas arenosas de la costa peruana, siendo la playa Costa Azul la más contaminada, con hasta 463,33 ítems.m⁻². Esta es hasta el momento la única publicación que aborda la contaminación con microplásticos en el Perú. Es necesario que se continúe investigando sobre los microplásticos y sus implicaciones ambientales.

4. EFECTOS SOBRE LOS ORGANISMOS MARINOS

Constituidos por una amplia gama de polímeros y aditivos químicos, los microplásticos pueden ser ingeridos por una gran variedad de organismos marinos con el potencial de causar daños (Guzzetti et al., 2018). Muchos estudios recientes han evidenciado la presencia de microplásticos en organismos desde pequeños invertebrados hasta grandes vertebrados. Además, las sustancias hidrofóbicas y químicos orgánicos pueden ser absorbidos por los microplásticos (Gewert et al., 2015; Rochman et al., 2014), entre los cuales están los bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, pesticidas organoclorados y DDT (Camacho et al. 2019). En esta sección se resumen los estudios más recientes y resaltantes en cuanto la presencia de microplásticos en organismos marinos.

4.1 Peces

Los peces son los animales marinos más estudiados en esta línea de investigación (de Sá et al., 2018). La ingesta en diferentes especies de peces ha sido reportada en el Océano Pacífico (Boerger et al., 2010; Davison y Asch, 2011; Ory et al., 2018), Atlántico (Foekema et al., 2013; Hermsen et al., 2017), Mar Mediterráneo (Bessa et al., 2018; Romeo et al., 2015) y otros cuerpos de agua a nivel mundial. El efecto potencial que la ingesta de microplásticos tiene sobre los peces es la mala nutrición, inanición y reducción de las poblaciones (Cole et al., 2011). El porcentaje de microplásticos ingeridos por peces varía ampliamente en diferentes reportes, desde 0,25% (Hermsen et al., 2017) hasta 100% de la muestra (Anastasopoulou et al., 2018). Esto se debe a que los peces con comportamientos de alimentación no selectivos pueden ingerir mayor cantidad de

microplásticos que los selectivos (Li, 2018). Sin embargo, de Sá et al. (2015) comprobó que *Pomatoschistus microps* confunde microesferas de polietileno con su presa, reduciendo su rendimiento alimenticio. No existen reportes de microplásticos en los músculos ni en partes comúnmente comestibles de los peces marinos, por lo que la amenaza que presenta frente a la seguridad alimentaria es mínima.

4.2 Bivalvos

Dependiendo de cada región, algunas especies de bivalvos son populares para el consumo humano, lo cual presenta una amenaza a la seguridad alimentaria (Li, 2018). Los mejillones son los bivalvos más estudiados en este contexto. Li et al. (2018) propusieron a los mejillones como organismos centinelas de la contaminación con microplásticos porque tienen una amplia distribución a nivel mundial, se alojan en nichos ecológicos vitales, son susceptibles a captar microplásticos y tienen una relación cercana con los depredadores marinos y la salud humana. Von Moos et al. (2012) condujo un bioensayo con mejillones en el cual reportó que la captación de microplásticos genera cambios histológicos y respuestas inflamatorias debido a la formación de granulocitomas. Los estudios de Mathalon y Hill (2014) y Davidson y Dudas (2016) en el mejillón azul y la almeja manila respectivamente, demostraron que la concentración de microplásticos en bivalvos provenientes de cultivos son mayores que las extraídas del ambiente. Cho et al. (2018) evidenció la presencia de microplásticos en cuatro bivalvos (ostra, mejillón, almeja y vieira) provenientes directamente de mercados pesqueros en Corea del Sur y se estimó que la población coreana ingiere 212 partículas de microplásticos por persona cada año a partir del consumo de estas especies. En resumen, los bivalvos presentan una amenaza a la seguridad alimentaria principalmente por los hábitos de consumo populares y la amplia evidencia existente de la presencia de microplásticos en estas especies tanto en el ambiente como en centros comerciales.

4.3 Reportes de otras especies

Muchos estudios han reportado la presencia e ingesta de microplásticos en una extensa gama de especies (Tabla 1). Esto se puede deber a la transferencia trófica entre organismos, la cual Nelms et al. (2018) demostró de forma empírica con caballa y focas. Los organismos planctónicos pueden transferir microplásticos de un nivel trófico (mesozooplankton) a otro mayor (macrozooplankton) (Setälä et al., 2014).

Tabla 1. Reportes de ingestión de microplásticos por diferentes especies alrededor del mundo. MP: microplástico; org: organismo.

