

# Vínculos

Sociología, análisis y opinión

Año 4 ■ Núm. 7, Marzo-Agosto 2023



## LA CIENCIA SOCIAL DE LA BASURA

Revista semestral del Departamento de Sociología / División de Estudios Políticos y Sociales  
Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades

**Universidad de Guadalajara**

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA** Dr. Ricardo Villanueva Lomelí, RECTOR GENERAL; Dr. Héctor Raúl Solís Gadea, VICERECTOR EJECUTIVO; Mtro. Guillermo Arturo Gómez Mata, SECRETARIO GENERAL. **CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES** Dr. Juan Manuel Durán Juárez, RECTOR; Dra. Katia Magdalena Lozano Uvario, SECRETARIA ACADÉMICA; Lic. María del Rosario Ortiz Hernández, JEFA DE LA UNIDAD DE APOYO EDITORIAL. **DIVISIÓN DE ESTUDIOS POLÍTICOS Y SOCIALES** Mtra. Sofía Limón Torres, DIRECTORA. **DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGÍA** Dr. Jorge Ramírez Plascencia, JEFE DE DEPARTAMENTO.

**Vínculos. Sociología, análisis y opinión**, Año 4, Núm. 7, marzo-agosto 2023, es una publicación semestral editada por la Universidad de Guadalajara, a través del Departamento de Sociología de la División de Estudios Políticos y Sociales del Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades. Av. José Parres Arias, 150, San José del Bajío. Edificio F, tercer piso, C.P. 45132. Zapopan, Jalisco, México. Teléfono: 333819-3300, ext. 23354. Correo electrónico: [revistavinculos@hotmail.com](mailto:revistavinculos@hotmail.com). Editor responsable: Jaime Torres Guillén. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2012-042610503700-102, ISSN: en trámite por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Impresa en Amateditorial, calle Prisciliano Sánchez #612, Col. Centro, Guadalajara, Jalisco. C.P. 44100 Este número se terminó de editar en marzo de 2023.  
<http://www.publicaciones.cucsh.udg.mx/ppperiod/vinculos/index.htm> <http://www.vinculossociologiaanalisisyopinion.cucsh.udg.mx/index.php/VSAO>

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad de Guadalajara.

**Vínculos. Sociología, análisis y opinión** está incluida en los catálogos de revistas Latindex y LatinRev.

latindex



**Director y editor**

Jaime Torres Guillén

**Comité Editorial**

Alejandra Guillén González  
Héctor Raúl Solís Gadea  
Jorge Ramírez Plascencia  
Andrea Celeste Razón Gutiérrez  
Rafael Sandoval Álvarez  
Carlos Rafael Hernández Vargas  
Luis Rodolfo Morán Quiroz

**Asistente  
de dirección**

Nidia Verónica Covarrubias Sánchez

**Secretario técnico  
y Soporte plataforma web**

Francisco Tapia Velázquez

**Consejo Editorial**

Isabel Cristina Naranjo Noreña, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; Antonio Luzón, Universidad de Granada, España; Silvia Carina Valiente, Conicet CIT Catamarca, Universidad de Catamarca, Argentina; Carlos Javier Maya Ambía, Centro de Estudios Japoneses, Universidad de Guadalajara, México; Luisa Martínez-García, Universidad Autónoma de Barcelona, España; Bruno Baronnet, Universidad Veracruzana, México; Mariana Passarello, Universidad del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina; David Gómez-Álvarez, Universidad de Guadalajara, México; María del Carmen Ventura Patiño, El Colegio de Michoacán, México; Felipe Gaytán Alcalá, Universidad La Salle, México; Liliana Cordero Marines, Centro de Investigaciones sobre América del Norte, UNAM, México.

**Comité Científico Internacional**

María Patricia Fortuny Loret de Mola, CIESAS Peninsular, México; Göran Therborn, Universidad de Cambridge, Inglaterra; José Luis Grosso, Centro Internacional de Investigación PIRKA, Políticas, Culturas y Artes de Hacer, Colombia; Breno Bringel, Instituto de Estudios Sociales y Políticos de la Universidad del Estado de Río de Janeiro, Brasil; Jorge Alonso, CIESAS-Occidente, México.

Departamento de Sociología de la División de Estudios Políticos y Sociales del CUCSH, UdeG. Av. José Parres Arias núm. 150, San José del Bajío. Edificio F, tercer piso, C.P. 45132. Zapopan, Jalisco, México. Teléfono: 3819-3300, Ext. 23354.

La revista **Vínculos. Sociología, análisis y opinión** puede leerse en internet:

<http://www.publicaciones.cucsh.udg.mx/ppperiod/vinculos/index.htm>

<http://www.vinculosociologiaanalisisyopinion.cucsh.udg.mx/index.php/VSAO>

# MICRO Y NANOPLÁSTICOS EN MARES Y OCÉANOS

**Recibido:** 25/01/2023

**Aceptado:** 24/02/2023

ALFREDO BIZARRO SÁNCHEZ<sup>1</sup>

ANA BELÉM PIÑA GUZMÁN<sup>2</sup>

FABIÁN ROBLES MARTÍNEZ<sup>3</sup>

## Resumen

Mares y océanos sufren un grave problema de contamina-

---

1 Ingeniero Ambiental por la Universidad Abierta, realizó estudios de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática y un Doctorado en Geografía y Desarrollo Geotecnológico en la Universidad Autónoma del Estado de México. Realizó una estancia de 45 días en el ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares). Orcid: 0009-0001-3592-6028.

2 Ingeniera Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo, realizó estudios de Maestría y Doctorado en Ciencias con especialidad en Toxicología en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional. Desde el año 2009, es profesora-investigadora en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI-IPN). Imparte asignaturas como: Toxicología Ambiental y Manejo Integral de Residuos en licenciatura y Seminarios de Investigación en Posgrado. Desarrolla proyectos de investigación en las líneas: Manejo y valorización de residuos sólidos, Evaluación de riesgo ambiental y a la salud por las emanaciones de sitios de disposición final, de los que dirige trabajos de tesis de licenciatura y posgrado. Ha publicado 21 artículos en revistas científicas indizadas de circulación internacional. Orcid: 0000-0002-9932-3517.

3 Ingeniero Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo, posteriormente realizó estudios de maestría y doctorado en Ciencias.y

ción a causa de la presencia de residuos plásticos que afecta no solo a la biota marina, sino también a los seres humanos. A pesar de la abundante información sobre la presencia de plásticos en mares y océanos, aún se carece de conocimiento sólido sobre la cantidad de plásticos que ingresan al medio marino. Esta situación se agrava con respecto a los nano y microplásticos; dado que la mayor parte de las investigaciones se han enfocado a los macroplásticos y a regiones de fácil acceso como playas. Por otra parte, la carencia de una armonización o estandarización de metodologías, clasificaciones y una definición funcional de nano y microplásticos no permite la comparación de datos espaciales y temporales de la problemática entre la comunidad científica. El objetivo del presente trabajo es presentar la información actual sobre los nano y microplásticos: definiciones, fuentes, metodologías, ingestión, toxicidad, alteración de hábitat e introducción de especies.

*Palabras clave:* impacto ambiental, metodologías, contaminación por plásticos

### **Abstract**

Seas and oceans suffer a serious pollution problem due to the presence of plastic waste that affects not only marine biota, but also human beings. Despite the abundant information on the presence of plastics in seas and oceans, there is still a lack of solid knowledge on the amount of plastics entering the marine environment. This situation is aggravated with respect to nano and microplastics, since most research has focused on macroplastics and easily accessible regions such as beaches. On the other hand, the lack of harmonization or standardization of methodolo-

---

Técnicas de los Desechos en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Lyon (Francia). Ha realizado estancias cortas de investigación en la Universidad Politécnica de Cataluña en 2008 y en la Universidad Jaume I en España en 2010. Desde el año 2000 es profesor en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del IPN, donde imparte asignaturas sobre tratamiento y manejo integral de residuos a los alumnos de licenciatura y posgrado. El Doctor Robles ha publicado 30 artículos en revistas internacionales y 18 artículos en revistas nacionales arbitradas o de divulgación. Orcid: 0000-0001-8110-7819.

gies, classifications and a functional definition of nano and microplastics does not allow the comparison of spatial and temporal data of the problem among the scientific community. The objective of this paper is to present the current state of research on nano and microplastics: definitions, sources, methodologies, ingestion, toxicity, habitat alteration and species introduction.

*Keywords:* Environmental impact, methodologies, plastic pollution.

## Introducción

Hoy en día, la contaminación ambiental es un grave problema que acosa, sobre todo a las grandes ciudades de todo el mundo. Las actividades cotidianas de la población mundial creciente son responsables de la presencia de residuos (sólidos, líquidos, gaseosos) en nuestro entorno. La omnipresencia de residuos sólidos es cada vez más evidente y no se limita a las grandes ciudades o a las áreas urbanas con mayor movilidad de personas. Hoy los residuos, con una composición cada vez más variada, se encuentran por doquier, llegando a ambientes que antes eran tan limpios como las playas y, por ende, en las aguas marinas y en los grandes océanos.

La presencia de microplásticos ha sido documentada en depósitos en el fondo marino (Woodall *et al.*, 2014), aguas, sedimentos y suelos (Hall *et al.*, 2015); y aunque se ha aportado abundante evidencia e información sobre su destino y efectos en el océano, aún se carece de conocimiento sistemático sobre los procesos subyacentes (Zarfl *et al.*, 2011); situación que se agrava por el desconocimiento de la cantidad de residuos que ingresan a los océanos, y que de acuerdo a Jambeck *et al.* (2015), sin el mejoramiento de la infraestructura de gestión de residuos se producirá un incremento constante y acumulativo en magnitud para el año 2025. Por lo anterior, es necesario realizar investigaciones encaminadas a conocer la acumulación, fuentes, sumideros e impactos ambientales asociados a los microplásticos (Barnes *et al.*, 2009; Galgani, 2010).

Se han realizado diversas investigaciones sobre la presencia, movilidad y distribución marina de plásticos a nivel global (Cole *et al.*, 2011; Ivar do Sul y Costa, 2013b); dichas investigaciones incluyen 18 sitios en 6 continentes y regiones como el mar profundo (van Cauwenberghe *et al.*, 2013), polos (Barnes *et al.*, 2009; Obbard *et al.*, 2014) y archipiélago del Atlántico ecuatorial (Ivar do Sul *et al.*, 2013a). Registrándose una mayor concentración de estos materiales en las áreas densamente pobladas. Por otro lado, la mayor parte de las investigaciones se han enfocado a macroplásticos, pero hoy en día es necesario establecer patrones temporales y espaciales, así como conocer los impactos físicos y químicos generados por la acumulación de microplásticos en los hábitats intermareales y submareales (Thompson *et al.*, 2004; Barnes, 2009; Galgani, 2010). Adicionalmente, más del 80 % de las investigaciones sobre la abundancia de microplásticos se ha enfocado en las playas debido a su fácil acceso (van Cauwenberghe *et al.*, 2015, Alvarez Zeferino *et al.*, 2020, Cruz Salas *et al.*, 2022,) y principalmente en el Pacífico y Atlántico Norte (van Sebille *et al.*, 2015).

### **Definición de microplásticos y nanoplásticos**

En la actualidad no existe una definición estándar o legal de microplásticos y nanoplásticos. El término es utilizado en las ciencias ambientales para referirse a una amplia variedad de tamaños de partículas plásticas dentro de un rango bajo de nm y un tamaño de 5 mm (Leslie, 2015). Aunque cabe señalar que muchos autores no hacen distinción alguna entre ellos, por lo que los nanoplásticos quedan comprendidos en los microplásticos, razón por la cual el tamaño varía ampliamente entre investigadores y que de acuerdo a la Environment and Climate Change Canada (ECCC) (ECCC, 2015), las definiciones existentes se basan principalmente en la clase de método de muestreo empleado para su caracterización del tipo de microplástico que se esté investigando. Andrady (2011) señala, por ejemplo, que investigadores han utilizado cernidores de 500  $\mu\text{m}$  y 67  $\mu\text{m}$  como límite superior e inferior para muestreo de microplásticos, mientras que otros han utilizado como límites  $< 5$  mm hasta 333  $\mu\text{m}$ . Algunas de las dimensiones propuestas para definir a los microplásticos se muestran en la Tabla 1.

Tal diversidad de dimensiones representa un obstáculo para las comparaciones de datos, lo que hace impostergable la creación de un estándar científico (Cole *et al.*, 2011). Estándar que parece ir ganando consenso en torno a los menores 5 mm en parte a la definición alcanzada durante la International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastics Marine Debris celebrada en Tacoma, Washington, USA (Arthur, 2009), dicha definición la comparten la US Environmental Protection Agency (US EPA, 2011) y el Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP, 2015), además de varios investigadores que han adoptado esa dimensión para sus investigaciones.

Tabla 1.  
 Dimensiones propuestas para definir los microplásticos

Dimensión propuesta	Autores
2-6 mm	Derraik (2002)
< 2 mm	Ryan <i>et al.</i> , (2009)
333 µm-5 mm	Arthur (2009)
< 10 mm	Graham y Thompson, (2009)
500 µm - 667 µm	Andrady, (2011)
< 4.75 mm	Eriksen <i>et al.</i> , (2014)
< 1 mm	Galoway, (2015); Browne <i>et al.</i> , (2010); Claessens <i>et al.</i> , (2011)
1 nm - 5 mm	GESAMP, (2015)
< 5 mm	Thompson <i>et al.</i> , (2004); Arthur <i>et al.</i> , (2009); Barnes <i>et al.</i> , (2009); EPA, (2011); Hohenblum <i>et al.</i> , (2015); Lassen <i>et al.</i> , (2015); Verschoor <i>et al.</i> , (2016).

Los científicos que estudian las partículas plásticas en el ambiente por lo general se refieren a las partículas < 1 µm como nanoplásticos porque se encuentra en el rango de los nanómetros (no necesariamente porque se encuentren en el rango de las nanopartículas (10-100 nm) diseñadas). Sin embargo, aún no existe un consenso para la definición

del término, pero investigadores como Koelmans *et al.* (2015a) sugieren adoptarlo para las partículas plásticas en el rango de  $< 100$  nm; rango que es utilizado para nanomateriales no polímeros e indica que la partícula es nano-dimensionada si es  $\leq 100$  nm en al menos una de sus dimensiones. Aunque aún no se ha cuantificado la abundancia de los nanoplásticos, no hay duda de que las partículas a nanoescala, se originan ya sea por diseño para productos de consumo o por la degradación de macro/microplásticos (Andrady, 2011). Leslie (2015) resume las definiciones al señalar que el término microplásticos incluye partículas en el rango de milímetros (1-5 mm), micro (1-999  $\mu\text{m}$ ) y nano (1-999 nm).

## Fuentes

Las fuentes de los residuos marinos encontrados en el mar pueden clasificarse en marinos y terrestres (Williams *et al.*, 2005), siendo estas últimas las responsables del 80%, mientras que el restante 20% se origina en actividades marinas del ser humano (Sheavly, 2005). De aquí que las dos fuentes principales de introducción de microplásticos sean la inducción directa por escorrentía y la descomposición por meteorización de los meso y macroplásticos (Andrady, 2011). A su vez, los microplásticos pueden ser subdivididos por su uso y fuente: primarios, producidos para su uso indirecto como precursores (gránulos o gránulos de resina virgen) para la producción de productos de polímero para consumo en cosméticos, exfoliantes y abrasivos; y secundarios, microplásticos producto de la fragmentación de macroplásticos en otros fragmentos más pequeños (Browne *et al.*, 2007; Galgani *et al.*, 2015).

Fuentes primarias de nanoplásticos incluyen pinturas en aerosol, adhesivos, revestimientos, celosías redispersables, productos biomédicos, suministradores de fármacos, diagnosticadores médicos, electrónicos, el magnetismo y la optoelectrónica, y recientemente se ha detectado que el corte térmico de espuma de poliestireno emite partículas de tamaño nanométrico, en el intervalo de  $\sim 22$  a  $220$  nm (Zhang *et al.*, 2012). Otros autores como Fendall y Sewell (2009) también enlistan productos para el cuidado personal y cosméticos como fuente microplásticos y nanoplásticos de hasta  $\sim 4$   $\mu\text{m}$  (gránulos, microsferas, microcápsulas, nanoesferas/cápsulas) presentes en exfoliantes o limpiadores de piel (Bhattacharya,

2015; Leslie, 2015). Finalmente, en un reciente estudio por Gigault *et al.* (2016), afirman haber encontrado pruebas irrefutables de la formación de nanoplásticos a partir de la degradación por la luz solar en los microplásticos. Lo que corrobora la existencia de varios procesos de deterioración de plásticos que dan lugar a la creación de microplásticos (Claessens *et al.*, 2011), los cuales representan una amenaza emergente, generalizada y omnipresente en todo el ambiente marino (Cole *et al.*, 2011).

Una estimación de la cantidad de microplásticos en el océano ha sido calculada por Eriksen *et al.* (2014), los cuales basándose un modelo oceanográfico de la abundancia de residuos flotantes entre 2007 y 2013 en los océanos, estimaron un mínimo de 5.25 trillones de partículas, las cuales sumarian un peso de 268,940 toneladas. Cantidad muy inferior a la calculada por van Sebille *et al.* (2015), que calculan un número entre 15 y 51 trillones de partículas, con un peso entre 93 y 236 mil toneladas métricas, que representan aproximadamente el 1% del plástico que ingresó a los océanos en el año 2010. Por otra parte, Eriksen *et al.* (2014) reportan que, al comparar cuatro categorías de tamaño, dos microplásticos, los < 4.75 mm y los meso y macroplásticos > 4.75 mm, observaron una pérdida considerable en comparación a las tasas esperadas de fragmentación, sugiriendo que existen mecanismos que eliminan los microplásticos < 4.75 mm de la superficie del océano.