Especie (nombre común)	Lugar	Concentración	Tipo más frecuente	Fuente
Tortuga verde	Brasil	47 MP.org ⁻¹	Fragmentos (66%)	Tourinho et al. (2010)
Aves marinas	Brasil	1-117 MP	Fragmentos (75%)	Tourinho et al. (2010)
Foca	Países Bajos	0,26 MP.org ⁻¹	Fibras	Bravo Rebolledo et al. (2013)
Percebes	Pacífico Norte	1-30 MP	Fragmentos (99%)	Goldstein y Goodwin (2013)
Gusano de arena	Francia, Bélgica y Países Bajos	1,2 MP.g ⁻¹	-	Van Cauwenberghe (2015)
Muy muy	Estados Unidos	0,65 MP.org ⁻¹	-	Horn et al. (2019)
Fulmar	Canadá	1,9 MP.org ⁻¹	Fibras (93%)	Provencher et al. (2018)
Delfín rosado	China	0,3-0,8 MP.g ⁻¹	Poliestireno	Zhu et al. (2019)

5. MÉTODOS DE MUESTREO Y EXTRACCIÓN DE MICROPLÁSTICOS

El movimiento dinámico de los microplásticos a lo largo de la costa afecta su distribución y abundancia en distintos lugares (Crawford y Quinn, 2017). Es así como las muestras tomadas en la zona intermareal representan la carga de microplásticos que recibe el sistema de playas, mientras que las muestras tomadas en la zona supralitoral representan un stock permanente (Moreira et al., 2016). Tomando en cuenta estas consideraciones, la zona y tipo de muestreo se deben elegir cuidadosamente de acuerdo con los objetivos del estudio.

Los primeros métodos de muestreo en playas arenosas se realizaban por transectos y cuadrantes, tamizando la arena recolectada y flotando el tamizado en una solución salina con el fin de obtener los microplásticos de forma visual (McDermid y McMullen, 2004; Thompson et al., 2004). Actualmente los métodos se han complejizado. Besley et al. (2017) recomienda el uso de un cuadrante de 50 × 50 cm y extraer 5 cm de profundidad (n = 10), pasar la muestra por un tamiz de 5 mm de diámetro; la extracción comienza con el secado de la muestra a 60 °C por 48 horas, de la cual luego se vierten alícuotas de 50 g en 200 ml de una solución salina saturada, se agita por un corto tiempo y luego se deja reposar por 6 horas, la solución flotante se filtra al vacío en un papel filtro de 47 µm, estos dos últimos pasos se deben repetir tres veces y finalmente, se observa el

papel filtro en un microscopio óptico o estereoscopio para cuantificar los microplásticos.

En el caso del muestreo de microplásticos flotantes, principalmente se utilizan *Neuston nets* (Zobkov y Esiukova, 2018) y redes de arrastre (333 μm), las cuales permiten una rápida filtración de grandes volúmenes de agua (Pan et al., 2019; Wang y Wang, 2018; Zobkov y Esiukova, 2018). Las redes de plancton (~100 μm) se suelen obstruir rápidamente, por lo que se deben arrastrar a baja velocidad (Prata et al., 2019). La muestra obtenida en el recipiente debe ser filtrada al vacío y observada en un microscopio óptico o estereoscopio.

Para el muestreo de sedimento marino, estudios recientes han utilizado *box corers* simples (Zhang et al., 2019) y múltiples, obteniendo resultados favorables a profundidades de hasta 5570 m (Bergmann et al., 2017). El proceso de extracción de los microplásticos del sedimento es similar al descrito por Besley et al. (2017). El muestreo de la columna de agua se realiza empleando un *Rosette sampler* con 12 botellas Niskin y un sistema CTD (Dai et al., 2018). La muestra de agua debe ser filtrada y observada en un microscopio óptico o estereoscopio posteriormente.

Una consideración para la extracción de microplásticos de organismos es la interferencia con la materia orgánica. Muchos estudios previos han empleado reactivos químicos agresivos para disolver la biomasa (Wagner et al., 2017). Los más utilizados son 30% H_2O_2 (Digka et al., 2018; Lv et al., 2019; Su et al., 2018), 68-70% HNO_3 (Van Cauwenberghe y Janssen, 2014; Vandermeersch et al., 2015) y 10% KOH (Bessa et al., 2018; Hermsen et al., 2017; Herrera et al., 2019) o varios reactivos (Leslie et al., 2017). Sin embargo, el ácido nítrico es muy agresivo, resultando en una extracción de bajo rendimiento (Avio et al., 2015). Según Dehaut et al. (2016), el uso del 10% KOH e incubación a 60 $^\circ\text{C}$ por 24 h, es el protocolo de mayor eficiencia para la extracción de microplásticos de diferentes especies y tejidos. Similar al método de Besley et al. (2017), se debe realizar una filtración al vacío del sobrenadante de la materia orgánica digerida por el KOH y posteriormente observar el papel filtro en un estereoscopio o microscopio óptico.