Al ingresar al ambiente marino los plásticos inician un proceso de deterioración por el efecto de la meteorización química y erosión mecánica. Durante la fotodegradación, la luz solar oxida la estructura química, causando la escisión de los enlaces que reduce la masa molecular de los polímeros, dando como resultado que los plásticos se vuelvan quebradizos y se desintegren, formando pequeños fragmentos, que al ser arrojados a las costas quedan expuestos a la radiación UV y los procesos físicos controlados por el viento, corrientes, olas, mareas y abrasión de los sedimentos (Browne *et al.*, 2007; Corcoran *et al.*, 2008; Andrady, 2011). Por otra parte, también se produce un proceso de biodegradación por hongos y colonias microbianas que utilizan el carbón del polímero y lo convierten en CO<sub>2</sub> para, posteriormente, incorporarlo dentro de la biomasa marina (Gregory y Andrady, 2003; Andrady, 2011).

## **Metodologías de monitoreo**

La mayoría de metodologías de monitorización se han enfocado en los plásticos y otros residuos encontrados en las playas debido a su fácil acceso; pero a pesar de ello su aplicación es poco frecuente, por lo que sólo se tienen estimaciones aproximadas de tipo y abundancia. Ligado a lo anterior, existe un sesgo originado en el diferencial de remoción por peinado de playas (beachcombing), limpieza y dinámica de la playa (Ryan *et al.*, 2009). Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) distinguen tres estrategias principales de muestreo: selectiva, volumen reducido, y el muestreo por volumen. Metodologías que se basan en un proceso de cuatro pasos para el procesamiento de la muestra: separación por densidad, filtración, tamizado y clasificación visual de microplásticos; y aunque no existe una categorización definitiva de los microplásticos, los tipos más frecuentes de clasificación en la literatura disponible son: esféricos, fragmentos, gránulos, filamentos, películas y espuma de poliestireno; agregándose las fibras plásticas (van Cauwenberghe *et al.*, 2015). En general los microplásticos se estudian en relación a (1) muestras de plancton, (2) sedimentos arenosos y fangosos, (3) la ingestión de vertebrados e invertebrados, y (4) las interacciones de contaminantes químicos (Ivar do Sul y Costa, 2013b). La multiplicidad de clasificaciones existente para su identificación y cuantificación evita contar con criterios metodológicos que permitan hacer comparaciones espaciales y temporales estandarizados como los propuestos por la Marine Strategy Framework Directive de la Unión Europea (Galgani *et al.*, 2010). Conclusión a la que también llegaron Vandermeersch *et al.* (2015) en su investigación sobre el impacto de los microplásticos en los organismos acuáticos, donde se reporta que los niveles de captación de contaminantes, es poco clara, a consecuencia de que las metodologías de cuantificación son limitadas y no están armonizadas/estandarizadas.

## **Impacto ambiental**

Usualmente la densidad de los microplásticos es menor a la del agua, por lo que tienden a flotar en la superficie; sin embargo, esta característica asociada a su persistencia puede cambiar durante su permanencia en el océano al estar expuestos a la erosión y contaminación biológica, lo que

contribuye a su distribución por medio de los procesos hidrodinámicos y corrientes oceánicas a lo largo de la superficie del mar, la profundidad de la columna de agua, el fondo marino, playas y el hielo marino (Claessens, 2011; Galgani, 2015), lo que coadyuva a que la evaluación de riesgos asociados al plástico con los hábitats acuáticos no sea sencilla y requiera de información sobre los organismos expuestos, concentraciones, tipos de polímeros, tamaño del residuo, localización y transporte durante ese periodo exposición (Rochman, 2015). Adicionalmente, la magnitud de los efectos adversos de los microplásticos en la biota depende de los niveles de exposición. Mientras que en los nanoplásticos su impacto está relacionado a sus propiedades nano-fisicoquímicas las cuales tienen el potencial de traspasar las barreras biológicas, penetrar tejidos y acumularse en los órganos. Hoy en día se conocen cuatro tipos de peligros potenciales asociados a los microplásticos: toxicidad al ser ingeridos, contaminantes lixiviados, contaminantes que se adsorben a los microplásticos, y acumulación de partículas en los organismos (Mattsson *et al.*, 2015).

## Ingestión

La ingestión de microplásticos se da en función del tamaño, forma y densidad de las partículas, pues estas determinan su posición en la columna de agua y el potencial de disponibilidad para su ingestión por una gran cantidad de biota en ecosistemas pelágicos y bentónicos (Cole *et al.*, 2011); pues plásticos de baja densidad tienden a flotar y ser ingeridos por organismos filtradores o planctívoros, mientras que los de alta densidad tenderán a hundirse y a acumularse en los sedimentos, donde tienen mayor probabilidad de ser ingeridos por organismos consumidores de depósitos (Browne *et al.*, 2007). Situación que se ve acentuada debido a que el rango dimensional de los microplásticos es similar al del plancton, de ahí su gran potencial de impacto y de los nanoplásticos al ser ingeridos por una gran variedad de animales (Browne *et al.*, 2007; Moore, 2008) desde la base de la cadena trófica; como es el caso del zooplancton (Cole *et al.*, 2011; Frías *et al.*, 2014; Setala *et al.*, 2014). En los animales filtro alimentados, desde el nano-zooplancton a las ballenas barbadas, la carencia de vías enzimáticas disponibles para descomponer

los polímeros sintéticos tiene como resultado que los residuos no sean digeridos o absorbidos, lo que evita efectos negativos (Andrady, 2011). Sin embargo, la ingestión por la microbiota presenta el potencial de transferir contaminantes orgánicos persistentes (COPs), principalmente aquellos recolectados del agua (Bowmer y Kershaw, 2010). Asociado a lo anterior, los microplásticos favorecen la interacción entre residuos y animales al agudizar factores que atraen a los animales por su similitud con sus presas naturales, por accidente durante su alimentación o comportamiento normal. Sin embargo, a diferencia de otros impactos –enredamiento, especies invasoras y alteraciones del hábitat– que son fácilmente perceptibles, la ingestión de plásticos es muy difícil de observar (Hammer *et al.*, 2014), lo que exacerba la problemática en muchos organismos de los niveles tróficos inferiores dada su limitada capacidad para diferenciar entre los microplásticos y su alimento, lo que los hace especialmente susceptibles a ingerirlos por ser engullidores indiscriminados (Moore, 2008); al mismo tiempo que agrava el impacto en muchas especies afectadas y que son las más vulnerables y amenazadas o en peligro de extinción (NOAA, 2007). Asimismo, Richards y Berger (2011) señalan que los macroplásticos no sólo pueden causar daños mecánicos directos, sino que también pueden disminuir la capacidad de nutrición fototrófica y heterotrófica; conclusión a la que también llegaron Cole *et al.* (2013), al observar reducción en la alimentación de algas por copépodos. Estudios sobre la ingestión por organismos invertebrados y vertebrados ha sido documentada (Tabla 2) en varias investigaciones, entre las que destacan:

Tabla 2.  
 Especies en las que se ha documentado ingestión

Especie	Autores
Lombriz marina ( <i>Arenicola marina</i> ), anfípodos y percebes	Thompson <i>et al.</i> 2004
Mejillones azules	Browne, <i>et al.</i> 2008
Pepinos marinos	Graham y Thompson 2009
Ostras, mejillones, bígaros comunes y anfípodos	Leslie <i>et al.</i> 2013
Anfípodos	Chua <i>et al.</i> 2014
Erizos de mar	Della Torre <i>et al.</i> 2014, Kaposi <i>et al.</i> 2014
Isópodos	Haemer <i>et al.</i> 2014
Taxones de zooplancton	Setala <i>et al.</i> 2014
Bivalvos	van Cauwenberghe y Janssen 2014
Cangrejos	Watts <i>et al.</i> 2014
Aves y tortugas	Gregory, 2009
Fulmar del norte ( <i>Fulmarus glacialis</i> )	Gregory 2009; van Franeker <i>et al.</i> , 2011
Cigala ( <i>Nephrops norvegicus</i> )	Murray y Cowie 2011
Peces	Lusher <i>et al.</i> , 2012; Ivar do Sul y Costa, 2013a
Delfines	Di Benedetto y Ramos 2014

Ivar do Sul y Costa (2013) han comprobado en laboratorio la ingestión de microplástico por peces; hecho que ha sido confirmado por Boerger *et al.* (2010) que reportan el haber encontrado fragmentos sintéticos en el contenido intestinal del 35% de los peces planctívoros estudiados del vórtice del Pacífico norte. Otro estudio es el realizado por Watts *et al.* (2014) sobre la ingestión de microplásticos por el cangrejo de mar (*Carcinus maenas*), donde reportan que puede ocurrir a través de la inspiración branquial o alimentos expuestos. Entre tanto Brennecke *et al.* (2015) han encontrado que las nanopartículas pueden ser ingeridas por los organismos filtradores marinos como partículas primarias, aunque

es más probable que la ingesta se realice a través de materiales a los que se han incorporado (Brennecke *et al.*, 2015). Por su parte, Kuhn *et al.* (2015) informan que la interacción entre residuos y la biota marina, en especial las aves marinas, tienen también como consecuencia, facilitar accidentalmente la distribución del plástico a nivel mundial a través del biotransporte.

### **Toxicidad**

La gran capacidad de transporte, velocidad de degradación (Borga *et al.*, 2014), propiedades físicas y morfológicas de los microplásticos hace de ellos un vector de transferencia de compuestos químicos tóxicos (Hohenblum, 2015), como por ejemplo; los bifenilos policlorados (BPC), hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos del petróleo, pesticidas organoclorados (2,2'-bis (p-clorofenil)-1,1,1 tricloroetano (DDT) y sus metabolitos, junto con hexano hexaclorados (HCH), difenil éteres polibromados (PBDE), alquilfenoles y bisfenol A (BPA) en concentraciones que van desde  $\text{ng g}^{-1}$  a  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Thompson, 2009), además de otros contaminantes ya presentes en el ambiente marino como los COPs que muestran alta afinidad hacia los microplásticos (Andrady, 2011; Engler, 2012; Thevenon *at al.*, 2014; Hohenblum, 2015). También se ha reportado concentración, aunque en bajos niveles, de insecticidas, pesticidas y productos químicos industriales en microplásticos (Andrady, 2011); observación que es respaldada por Rochman (2015), que señala que dichas propiedades favorecen la acumulación de una compleja mezcla de contaminantes químicos en los plásticos, lo que hace a unos más peligrosos que otros. Investigaciones como la de Takada *et al.* (2008), reportan haber encontrado la presencia de dos tipos de microcontaminantes orgánicos en gránulos de plástico: contaminantes derivados de aditivos y contaminantes sorbidos; por lo que en base a este descubrimiento proponen utilizar los gránulos de plástico como una herramienta de monitoreo de los COPs en las aguas costeras mundiales. Esto a pesar de que según Hohenblum *et al.* (2015) la dinámica de lixiviado y adsorción de contaminantes en el ambiente por los microplásticos es aún desconocida. Por su parte, la American Chemistry Society (2010) reporta que el plástico ligero de espuma blanca, los plásticos duros y las

resinas epóxicas duras se descomponen rápidamente bajo las condiciones comúnmente encontradas en los océanos liberando sustancias potencialmente tóxicas; debiéndose esto, principalmente, a que los aditivos se separen de los polímeros, lo que facilita que se desprendan del material bajo ciertas condiciones. A este respecto se han encontrado evidencias (Sajiki y Yonekubo, 2003) de la liberación acelerada de BPA por plásticos residuales (Policarbonato) en las aguas oceánicas y degradación a través de la biodegradación bacteriana (Artham y Doble, 2009), esto a pesar de su extrema resistencia a la biodegradación debido a su alto peso molecular, hidrofobia y ausencia de especies microbianas naturales que puedan metabolizar polímeros; con excepción de los biopolímeros como la celulosa y quitina (Wang, 2015). Otras evidencias de la presencia de contaminantes es la aportada por Frías *et al.* (2010) en gránulos negros, blancos, de color y envejecidos recolectados en las costas de Portugal, cerca de Lisboa. En su análisis para detectar BPC e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) encontraron que los gránulos de color negro contenían concentraciones más altas de BPC que los envejecidos. Resultados similares son reportados en las playas de Saronikos en Grecia (Karapanagioti *et al.*, 2011)

Por otra parte, debido a su capacidad de adsorción de contaminantes los microplásticos también pueden actuar como adsorbentes de sustancias bioacumulativas y persistentes como las dioxinas del agua o sedimento, las cuales tienden a acumularse en su superficie durante su permanencia en el agua superficial contaminada, y al ser ingeridos los microplásticos incrementan el riesgo de transmisión en toda la cadena alimenticia—incluyendo el ser humano (Engler, 2012; Thevenon *et al.*, 2014).

En cuanto a la adsorción de metales traza, Holmes *et al.* (2014) han reportado que es al menos un orden de magnitud mayor en gránulos varados que en gránulos vírgenes; lo que hace suponer que se debe a la reactividad de los gránulos de plástico y a la adsorción a corto plazo de la materia orgánica, al envejecimiento y modificación a largo plazo de la superficie de los gránulos. En general la toxicidad de los microplásticos puede ser atribuida a uno o más de los siguientes factores (Andrady, 2011):

- a. Monómeros residuales o aditivos empleados durante el proceso de producción del plástico que pueden lixiviarse si el plástico es ingerido.**
- b. De la toxicidad de algunos productos intermedios de la degradación parcial del plástico.**
- c. Los contaminantes orgánicos persistentes presentes en el agua del océano pueden ser lentamente adsorbidos y concentrarse en los microplásticos.**

Modelos matemáticos por Teuten *et al.* (2009), han mostrado que incluso cantidades pequeñas de plástico pueden facilitar el transporte de contaminantes a los organismos a través de la ingestión; aunque de acuerdo a Koelmans (2015b), este depende de varios factores: primero, debe existir un gradiente que conduzca los químicos del plástico al organismo; segundo, la ingestión debe ser sustancial en comparación con otras vías de exposición; tercero, el riesgo químico de la ingestión microplástica debe relacionarse con todos los químicos del sistema plástico-organismo. Otra característica que agrega Leslie (2014), es que para que un contaminante represente un riesgo ambiental necesita haber una combinación de exposición al contaminante y que este sea peligroso.

Una vez que los organismos ingieren los microplásticos, estos pueden ser excretados o transportados dentro del organismo (Browne *et al.*, 2008; von Moos *et al.*, 2012) y dependiendo del tiempo que permanezcan en él o tarden en ser excretados, se pueden evitar los potenciales efectos nocivos (Wright *et al.*, 2013). Por su parte, Koelmans *et al.*, (2016) han concluido que en general el flujo de sustancias químicas orgánicas hidrofóbicas bioacumuladas a partir de presas naturales sobrepasa el flujo de microplásticos ingeridos para la mayoría de los hábitats, lo que implica que probablemente la ingestión microplástica no aumenta la exposición a los riesgos de químicos orgánicos hidrofóbicos en el ambiente marino.

Otra evidencia de transporte de contaminantes ha sido proporcionada por Teuten *et al.* (2009) para la pardela canosa (*Calonectris leucomelas*) y la de Tasmania (*Puffinus tenuirostris*), donde muestran que pardelas alimentadas con gránulos de plástico mostraban altas cantidades de bifenilos policlorados (BPCs) en sus tejidos. Mientras que Tanaka *et al.*

(2013) midieron las concentraciones de polibromodifenil éteres (PBDE) de los fragmentos de plástico ingeridos en los tejidos adiposos de la presa natural de las aves marinas; determinándose que dos tipos de PBDEs no se encontraron en los peces, pero estaban presentes en el plástico, lo que parece indicar la transferencia de químicos hacia las aves marinas.

Hoy en día existe desconocimiento sobre la exposición a largo plazo de cuáles son las concentraciones aceptables de plástico para el ambiente y sobre la ecotoxicidad de la mezcla de sus materiales, pero Oehlmann *et al.* (2009) han investigado los efectos biológicos de los aditivos plastificantes contenidos en los microplásticos sobre la vida silvestre, en especial en los anélidos (tanto acuáticos y terrestres), moluscos, crustáceos, insectos, peces y anfibios, y han encontrado que los ftalatos y BPA tienen efectos nocivos sobre la reproducción y desarrollo, además de producir aberraciones genéticas; siendo los moluscos, crustáceos y anfibios los más afectados a bajas concentraciones de ng/l a µg/l; además de que los ftalatos y BPA tienden a bioacumularse, aún, cuando la concentración varíe de acuerdo a la especie, individuo y tipo de plastificante (Thompson *et al.*, 2009). En contraste el efecto en peces (a excepción de la perturbación en la espermatogénesis) se efectúan a concentraciones mayores de BPA y ftalatos (Oehlmann *et al.*, 2009; Thompson *et al.*, 2009; GESAMP, 2010). La Tabla 3 muestra algunos de los efectos de los BPA en mejillones, moluscos, crustáceos y anfibios, reportados por varios investigadores.