Algunos estudios (e.g., Cho et al., 2019; Li et al., 2018; Phuong et al., 2018a; Phuong et al., 2018b) han optado por utilizar un sistema de microscopía infrarroja de transformada de Fourier (μFTIR) directamente sobre el papel filtro y haciendo una selección de los microplásticos de acuerdo con las lecturas espectrales. Esta es una alternativa válida para la rápida detección e identificación de los microplásticos tras la filtración, la cual se detallará en la siguiente sección.

6. MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN

La sola observación visual de las partículas bajo un microscopio óptico puede ocasionar errores en la identificación de los microplásticos (Eriksen et al., 2013). Por esta razón, la espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) y la espectroscopía de Raman son las técnicas aplicadas para la identificación de polímeros identificados visualmente (Hanvey et al., 2017).

La espectroscopía FTIR se utiliza para realizar un análisis cualitativo de los microplásticos (>10 μm), ya que el tipo de polímero se puede identificar directamente comparando su espectro IR con espectros conocidos (Qiu et al., 2016). Se puede adherir un adaptador de reflectancia total atenuada al espectroscopio FTIR (ATR-FTIR) para mejorar su precisión. Piñon-Colin et al. (2018) realizaron mediciones en modo de reflexión en el rango de 400-4000 cm^{-1} con 50 exploraciones a una resolución de 10 cm^{-1} , teniendo un alto rendimiento. A diferencia de la espectroscopía FTIR, en la espectroscopía de Raman la radiación monocromática irradiada sobre la muestra se encuentra en la región espectral UV, visible y cercana a la IR (Larking, 2018). El haz de láser incidente se puede enfocar en un punto de 10 μm de diámetro o menor (Ribeiro-Claro et al., 2017), pudiendo identificar microplásticos extremadamente pequeños y teniendo un mejor rendimiento en muestras húmedas (Qiu et al., 2016). En comparación, la espectroscopía de Raman proporciona una mejor respuesta de los enlaces simétricos no polares, mientras que la espectroscopía FTIR permite una identificación más clara de los grupos polares (Lenz et al., 2015).

Otra variante ampliamente utilizada es el μFTIR . Generalmente, se equipa un detector de matriz de plano focal (FPA) al ATR- μFTIR , facilitando la medida simultánea de miles de espectros en un área determinada con una sola medida (Löder et al., 2015). Yang et al. (2015) emplearon este tipo de análisis en modo transmitancia, estableciendo un rango espectral 4000-675 cm^{-1} en áreas de 50 \times 50 μm hasta 150 \times 150 μm (dependiendo del tamaño de las partículas) con una resolución espectral de 8 cm^{-1} , finalmente identificando el tipo de polímero de cada partícula analizada.

El uso de un microscopio electrónico de barrido (SEM) para la identificación de microplásticos proporciona imágenes claras de las partículas, lo que permite la discriminación de los microplásticos de las partículas orgánicas (Cooper y Corcoran, 2010). Un SEM acoplado con fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (SEM-EDS) permite obtener la composición elemental de los microplásticos (Shim et al., 2017), pudiendo

lograr una discriminación de partículas orgánicas observando el espectro EDS. Sin embargo, este método es costoso y la preparación de la muestra es laboriosa, limitando el número de partículas que pueden analizarse en un periodo de tiempo determinado (Silva et al., 2018).

Finalmente, la pirólisis-cromatografía de gases-espectrometría de masas (Pyr-GC/MS) es un método secuencial destructivo (Qiu et al., 2016) que permite la identificación del tipo de polímero en los microplásticos por medio del análisis de la degradación termal (Nuelle et al., 2014). Este método no requiere de un pretratamiento y solo utiliza pequeñas cantidades (5-200 µg) de la muestra (Kusch, 2017). Las especificaciones según Nuelle et al. (2014) para el uso del Pyr-GC/MS en la identificación de polímeros del plástico se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros y condiciones para el funcionamiento del sistema Pyr-GC/MS según lo reportado por Nuelle et al. (2014).