Otras investigaciones como las Rochman *et al.* (2013) (peces), Browne *et al.* (2013) (*Arenicola marina*) y Chua *et al.* (2014) (*Allorchestes compressa*), también han observado en laboratorio los efectos negativos y transferencia de contaminantes a causa de la ingestión de microplásticos. Koelmans *et al.* (2014) reportan que los productos químicos transferidos al tracto gastrointestinal dependen de la fugacidad del químico y del tejido de los organismos, que para los COPs y químicos hidrofóbicos en general son los lípidos. Investigadores como Besseling *et al.* (2013), Browne *et al.* (2013) y Rochman *et al.* (2013) han observado que la ingestión de microplásticos contaminados pueden transmitir los contaminantes en concentraciones suficientes para interrumpir las funciones ecofisiológicas relativas a la salud y biodiversidad, aunque la tasa

de desorción está en función de la composición química de los materiales del plástico, los contaminantes adsorbidos y condiciones ambientales.

Tabla 3.  
Efectos de BPA y ftalatos en mejillones (*Mytilus edulis*)

Especie	Efectos	Autores
Moluscos, crustáceos y anfibios	Interfieren en el funcionamiento de diversos sistemas hormonales (con algunos ftalatos teniendo vías de interrupción mayores)	Thevenon <i>et al.</i> , 2014
Mejillones ( <i>Mytilus edulis</i> )	Se ha detectado la transferencia de microplásticos al sistema circulatorio	Browne <i>et al.</i> , 2008
	Inducen una respuesta mayor de inmunidad a nivel molecular	Zarfl <i>et al.</i> , 2011
	Reducción en actividad filtro alimentadora	Wegner <i>et al.</i> , 2012
	Se han detectado translocación de microplásticos a la hemolinfa del organismo	Browne <i>et al.</i> , 2008
	Se han detectado niveles de una partícula por gramo en tejidos comestibles	van Cauwenberghe <i>et al.</i> , 2012
	Formación de granulomas (respuesta inflamatoria) Disminución de la estabilidad de los lisosomas y el aumento de los hemocitos	Von Moos <i>et al.</i> , 2012

Por su parte Lee *et al.* (2013) han observado que la exposición de copépodos a partículas mayores a 0.05  $\mu\text{m}$  y concentraciones mayores a 12.5  $\mu\text{g/l}$ , producen reducción de fecundidad, mientras que Bhattacharya *et al.* (2010) observaron reducción en la fotosíntesis en las algas verdes (*Chlorophyta*) al exponerse a nanopartículas de poliestireno de entre 1.8 y 6.5  $\text{mg/L}$ , quizá como consecuencia de la reducción el flujo en la intensidad de luz y aire (Koelmans, 2015). Sobre la presencia de tóxicos en peces se han realizado investigaciones (Tabla 4), así como en las ballenas de aleta (*Balaenoptera physalus*) Fossi *et al.* (2012, 2015) han estudiado los efectos tóxicos de los ftalatos. Mientras que en tortugas verdes (*Chelonia mydas*) se ha investigado el impacto de los COPs, bifenilos policlorados, y éteres polibromodifenil (van de Merwe *et al.*, 2009).

Tabla 4.  
 Investigaciones sobre la presencia de tóxicos en peces

Investigación	Autores
Bioacumulación de cloruro de vinilo	Lyman <i>et al.</i> , (1982)
Presencia de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo p-dioxina (TCDD) Documenta la alta potencia de las dioxinas en bajas concentraciones y su alteración del desarrollo endocrino, reproductivo, pro genie, y sistemas inmunológico y nervioso.	Gatehouse, (2004)
Bisfenol A	Oehlmann, (2009)
Relación entre transferencia de químicos peligrosos y estrés hepático	Rochman <i>et al.</i> , (2013b)

### Alteración de hábitat e introducción de especies invasoras

Los microplásticos también amenazan la biodiversidad oceánica al destruir los hábitats. Una vez en el océano los plásticos terminan asentándose en el fondo con el transcurrir del tiempo, aumentando su concentración con consecuencias impredecibles para los ecosistemas marinos (Katsanevakis y Katsarou, 2004), pues afectan la calidad del agua y de sus hábitats, ya que los residuos atrapados pueden causar un aumento en la sedimentación y turbidez, bloqueando la tan necesaria luz solar o asfixiando los lechos de algas o corales (Sheavly, 2005). Otros impactos son la acumulación de tóxicos en sedimentos, los cuales posteriormente son ingeridos por lombrices marinas, holoturias y crustáceos (Thompson *et al.*, 2005), la asfixia, turbidez, abrasión de tejidos y mortalidad de los corales, además de mostrarse una correlación negativa significativa entre el nivel de cubierta de coral duro y la cobertura de los desechos marinos (Richards y Berger, 2011).

Los residuos naturales siempre han transportado organismos entre hábitats cercanos y lejanos, pero con la introducción de plástico a los océanos se proveyó a muchas especies marinas con un medio de excepcionales características: durabilidad y flotabilidad. Características que ofrecen un sustrato adecuado para la colonización, lo que aunado a su transporte por corrientes y vientos marinos favorecen el traslado

y dispersión (horizontal o vertical desde la superficie a través de la columna de agua hasta el lecho marino) de especies invasoras a hábitats no nativos de alrededor del mundo amenazando la biodiversidad, alterando hábitats y provocando pérdida de especies (Barnes, 2002<sup>a</sup>; Barnes y Milner, 2005; Hammer *et al.*, 2012; Kuhn, 2015) en los ecosistemas de los litorales, intermareales y de la costa (Gregory, 1991, 1999).

Harrison *et al.* (2014) han documentado, en estudios de laboratorio, que los residuos de polietileno de baja densidad de los microplásticos pueden ser colonizados rápidamente por organismos incrustados o adheridos en tan sólo 14 días. Tales organismos pueden ser bacterias, diatomeas, algas, percebes, guérridos, hidroides y urocordados o tunicados, que una vez instalados en su nuevo hábitat pueden crecer masivamente, y con el tiempo, pueden dañar o competir con las especies nativas (Sheavly, 2005; Majer *et al.*, 2012; Kiessling *et al.*, 2015), por lo que es necesario el investigar que sucede cuando los residuos llegan al océano.

En las últimas cuatro décadas la contaminación de microplásticos se ha duplicado en el vórtice del Pacífico norte, lo que ha favorecido un incremento en la oviposición al aumentar el sustrato que limitaba la reproducción de varias especies (Goldstein *et al.*, 2012); por ejemplo, el *Halobates sericeus* en el que se ha observado un incremento positivo en su oviposición con respecto al aumento de microplásticos en el océano (Majer *et al.*, 2012).

## **Conclusiones**

La creciente producción de plásticos y su ingreso a los océanos presenta una serie de riesgos potenciales directos e indirectos para la vida marina—y humana. Los riesgos asociados a los microplásticos y nanoplásticos son variados y dependen de factores como concentración de contaminantes, tiempo de exposición, grado de peligrosidad del tóxico, y de la especie afectada. Riesgos que hacen urgente la necesidad de crear un estándar dimensional para los micro y nanoplásticos que permitan la comparación de información entre la comunidad científica; así como el desarrollo de métodos experimentales para la obtención de datos, muestreo, cuantificación, detección y destino de los micro y nanoplásticos,

conocimiento de los procesos y tasas de degradación; e investigaciones sobre los impactos en los organismos marinos.

## Bibliografía

- ALVAREZ-Zeferino, J.C.; Ojeda-Benítez S., Cruz-Salas A.A.; Martínez-Salvador C.; Vázquez-Morillas A. (2020). Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, DOI:10.1016/j.resconrec.2019.104633
- AMERICAN CHEMISTRY SOCIETY. (2010). Hard plastics decompose in oceans, releasing endocrine disruptor BPA. Extraído el 16 de febrero del 2016 desde: <https://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/newsreleases/2010/march/hard-plastics-decompose-in-oceans-releasing-erine-disruptor-bpa.html>
- ANDRADY, G. (2011). “Microplastics in the marine environment”. *Mar. Pollut. Bull.* 62: 1596–1605. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.05.030
- ARTHAM, T. y Doble. M. (2009). “Fouling and degradation of polycarbonate in seawater: Field and lab studies”. *Journal of Polymers and the Environment*, 17: 170-180. DOI: 10.1007/s10924-009-0135-x
- ARTHUR, C.J. Baker, J.; Bamford H. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. Sept 9-11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- BARNES, D. K. A. (2002a). “Biodiversity: invasions by marine life on plastic debris”. *Nature*, 416(6883): 808-809. DOI:10.1038/416808a
- BARNES, D.K.A. y Milner P. (2005). “Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean”. *Marine Biology* 146: 815-825. DOI 10.1007/s00227-004-1474-8
- BARNES, D.K.A.; Galgani, F.; Thompson, R.C.; Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc. B: Biological Sciences* 364, 1985–1998. DOI:10.1098/rstb.2008.0205
- BESSELING, E.; Wegner, A.; Foekema, E.M.; van Den Heuvel-Greve, M.J.; Koelmans, A. A. (2013). “Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.)”. *Environ. Sci. Technol.* 47: 593-600. DOI: 10.1021/es302763x

- BHATTACHARYA, P.; Lin, S.; Turner, J.P. ; Pu, C.K. (2010). Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis. *J. Phys. Chem. C* 114 (39): 16556-16561. DOI: 10.1021/jp1054759
- BHATTACHARYA, P. (2015). “A review on the impacts of microplastics beads used in cosmetics”. *Acta Biomedica Scientia*. 2016; 3 (1):47-51.
- BOERGER, C.M.; Lattin, G.L.; Moore, S.L.; Moore, C.J.; (2010). “Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre”. *Mar. Pollut. Bull.* 60: 2275–2278. DOI:10.1016/j.marpolbul.2010.08.007
- BORGA, K.; Fisk, A.T.; Hoekstra, P.F.; Muir, D.C.G. (2004). “Biological and chemical factors of importance in the bioaccumulation and trophic transfer of persistent organochlorine contaminants in Arctic marine food webs”. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23 (10): 2367-2385. DOI: 10.1897/03-518
- BOWMER, T. y Kershaw, P. (2010). Proceedings of the GESAMP International Workshop on Micro-plastic Particles as a Vector in Transporting Persistent, Bio-accumulating and Toxic Substances in the Oceans June 2010. UNESCO-IOC, Paris.
- BRENNECKE, D.; Ferrira, E.C.; Costa, T.M.M.; Appel, D.; da Gama, B.A.P.; Lenz, M. (2015). “Ingested microplastics (>100  $\mu$ m) are translocated to organs of the tropical fiddler crab *Uca rapax*”. *Mar. Pollut. Bull.* 96 (2015) 491–495. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2015.05.001
- BROWNE, M.A.; Galloway, T.; Thompson, R. (2007). Microplastic – An Emerging Contaminant of Potential Concern? Integrated Environmental Assessment and Management. (3) 4: 559-566. DOI: 10.1897/IEAM\_2007-048
- BROWNE, M.A.; Dissanayake, A.; Galloway, T.S.; Lowe, D.M.; Thompson, R.C. (2008). “Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L)””. *Environmental Science & Technology*. 42, 5026-5031. DOI: 10.1021/es800249a

- BROWNE, M.A.; Galloway, T.S.; Thompson, R.C. (2010). “Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines”. *Environ. Sci. Technol.* 44, 3404– 3409. DOI: 10.1021/es903784e
- BROWNE, M.A.; Crump, P.; Niven, S.J.; Teuten, L.E.; Tonkin, A.; Galloway, T.; Thompson, R.C. (2011). “Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks”. *Environ. Sci. Technol.* 1-17. DOI: 10.1021/es201811s
- BROWNE, M. A.; Niven, S. J.; Galloway, T. S.; Rowland, S. J.; Thompson, R. C. (2013). “Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity”. *Current Biology*, 23(23): 2388-2392. DOI: 10.1016/j.cub.2013.10.012
- CHUA, E. M.; Shimeta, J.; Nugegoda, D.; Morrison, P. D.; Clarke, B.O. (2014). “Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by marine amphipod, *Allorchestes compressa*”. *Environ. Sci. Technol.* 48(14): 8127-34. DOI: 10.1021/es405717z
- CLAESSENS, M.; Meester, S.D.; Landuyt, L.V.; Clerck, K.D.; Jansen, C.R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar. Pollut. Bullet.* 62, 2199–2204. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.06.030
- COLE, M.; Lindeque, P.; Halsband, C.; Galloway, T.S. (2011). “Microplastics as contaminants in the marine environment: A review”. *Mar. Pollut. Bullet.* 62 (2011) 2588–2597. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.09.025
- COLE, M.; Lindeque, P.; Fileman, E.; Halsband, C.; Goodhead, R.; Moger, J.; Galloway, T.S. (2013). “Microplastic ingestion by zooplankton”. *Environ. Sci. Technol.* 47: 6646-6655. dx.doi.org/10.1021/es400663f
- CORCORAN, P.L.; Biesinger, M.C.; Grifi, M. (2008). “Plastics and beaches: A degrading relationship”. *Mar. Pollut. Bullet.* 58 (2009) 80–84. DOI:10.1016/j.marpolbul.2008.08.022
- CRUZ-SALAS A.A.; Vázquez-Morillas A.; Álvarez-Zeferino J.C. (2022). “Microplásticos en playas: realidad y percepción”. *Ciencia*, 73 (2).
- DELLA TORRE, C.; Bergami, E.; Salvati, A.; Faleri, C.; Cirino, P.; Dawson, K.A.; Corsi, I. (2014). “Accumulation and Embryotoxicity

- of Polystyrene Nanoparticles at Early Stage of Development of Sea Urchin Embryos *Paracentrotus lividus*". *Environ. Sci. Technol.* 48, 12302-12311.
- DERRAIK, J.G.B. (2002). "The pollution of the marine environment by plastic debris: a review". *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842–852. DOI: 10.1016/S0025-326X(02)00220-5
- DI BENEDITTO, A. y Ramos, R. (2014). "Marine debris ingestion by coastal dolphins: what drives differences between sympatric species?" *Mar. Pollut. Bull.* 83: 298–301. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.03.057
- ECCC (Environment and Climate Change Canada) (2015). Microbeads – A Science Summary. Extraído el 10 de enero del 2017 desde: [https://www.ec.gc.ca/ese-ees/ADDA4C5F-F397-48D5-AD17-63F989EB-D0E5/Microbeads\\_Science%20Summary\\_EN.pdf](https://www.ec.gc.ca/ese-ees/ADDA4C5F-F397-48D5-AD17-63F989EB-D0E5/Microbeads_Science%20Summary_EN.pdf)
- ENGLER, R.E. (2012). "The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean". *Environ Sci Technol.* 46(22):12302–15. DOI: 10.1021/es3027105
- ERIKSEN, M.; Lebreton, L.C.M.; Carson, H.S.; Thiel, M.; Moore, C.J.; Borerro, J.C.; ... Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* 9(12): e111913. DOI:10.1371/journal.pone.0111913
- FENDALL L. S. y Sewell, M. A. (2009). "Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers". *Mar. Pollut. Bull.* 58: 1225–1228. DOI:10.1016/j.marpolbul.2009.04.025
- FOSSI, M.C.; Panti, C.; Guerranti, C.; Coppola, D., Giannetti, M.; Marsili, L. y Minutoli, R. (2012). "Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*)". *Mar. Pollut. Bull.* 64 : 2374-2379. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.08.013
- FOSSI, M.C.; Marsili, L.; Bainsi, M.; Giannetti, M.; Coppola, D.; Guerranti, C.; Panti, C. (2015). "Fin whales and microplastics: The Mediterranean Sea and the Sea of Cortez scenarios". *Environmental Pollution.* 209 (2016) 68-78. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.11.022

- FRÍAS, J.P.G.L.; Sobral, P.; Ferreira, A.M. (2010). "Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast". *Mar. Pollut. Bull.* 60, 1988-1992. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.030
- FRÍAS, J.P.G. L.; Otero, V.; Sobral, P. (2014). "Evidence of Microplastics in Samples of Zooplankton from Portuguese Coastal Waters". *Marine Environmental Research.* 95, 89-95. DOI: 10.1016/j.marenvres.2014.01.001
- GALGANI, F.; Fleet, D.; van Franeker, J. A.; Katsanevakis, S.; Maes, T.; Mouat, J.; ... Janssen, C. R. (2010). Marine Strategy Framework Directive, Task Group 10 Report: Marine Litter. In *JRC Scientific and Technical Reports* (ed. N. Zampoukas). Ispra: European Commission Joint Research Centre. DOI: DOI 10.2788/86941.
- GALGANI, F.; Hanke, G.; Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. In M. Bergman, L. Lars, M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 29-56). Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.
- GALLOWAY, T.S. (2015). Micro- and Nano-plastics and Human Health. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 313-328). Berlin: Springer. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3\_13
- GATEHOUSE, R. (2004). Ecological Risk Assessment of Dioxins in Australia, National Dioxins Program Technical Report No. 11. Australian Government Department of the Environment and Heritage, Canberra.
- GESAMP (2010). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection; Bowmer, T. and Kershaw, P.J. (Eds.), Proceedings of the GESAMP International Workshop on plastic particles as a vector in transporting persistent, bio-accumulating and toxic substances in the oceans. GESAMP Rep. Stud. No. 82, 68 pp.
- GESAMP (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.