Parámetro	Especificación
Temperatura y tiempo de pirólisis	700 °C, 60 s
Temperatura de línea de transferencia	350 °C
Columna capilar	30 m HP-5MS
Diámetro interno y grosor de columna	250 µ.m, 0,25 µ.m
Temperatura del horno GC	De 40 a 180 °C a 15 °C.min ⁻¹ ; luego a 300 °C a 5 °C.min ⁻¹
Gas portador y flujo	Helio, 60 mL.min ⁻¹
Rango de masas del explorador	10 - 600 amu

7. DESAFÍOS ACTUALES Y FUTUROS

Muchos estudios aplican metodologías similares y se van mejorando cada vez. Es necesario que se comience a estandarizar internacionalmente las metodologías de muestreo, extracción y análisis de microplásticos en todas las matrices, puesto que permitiría la comparación entre estudios de diferentes lugares y autores. Aun con la gran cantidad de estudios recientes, todavía existen muchos vacíos por llenar. Se debe abordar el problema de los microplásticos desde lo más básico hasta lo más complejo en países donde todavía se desconoce por completo cuál es el estado actual de la contaminación por microplásticos en el medio marino. Los estudios que se realicen deben servir para la creación de normativa y regulación del consumo de plásticos de un solo uso y productos que contengan microplásticos primarios.

Si no se limita la principal fuente de microplásticos y el consumo y la producción de plásticos continúa aumentando, ante la falta de normativa y regulaciones, esta problemática continuará incrementándose, comprometiendo la vida marina y la seguridad alimentaria. Es por esta razón que se hace un llamado a que se comience a investigar este contaminante y se hagan propuestas para evitar que el problema continúe aseverándose.

8. CONCLUSIONES

Durante muchos años se ha investigado a los macroplásticos, por lo que sus efectos sobre el ambiente y organismos marinos son muy conocidos. En la actualidad, la atención se centra en los microplásticos (<5 mm), los cuales han prevalecido por décadas, pero es en los últimos años que el número de investigaciones y atención que recibe se ha disparado. Con la contundente evidencia de la presencia de microplásticos en sedimentos, playas, columnas de agua y superficies oceánicas, organismos menores y mayores, e incluso alimentos en supermercados, es innegable que los microplásticos presentan un peligro frente al ambiente, los organismos y la salud humana. Todavía quedan muchos vacíos científicos, sociales y legislativos que llenar. La investigación científica es el primer paso para poder abordar el problema e identificar soluciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anastasopoulou, A.; Viršek, M.K.; Varezić, D.B.; Digka, N.; Fortibuoni, T.; Koren, S.; Mandić, M.; Mytilineou, C.; Pešić, A.; Ronchi, F.; Šiljić J.; Torre, M.; Tsangaris, C.; Tutman, P. 2018. Assessment on marine litter ingested by fish in the Adriatic and NE Ionian Sea macro-region (Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin* 133: 841-851.
- Anderson, J.C.; Park, B.J.; Palace, V.P. 2016. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution* 218: 269-280.
- Andrady, A.L.; Neal, M.A. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions B: Biological Sciences* 364: 1977-1984.

- Andrady, A.L. 2017. The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin* 119: 12-22.
- Avio, C.G.; Gorbi, S.; Regoli, F. 2015. Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*: 111: 18-26.
- Barboza, L.G.A.; Frias, J.P.G.L.; Booth, A.M.; Vieira, L.; Masura, J.; Baker, J.; Foster, G.; Guilhermino, L. 2019. Microplastics Pollution in the Marine Environment. En: Sheppard, C. (Comp.). *World Seas: An Environmental Evaluation, Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts*. Elsevier. Países Bajos. Pp. 329-351.
- Barnes, D.K.A. 2002. Invasions by marine life on plastic debris. *Nature* 416: 808-809.
- Barnes, D.K.A.; Galgani, F.; Thompson, R.C.; Barlaz, M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions B: Biological Sciences*. 364: 1985-1998.
- Bergmann, M.; Wirzberger, V.; Krumpfen, T.; Lorenz, C.; Primpke, S.; Tekman, M.B.; Gerdts, G. 2017. High quantities of microplastic in Arctic deep-sea sediments from the HAUSGARTEN observatory. *Environmental Science & Technology* 51: 11000-11010.
- Besley, A.; Vijver, M.G.; Behrens, P.; Bosker, T. 2017. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin* 114: 77-83.
- Bessa, F.; Barría, P.; Neto, J.M.; Frias, J.P.G.L.; Otero, V.; Sobral, P.; Marques, J.C. 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin* 128: 575-584.
- Boerger, C.M.; Lattin, G.L.; Moore, S.L.; Moore, C.J. 2010. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the north Pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin* 60: 2275-2278.
- Bravo Rebolledo, E.L.; Van Franeker, J.A.; Jansen, O.E.; Bresseur, S.M.J.M. 2013. Plastic ingestion by harbour seals (*Phoca vitulina*) in The Netherlands. *Marine Pollution Bulletin* 67: 200-202.
- Browne, M.A.; Galloway, T.S.; Thompson, T. 2007. Microplastic – An emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Assessment and Management* 3: 559-566.
- Camacho, M.A.; Herrera, A.; Gómez, M.; Acosta-dacal, A.; Martínez, I.; Henríquez-Henández, L.A.; Luzardo, O.P. 2019. Organic pollutants in marine plastic debris from Canary Islands beaches. *Science of the Total Environment* 662: 22-31.
- Cho, Y.; Shim, W.J.; Jang, M.; Han, H.M.; Hong, S.H. 2019. Abundance and characteristics of microplastics in market bivalves from South Korea. *Environmental Pollution* 245: 1107-1116.
- Chubarenko, I.; Esiukova, E.; Bagaey, A.; Isachenko, L.; Demchenko, N.; Zobkov, M.; Efimova, L.; Bagaeva, M.; Khatmullina, L. 2018. Behavior of Microplastics in Coastal Zones. En: Zeng, E.Y. (Comp.). *Microplastic Contamination in Aquatic Environments - An Emerging Matter of Environmental Urgency*. Elsevier. Países Bajos. Pp. 175-223.
- Cole, M.; Lindeque, P.; Halsband, C.; Galloway, T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62: 2588-2597.
- Cooper, D.A.; Corcora, P.L. 2010. Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii. *Marine Pollution Bulletin* 60: 650-654.
- Cózar, A.; Echevarría, F.; González-Gordillo, J.I. Irigoien, X.; Ubeda, B.; Henández-León, S.; Palma, A.T.; Navarro, S.; García-de-Lomas, J.; Ruiz, A.; Fernández-de-Puelles, M.L.; Duarte, C.M. 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 10239-10244.
- Crawford, C.B.; Quinn, B. 2017. *Microplastic Pollutants*. 1ra Edición. Elsevier. Amsterdam, Países Bajos. 336 pp.
- Dai, Z.; Zhang, H.; Zhou, Q.; Tian, Y.; Chen, T.; Tu, C.; Fu, C.; Luo, Y. 2018. Occurrence of microplastics in the water column and sediment in an inland sea affected by intensive anthropogenic activities. *Environmental Pollution* 242: 1557-1565.
- Davidson, K.; Dudas, S.E. 2016. Microplastic Ingestion by Wild and Cultured Manila Clams (*Venerupis philippinarum*) from Baynes Sound, British Columbia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 71: 147-156.
- Davison, P.; Asch, R.G. 2011. Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre. *Marine Ecology Progress series* 432: 173-180.