- GIGAULT, J.; Pedrono, B.; Maxit, B.; Halle, A.T. (2016). “Marine plastic litter: the unanalyzed nano-fraction”. *Royal Society of Chemistry*. DOI: 10.1039/c6en00008h
- GOLDSTEIN, M. C.; Rosenberg, M.; Cheng, L. (2012). “Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect”. *Biology Letters*. 8(5): 817-820. DOI: 10.1098/rsbl.2012.0298
- GRAHAM, E.R. y Thompson, J.T. (2009). “Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (Echinodermata) ingest plastic fragments”. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 368, 22–29. DOI:10.1016/j.jembe.2008.09.007
- GREGORY, M.R. (1991). “The hazards of persistent marine pollution: drift plastics and conservation islands”. *Journal of the Royal Society of New Zealand*. 21, 83–100. DOI: 10.1080/03036758.1991.10431398
- GREGORY, M.R. (1999). “Plastics and South Pacific Island shores: environmental implications”. *Ocean and Coastal Management*. 42: 603–615. DOI: 10.1016/S0964-5691(99)00036-8
- GREGORY, M.R. y Andrady, A.L. (2003). Plastic in the marine environment. In: Andrady AL, editor. *Plastics and the environment*. New York (NY): John Wiley. p 379– 401. DOI: 10.1002/0471721557.ch10
- GREGORY, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings – entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking, and alien invasions. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364: 2013-2026. DOI:10.1098/rstb.2008.0265
- HAEMER, J.; Gutow, L.; Koehler, A. y Saborowski, R. (2014). “Fate of Microplastics in the Marine Isopod *Idotea emarginata*. *Environ*”. *Sci. Technol*. 48, 13451-13458. DOI: 10.1021/es501385y
- HALL, N.M.; Berry, K.L.E.; Rintoul, L. y Hoogenboom, M.O. (2015). “Microplastic ingestion by scleractinian corals”. *Marine Biology*, 162(3), 725-732. DOI: 10.1007/s00227-015-2619-7
- HAMMER, J.; Kraak, M. H.; y Parsons, J. R. (2012). “Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift”. *Rev Environ Contam Toxicol*. 220: 1-44. DOI 10.1007/978-1-4614-3414-6\_1
- HAMMER, J.; Diamant, S.; Christiane, P.; Osborn, K. (2014). Plastic in the marine environment. In Boyant Slat (Ed.), *How the oceans*

- can clean themselves: A feasibility study* (pp. 50-51). Netherlands: Ocean Cleanup Fundation.
- HARRISON, J.P.; Schratzberger, M.; Sapp, M.; Osborn, A.M. (2014). “Rapid bacterial colonization of low-density polyethylene microplastics in coastal sediment microcosms”. *BMC Microbiology*. 14: 232. DOI:10.1186/s12866-014-0232-4
- HIDALGO-RUZ, V.; Gutow, L.; Thompson, R.C.; y Thiel, M. (2012). “Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification”. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3060–3075. DOI: 10.1021/es2031505.
- HOHENBLUM, P.; Liebmann, B.; Liedermann, M. (2015). *Plastic and micriplastic in the environment*. Vienna: Environmental Agency Austria.
- HOLMES, L.A.; Turner, A.; Thompson, R.C. (2014). “Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions”. *Mar. Chem.* DOI: 10.1016/j.marchem.2014.06.001
- IVAR do Sul, J.A.; Costa, M.F.; Barletta, M. y Cysneiros, F.J.A. (2013). “Pelagic microplastics around an archipelago of the Equatorial Atlantic”. *Mar. Pollut. Bull.* DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.07.040
- IVAR do Sul J.A. y Costa M.F. (2013b). “The present and future of microplastic pollution in the marine environment”. *Environmental Pollution*. 185 352-364. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.10.036.
- JAMBECK, J. R.; Geyer, R.; Wilcox, C.; Siegler, T. R.; Perryman, M.; Andrady, A.; ... Law, K. L. (2015). “Plastic waste inputs from land into the ocean”. *Science*. 347(6223), 768-771. DOI: 10.1126/science.1260352
- KAPOSI, K.L.; Mos, B.; Kelaher, B.P.; Dworjanyn, S.A. (2014). “Ingestion of microplastic has limited impact on a marine larva. *Environ. Sci. Technol.* 48(3), 1638-1645. DOI: 10.1021/es404295e
- KARAPANAGIOTI, H.K.; Endo, S.; Ogata, Y.; Takada, H. (2011). “Diffuse pollution by persistent organic pollutants as measured in plastic pellets sampled from various beaches in Greece”. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 312-317. doi:10.1016/j.marpolbul.2010.10.009
- KATSANEVAKIS, S. y Katsarou, A. (2004). “Influences on the distribution of marine debris on the seafloor of shallow coastal areas in

- Greece (Easter Mediterranean)”. *Water, Air, and Soil Pollution*. xxx: 1-13, DOI: 10.1023/B:WATE.0000049183.17150.df
- KIESSLING, T.; Gutow L.; Thiel, M. (2015). Marine litter as a habitat and dispersal vector. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 141–181). Berlin: Springer. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3\_6
- KOELMANS, A.A.; Besseling, E.; Foekema, E.M. (2014). “Leaching of plastic additives to marine organisms”. *Environmental Pollution*. 187: 49–54. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.12.013
- KOELMANS, A.A.; Besseling, E.; Shim, W. (2015a). Nanoplastics in the Aquatic Environment. Critical Review. En M. Bergmann, L. Gutow y M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 313–328). Berlin: Springer. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3\_12
- KOELMANS, A. A. (2015b). Modeling the role of microplastics in bioaccumulation of organic chemicals to marine aquatic organisms. Critical review. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 313–328). Berlin: Springer. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3\_11
- KOELMANS, A.A.; Bakir, A.; Burton, G.A.; Janssen, C.R. (2016). “Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies”. *Environ. Sci. Technol.* DOI: 10.1021/acs.est.5b06069
- KUHN, S.; Bravo, E. L.; van Franeker, J. A. (2015). “Deleterious Effects of Litter on Marine Life”. *Marine Anthropogenic Litter*. 75-116. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3\_4
- LASSEN, C.; Hansen, S.F.; Magnusson, K.; Noren, F.; Bloch hartman, N.I.; Jensen, P.R.;... Brinch, A. (2015). Microplastics: occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. Environmental project No. 1793, 2015. The Danish Environmental Protection Agency.
- LEE, K.W.; Shim, W.J.; Kwon O.Y.; Kang J.H. (2013). “Size-dependent effects of micro polystyrene particles in the marine copepod *Tigriopus japonicas*”. *Environmental Science & Technology*. 47, 11278–11283. DOI: 10.1021/es401932b

- LESLIE, H.A.; van Velzen, M.J.M, Vethaak. A.D. (2013). Microplastic survey of the Dutch environment. Institute for Environmental Studies (IVM), VU University, Report R-13/11.
- LESLIE, H.A. (2014). Review of Microplastics in Cosmetics Scientific background on a potential source of plastic particulate marine litter to support decision-making. IVM Institute for Environmental Studies.
- LESLIE, H.A. (2015). Plastic in cosmetics: Are we polluting the environment through our personal care? Plastic ingredients that contribute to marine microplastic litter. United Nations Environment Programme (UNEP).
- LUSHER, A.L.; McHugh, M.; Thompson, R.C. (2012). “Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel”. *Mar. Pollut. Bull.* DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.028
- LYMAN, W.J.; Reehl, W.F.; Rosenblatt, D.H. (1982). *Handbook of chemical property estimation methods. Environmental behaviour of Organocompounds*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- MAJER, A. P.; Vedolin, M. C.; Turra, A. (2012). “Plastic pellets as oviposition site and means of dispersal for the ocean-skater insect *Halobates*”. *Mar. Pollut. Bull.* 64, 1143–1147. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.03.029
- MATTSSON, K.; Hansson, L.A.; Cedervall, T. (2015). Nano-plastics in the aquatic environment. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*. DOI: 10.1039/c5em00227c
- MOORE, C.J. (2008). “Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat”. *Environmental Research* 108 (2008) 131–139. DOI: 10.1016/j.envres.2008.07.025
- MURRAY, F. y Cowie, P.R. (2011). “Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758)”. *Mar. Pollut. Bull.* 62 (2011) 1207–1217. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.03.032
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2007). Turning the tide on trash: learning guide on marine debris. USA: National Oceanic and Atmospheric Administration. Extraído el 17 de agosto del 2016 desde: <https://marinedebris.noaa.gov/turning-tide-trash>