- De Sá, L.C.; Luis, L.G.; Guihermino, L. 2015. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environmental Pollution* 196: 359-362.
- De Souza Machado, A.A.; Kloas, W.; Zarfl, C.; Hempel, S.; Riling, M.C. 2017. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 24: 1405-1416.
- Dehaut, A.; Cassone, A.; Frère, L.; Hermabessiere, L.; Himber, C.; Runnert, E.; Riviére, G.; Lambert, C.; Soudant, P.; Huvet, A.; Duflos, G.; Paul-Pont, I. 2016. Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution* 122: 253-258.
- Derraik, J.G.B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44: 842-852.
- Digka, N.; Tsanagaris, C.; Torre, M.; Anastasopoulou, A.; Zeri, C. 2018. Microplastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea. *Marine Pollution Bulletin* 135: 30-40.
- Eriksen, M.; Mason, S.; Wilson, S.; Box, C.; Zellers, A. Edwards, W.; Farley, H.; Amato, S. 2013. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 77: 177-182.
- Fazey, F.M.C.; Ryan, P.G. 2016. Biofouling on buoyant marine plastics: An experimental study into the effect of size on surface longevity. *Environmental Pollution* 210: 354-360.
- Foekema, E.M.; de Gruijter, C.; Mergia, M.T.; van Franeker, J.A.; Murk, A.J.; Koelmans, A.A. 2013. Plastic in North Sea Fish. *Environmental Science & Technology* 47: 8818-8824.
- Frias, J.P.G.L.; Gago, J.; Otero, V.; Sobral, P. 2016. Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Marine Environmental Research* 114: 24-30.
- GESAMP. 2016. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. GESAMP No. 93. IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, International Maritime Organization. Disponible en: <http://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment-part-2>
- Gewert, B.; Plassmann, M.M.; MacLeod, M. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental science Processes & Impacts* 17: 1513-1519.
- Goldstein, M.C.; Goodwin, D.S. 2013. Gooseneck barnacles (*Lepas* spp.) ingest microplastic debris in the North Pacific Subtropical Gyre. *PeerJ* 1:e184.
- Gregory, M.R. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364: 2013–2025.
- Guzzetti, E.; Sureda, A.; Tejada, S.; Faggio, C. 2018. Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental toxicology and pharmacology* 64: 164-171.
- Hanvey, J.S.; Lewis, P.J.; Lavers, J.L.; Crosbie, N.D.; Pozo, K.; Clarke, B.O. 2017. A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments. *Analytical Methods* 9: 1369-1383.
- Hermesen, E.; Pompe, R.; Besseling, E.; Koelmans, A.A. 2017. Detection of low numbers of microplastics in North Sea fish using strict quality assurance criteria. *Marine Pollution Bulletin*. 122: 253-258.
- Herrera, A.; Štindlová, A.; Martínez, I.; Rapp, J.; Romero-Kutzner, V.; Samper, M.D.; Montoto, T. Aguiar-González, B.; Packard, T.; Gómez, M. 2019. Microplastic ingestion by Atlantic chub mackerel (*Scomber colias*) in the Canary Islands coast. *Marine Pollution Bulletin* 139: 127-135.
- Hidalgo-Ruz, V.L.; 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
- Hong, S.H.; Shim, W.J.; Jang, M. 2018. Chemicals associated with marine plastic debris and microplastics: Analyses and contaminant levels. En: Zeng, E.Y. (Comp.). *Microplastic Contamination in Aquatic Environments - An Emerging Matter of Environmental Urgency*. Elsevier. Países Bajos. Pp. 271-315.
- Horn, D.; Miller, M.; Anderson, S.; Steele, C. 2019. Microplastics are ubiquitous on California beaches and enter the coastal food web through consumption by Pacific mole crabs. *Marine Pollution Bulletin* 139: 231-237.
- Jiang, J. 2018. Occurrence of microplastics and its pollution in the environment: A review. *Sustainable Production and Consumption* 13: 16-23.

- Kühn, S.; van Werven, B.; van Oyen, A.; Meijboom, A.; Rebolledo, E.L.B.; van Franeker, J.A. 2017. The use of potassium hydroxide (KOH) solution as a suitable approach to isolate plastics ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin* 115: 86-90.
- Kusch, P. 2017. Application of Pyrolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry (Py-GC/MS). *Comprehensive Analytical Chemistry* 75: 169-207.
- Larkin, P.J. 2018. *Infrared and Raman Spectroscopy: Principles and Spectral Interpretation*. 2da Edición. Elsevier. Amsterdam, Países Bajos. 286 pp.
- Lebreton, L.; Slat, B.; Ferrari, F.; Sainte-Rose, B.; Aitken, J.; Marthouse, R.; Hajbane, S.; Cunsolo, S.; Schwarz, A.; Levivier, A.; Noble, K.; Debeljak, P.; Maral, H.; Schoeneich-Argent, R.; Brambini, R.; Reisser, J. 2018. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports* 8: 4666.
- Lee, J.; Hong, S.; Song, Y.K.; Hong, S.H.; Jang, Y.C.; Jang, M.; Heo, N.W.; Han, G.M.; Lee, M.J.; Kang, D.; Shim, W.J. 2013. Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Marine Pollution Bulletin* 77: 349-354.
- Lenz, R.; Enders, K.; Stadmon, C.A.; Mackenzie, D.M.A.; Nielsen, T.G. 2015. A critical assessment of visual identification of marine microplastic using Raman spectroscopy for analysis improvement. *Marine Pollution Bulletin* 100: 82-91.
- Leslie, H.A.; Brandsma, S.H.; van Velzen, M.J.; Vethaak, A.D. 2017. Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment international* 101: 133-142.
- Li, J.; Green, C.; Reynolds, A.; Shi, H.; Rothell J.M. 2018. Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom. *Environmental Pollution* 241: 35-44.
- Li, W.C. 2018. The Occurrence, Fate, and Effects of Microplastics in the Marine Environment. En: Zeng, E.Y. (Comp.). *Microplastic Contamination in Aquatic Environments - An Emerging Matter of Environmental Urgency*. Elsevier. Países Bajos. Pp. 133-173.
- Ling, S.D.; Sinclair, M.; Levi, C.J.; Reeves, S.E.; Edgar, G.J. 2017. Ubiquity of microplastics in coastal sea-floor sediments. *Marine Pollution Bulletin* 121: 104-110.
- Löder, M.G.J.; Kuczera, M.; Mintening, S.; Lorenz, C.; Gerdt, G. 2015. Focal plane array detector-based micro-Fourier-transform infrared imaging for the analysis of microplastics in environmental samples. *Environmental Chemistry* 12: 563-581.
- Lusher, A. Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. En: Bergmann, M.; Gutow, L.; Klages, M. (Comp.). *Marine Anthropogenic Litter*. Springer. Alemania. Pp. 245-307.
- Lv, W.; Zhou, W.; Lu, S.; Huang, W.; Yuan, Q.; Tian, M.; Lv, W.; He, D. 2019. Microplastic pollution in rice-fish co-culture system: A report of three farmland stations in Shanghai, China. *Science of the Total Environment* 652: 1209-1218.
- Mathalon, A.; Hill, P. 2014. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin* 81: 69-79.
- McDermid, K.J.; McMullen, T.L. 2004. Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago. *Marine Pollution Bulletin* 48: 790-794.
- Moreira, F.T.; Prantoni, A.L.; Martini, B.; de Abreu, M.A.; Staiev, S.B.; Turra, A. 2016. Small-scale temporal and spatial variability in the abundance of plastic pellets on sandy beaches: Methodological considerations for estimating the input of microplastics. *Marine Pollution Bulletin* 102: 114-121.
- Nelms, S.E.; Galloway, T.S.; Godley, B.J.; Jarvis, D.S.; Lindeque, P.K. 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution* 238: 999-1007.
- Nuelle, M.; Dekiff, J.H.; Remy, D.; Fries, E. 2014. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution* 184: 161-169.
- Ory, N.; Chagnon, C.; Felix, F.; Fernández, C.; Ferreira, J.L.; Gallardo, C.; Garcés Ordóñez, O.; Henostroza, A.; Laaz, E.; Mizraji, R.; Mojica, H.; Murillo Haro, V. Ossa Medina, L.; Preciado, M.; Sobral P.; Urbina, M.A.; Thiel, M. 2018. Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 127: 211-216.
- Pan, Z.; Guo, H.; Chen, H.; Wang, S.; Sun, X.; Zou, Q.; Zhang, Y.; Lin, H.; Cai, S.; Huang, J. 2019. Microplastics in the Northwestern Pacific: Abundance, distribution, and characteristics. *Science of the Total Environment* 650: 1913-1922.

- Phuong, N.N.; Poirier, L.; Pham, Q.T.; Lagarde, F.; Zalouk-Vergnoux, A. 2018. Factors influencing the microplastic contamination of bivalves from the French Atlantic coast: Location, season and/or mode of life? *Marine Pollution Bulletin* 129: 664-674.
- Phuong, N.N.; Zalouk-Vergnoux, A.; Kamari, A.; Mouneyrac, C.; Amiard, F.; Poirier, L.; Lagarde, F. 2018. Quantification and characterization of microplastics in blue mussels (*Mytilus edulis*): protocol setup and preliminary data on the contamination of the French Atlantic coast. *Environmental Science and Pollution Research International* 25: 6135-6144.
- Piñon-Colin, T.J.; Rodriguez-Jimenez, R.; Pastrana-Corral, M.A.; Rogel-Hernandez, E.; Wakida, F.T. 2018. Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 131: 63-71.
- PlasticsEurope. 2016. *Plastics - the facts 2016: an analysis of European plastics production, demand and waste data*. PlasticsEurope – Association of Plastics Manufacturers. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016.pdf>
- Prata, J.C.; da Costa, J.P.; Duarte, A.C.; Rocha-Santos, T. 2019. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 110: 150-159.
- Provencher, J.F.; Vermaire, J.C.; Avery-Gomm, S.; Braune, B.M.; Mallory, M.L. 2018. Garbage in guano? Microplastic debris found in faecal precursors of seabirds known to ingest plastics. *Science of the Total Environment* 644: 1477-1484.
- Purca, S.; Henostroza, A. 2017. Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología* 24: 101-106.
- Qiu, Q.; Tan, Z.; Wang, J.; Peng, J.; Li, M.; Zhan, Z. 2016. Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 176: 102-109.
- Ribeiro-Claro, P.; Nolasco, M.M.; Araújo, C. 2017. Characterization of Microplastics by Raman Spectroscopy. *Comprehensive Analytical Chemistry* 75: 119-151.
- Richardson, S.D.; Ternes, T.A. 2018. *Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues*. *Analytical Chemistry* 90: 398-428.
- Rochman, C.M.; Cook, A.M.; Koelmans, A.A. 2016. Plastic debris and policy: Using current scientific understanding to invoke positive change. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 35: 1617-1626.
- Rochman, C.M.; Kurobe, T.; Flores, I.; Teh, S.J. 2014. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of the Total Environment* 493: 656-661.
- Romeo, T.; Pietro, B.; Pedà, C.; Consoli, P.; Andaloro, F.; Fossi, M.C. 2015. First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 95: 358-361.
- Ryan, P.G.; Moore, C.J.; van Franeker, J.A.; Moloney, C.L. 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions B: Biological Sciences* 364: 1999-2012.
- Ryan, P.G. 2014. Litter survey detects the South Atlantic ‘garbage patch’. *Marine Pollution Bulletin* 79: 220-224.
- Setälä, O.; Fleming-Lehtinen, V.; Lehtiniemi, M. 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution* 185: 77-83.
- Sharma, S.; Chatterjee, S. 2017. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science Pollution Research* 24: 21530-21547.
- Shim, W.J.; Hong, S.H.; Eo, S. 2017. Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical Methods* 9: 1384-1391.
- Shim, W.J.; Hong, S.H.; Eo, S. 2018. *Marine Microplastics: Abundance, Distribution, and Composition*. En: Zeng, E.Y. (Comp.). *Microplastic Contamination in Aquatic Environments - An Emerging Matter of Environmental Urgency*. Elsevier. Países Bajos. Pp. 1-26.
- Silva, A.B.; Bastos, A.S.; Justino, C.I.L.; da Costa, J.P.; Duarte, A.C.; Rocha-Santos, T.A.P. 2018. Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review. *Analytica Chimica Acta* 1017: 1-19.
- Su, L.; Deng, H.; Li, B.; Chen, Q.; Pettigrove, V.; Wu, C.; Shi, H. 2019. The occurrence of microplastic in specific organs in commercially caught fishes from coast and estuary area of east China. *Journal of hazardous materials* 365: 716-724.