- OBBARD, R.W.; Sadri, S.; Wong, Y.Q.; Khitun, A.A.; Baker, I.; Thompson, R. C. (2014). “Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice”. *Earth’s Future*. 2(6), 315-320. DOI: 10.1002/2014EF000240
- OEHLMANN, J.; Schulte-Oehlmann, U.; Kloas, W.; Jagnytsch, O.; Lutz, I.; Kusk, K.O.; Tyler, C.R. (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 364: 2047-2062. DOI:10.1098/rstb.2008.0242
- RICHARDS, Z. T. y Beger, M. (2011). “A quantification of the standing stock of macro-debris in majuro lagoon and its effect on hard coral communities”. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1693–1701. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.06.003
- ROCHMAN, C.M.; Browne, M.A.; Halpern, B.S.; Hentschel, B.T, Hoh, E.; Karapanagioti, H.K,... Thompson, R.C. (2013). “Policy: Classify plastic waste as hazardous”. *Nature*. 494: 169-171. DOI:10.1038/494169a
- ROCHMAN, C.; Hah, E.; Kurobe, T.; Teh, S.H. (2013b). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci Rep*, 3: 3263. DOI: 10.1038/srep03263
- ROCHMAN C. M. (2015). The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 117–140). Berlin: Springer. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3\_5
- RYAN, P.G.; Moore, C.J.; van Franeker, J.A.; Moloney, C.L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Phil. Trans. R. Soc. B: Biological Sciences* 364, 1999–2012. DOI:10.1098/rstb.2008.0207
- SAJIKI, J. y Yonekubo, J. (2003). Leaching of bisphenol A (BPA) to seawater from polycarbonate plastic and its degradation by reactive oxygen species. *Chemosphere* 51 (2003) 55–62. DOI: 10.1016/S0045-6535(02)00789-0
- SETALA, O.; Fleming-Lehtinen, V.; Lehtiniemi, M. (2014). “Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web”. *Environmental Pollution*. 185: 77-83. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.10.013

- SHEAVLY S.B. (2005). Marine debris – an overview of a critical issue for our oceans. Sixth Meeting of the UN Open-ended Informal Consultative Processes on Oceans & the Law of the Sea. Extraído el 17 de marzo del 2106 desde: [http://www.un.org/Depts/los/consultative\\_process/consultative\\_process.htm](http://www.un.org/Depts/los/consultative_process/consultative_process.htm)
- TAKADA, H.; Mato, Y.; Endo, S.; Yamashita, R.; Zakaria, M.P. (2008). Pellet Watch: Global Monitoring of Persistent Organic Pollutants (POPs) using Beached Plastic Resin Pellets.
- TANAKA, K.; Takada, H.; Yamashita, R.; Mizukawa, K.; Fukuwaka, M. A.; y Watanuki, Y. (2013). “Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics”. *Mar. Pollut. Bull.* 69: 219-222. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.12.010
- TEUTEN, E.I.; Saquing, J.M.; Knappe D.R.U.; Barlaz, M.A.; Jonsson, S.; Bjorn, A.;... Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Phil. Trans. R.Soc. B* (2009) 364: 2027-2045. DOI:10.1098/rstb.2008.0284
- THEVENON, F.; Carroll C.; Sousa J. (editors). (2014). *Plastic Debris in the Ocean: The Characterization of Marine Plastics and their Environmental Impacts, Situation Analysis Report*. Gland, Switzerland: IUCN. 52 pp. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2014.03.en
- THOMPSON, R. C.; Olsen, Y.; Mitchell, R. P.; Davis, A.; Rowland, S. J.; John, A.;... Russell, A. E. (2004). “Lost at sea: where is all the plastic?” *Science*. 304, 838. DOI: 10.1126/science.1094559
- THOMPSON, R.; Moore, C.; Andrady, A.; Gregory, M.; Takada, H. y Weisberg, S. (2005). “New directions in plastic debris”. *Science*. Vol. 310, Issue 5751, pp. 1117 DOI: 10.1126/science.310.5751.1117b.
- THOMPSON, R.C.; Moore, C.J.; vom Saal, F.S.; Swan, S.H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2009) 364: 2153–2166. DOI:10.1098/rstb.2009.0053
- US EPA (2011). *Marine Debris in the North Pacific. Marine Debris in the North Pacific. A Summary of Existing Information and Identification of Data Gaps*. EPA-909-R-11-006. San Francisco: U.S. Environmental Protection Agency.

- VAN Cauwenberghe, L.; Claessens, M.; Vandegheuchte M.; Janssen C. (2012). Occurrence of microplastics in *Mytilus edulis* and *Arenicola marina* collected along the French-Belgian-Dutch coast. Gent University, Belgium Poster presentation. Extraído el 20 de enero del 2017 desde: <http://www.vliz.be/imisdocs/publications/232529.pdf>
- VAN Cauwenberghe, L.; Vanreusel, A.; Mees, J.; Janssen, C.R. (2013). “Microplastic pollution in deep-sea sediments”. *Environ Pollut.* 182:495–499. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.08.013
- VAN Cauwenberghe, L. y Janssen, C.R. (2014). “Microplastics in bivalves cultured for human consumption”. *Environmental Pollution.* 193, 65-67. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.06.010
- VAN Cauwenberghe, L.; Devriese, L.; Galgani, F.; Robbens, J.; Janssen, C.R. (2015). “Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects”. *Marine Environmental Research.* DOI: 10.1016/j.marenvres.2015.06.007.
- VAN Franeker, J. A.; Blaize, C.; Danielsen, J.; Fairclough, K.; Gollan, J.; Guse, N.;... Turner, D.M. (2011). “Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea”. *Environmental Pollution.* 159, 2609–2615. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.06.0 08
- VAN de Merwe, J.O.; Hodge, M.; Olszowy, H.A.; Whittier, J.M.; Ibrahim, K. y Lee, S.Y. (2009). Chemical Contamination of Green Turtle (*Chelonia mydas*) Eggs in Peninsular Malaysia: Implications for Conservation and Public Health. DOI:10.1289/ehp.0900813
- VAN Sebille, E.; Wilcox, C.; Lebreton, L.; Maximenko, N.; Hardesty, B.D.; van Franeker J.A.;... Law, K.L. (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environ. Res. Lett.* 10 (2015) 124006. DOI:10.1088/1748-9326/10/12/124006
- VANDERMEERSCH, G.; van Cauwenberghe, L.; Janssen, C. R.; Marques, A.; Granby, K.; Fait, G.;... Devriese, L. (2015). A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms. *Environ. Res.* (2015), DOI: 10.1016/j.envres.2015.07.016i
- VERSCHOOR, A.; de Poorter, L.; Dröge, R.; Kuenen, J.; de Valk, E. (2016). Emission of microplastics and potential mitigation measures: Abrasive cleaning agents, paints and tyre wear. RIVM Report

- 2010-0026. Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment.
- VON Moos, N.; Burkhardt-Holm, P.; Koehler, 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. DOI: 10.1021/es302332w
- WANG, J.; Tan, Z.; Peng, J.; Qiu, Q.; Li, M. (2015). “The behaviors of microplastics in the marine environment”. *Marine Environmental Research*. 113: 7-17. DOI: 10.1016/j.marenvres.2015.10.014
- WATTS, A.J.R.; Lewis, C.; Goodhead, R.M.; Beckett, S.J.; Moger, J.; Tyler, C.R.; Galloway, T.S. (2014). “Uptake and Retention of Microplastics by the Shore Crab *Carcinus maenas*”. *Environ. Sci. Technol.* 48, 8823-8830. DOI: 10.1021/es501090e
- WEGNER, A.; Besseling, E.; Foekema, E.M.; Kamermans, P.; Koelmans, A.A. (2012b). “Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.)”. *Environ. Toxicol. Chem.* 31, 2490-2497. DOI: 10.1002/etc.1984
- WILLIAMS, A.T.; Gregory, M.; Tudor, D.T. (2005). Marine debris – onshore, offshore, seafloor. Encyclopaedia of Coastal Processes, (ed.), M. L Schwartz. 623-628, Springer,
- WOODALL, L.C.; Sanchez-Vidal, A.; Canals, M.; Paterson, G.L.; Coppock, R.; Sleight, V.;... Thompson, R.C. (2014). “The deep sea is a major sink for microplastic debris”. *Royal Society Open Science*. 1(4), 140317. DOI: 10.1098/rsos.140317
- WRIGHT, S.L.; Thompson, R.C.; Galloway, T.S. (2013). “The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review”. *Environmental Pollution*. 178: 483–92. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.02.031
- ZARFL, C.; Fleet, D. Fries, E.; Galgani, F.; Gerdts, G.; Hanke, G.; Matthies, M. (2011). “Microplastics in oceans”. *Mar. Pollut. Bull.* 62 (2011) 1589–1591. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.02.040
- ZHANG, H.; Kuo, Y.Y.; Gerecke, A. C.; Wang, J. (2012). “Co-release of hexabromocyclo- decane (HBCD) and nano- and microparticles from thermal cutting of polystyrene foams”. *Environmental Science and Technology*. 46: 10990–10996. DOI: 10.1021/es302559v