- Talsness, C.E.; Andrade, A.J.; Kuriyama, S.N.; Taylor, J.A.; vom Saal, F.S. 2009. Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philosophical Transactions B: Biological Sciences* 364: 2079-2096.
- Thompson, R.C.; Olsen, Y.; Mitchell, R.P.; Davis, A.; Rowland, S.J.; John, A.W.G.; McGonigle, D.; Russell, A.E. 2004. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science* 304: 838.
- Tourinho, P.S.; do Sul, J.A.I.; Filmann, G. 2010. Is marine debris ingestion still a problem for the coastal marine biota of southern Brazil? *Marine Pollution Bulletin* 60: 396-401.
- Van Cauwenberghe, L.; Janssen, C.R. 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution* 193: 65-70.
- Vandermeersch, G.; Van Cauwenberghe, L.; Janssen, C.R.; Marques, A.; Granby, K.; Fait, G.; Kotterman, M.J.; Diogène, J.; Bekaert, K.; Robbens, J.; Devriese, L. 2015. A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms. *Environmental Research* 143: 46-55.
- 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: 11327-11335.
- Wagner, J.; Wang, Z.; Ghosal, S.; Rochman, C.; Gassel, M.; Wall, S. 2017. Novel method for the extraction and identification of microplastics in ocean trawl and fish gut matrices. *Analytical Methods* 9: 1479-1490.
- Wang, W.; Wang, J. Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 108: 195-202.
- Wang, J.; Wang, M.; Ru, S.; Liu, X. 2019. High levels of microplastic pollution in the sediments and benthic organisms of the South Yellow Sea, China. *Science of the Total Environment* 651: 1661-1669.
- 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.
- Yang, D.; Shi, G.; Li, L.; Li, J.; Jabeen, K.; Kolandhasamy, P. 2015. Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environmental Science & Technology* 49: 13622-13627.
- Zhang, C.; Zhou, H.; Cui, Y.; Wang, C.; Li, Y.; Zhang, D. 2019. Microplastics in offshore sediment in the Yellow Sea and East China Sea, China. *Environmental Pollution* 244: 827-833.
- Zobkov, M.B.; Esiukova, E.E. 2018. Microplastics in a Marine Environment: Review of Methods for Sampling, Processing, and Analyzing Microplastics in Water, Bottom Sediments, and Coastal Deposits. *Oceanology* 58: 137-143.
- Zhu, J.; Yu, X.; Zhang, Q.; Li, Y.; Tan, S.; Li, D.; Yang, Z.; Wang, J. 2019. Cetaceans and microplastics: First report of microplastic ingestion by a coastal delphinid, *Sousa chinensis*. *Science of the Total Environment* 659: 649-654.