

Máster en Avances en Radiología Diagnóstica y Terapéutica y Medicina Física

Trabajo Fin de Máster

IMPLICACIONES DE LA EXPOSICIÓN A MICROPLÁSTICOS EN SALUD HUMANA



Olga Delgado Fimia

Tutora: Mariana F. Fernández



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Departamento de Radiología y Medicina Física

Facultad de Medicina

Universidad de Granada

Granada, 2019

Índice

Resumen	2
Abstract.....	3
1. Introducción	4
2. Objetivo.....	10
3. Material y Métodos	11
3.1. Identificación y selección de datos.....	11
3.2. Criterios de inclusión y exclusión.....	11
3.3. Diagrama de flujo	12
4. Resultados	13
1.Exposición a microplásticos en el medio ambiente	13
1.1. Microplásticos en el Medio Acuático.....	13
1.2. Microplásticos en el Aire	15
1.3. Microplásticos en la Dieta	16
2. Relación entre exposición a microplásticos y efectos adversos en salud.....	19
5. Discusión.....	22
6. Bibliografía.....	26

Resumen

Prácticamente todo lo que nos rodea incluye en su fabricación algún tipo de plástico, y el uso y consumo de estos elementos no ha dejado de aumentar en las últimas décadas.

Además de contaminar, los plásticos no se reciclan adecuadamente, favoreciendo la degradación de los mismos y su paso a los seres vivos, especialmente a los de ecosistemas acuáticos, encontrándose en la mayoría de ellos partículas plásticas de diferentes tamaños (micro y/o nanoplásticos), que pueden pasar al ser humano a través de su ingesta. Se han cuantificado partículas de micro y nanoplásticos en diferentes entornos, organismos y productos destinados al consumo humano, por lo que todos estamos expuestos a estos contaminantes a través de diferentes vías de exposición (aire, agua y dieta).

La evidencia de alteraciones producidas en los animales expuestos a microplásticos está documentada. Se sabe que atraviesan tejidos y órganos, desencadenando estrés oxidativo, inflamación y daño celular, así como respuestas inmunes localizadas, entre otros deterioros. Además, las partículas muy finas son capaces de atravesar las membranas celulares, la barrera hematoencefálica y la placenta. A estos efectos hay que añadir los causados por la exposición de los monómeros químicos que los constituyen, además de otros contaminantes químicos y biológicos agregados o adsorbidos durante su producción, o procedentes del medioambiente.

La revisión bibliográfica realizada en el presente trabajo constata que aún no se disponen de suficientes estudios que demuestren la peligrosidad de estas partículas para la salud humana y hace falta realizar más estudios epidemiológicos con este objetivo. No obstante, en situaciones ocupacionales particulares donde la exposición a estos contaminantes es mayor sí parece existir un mayor riesgo de enfermedad. Mientras que estos estudios se llevan a cabo y se establecen las relaciones de causalidad, es necesario establecer un control más estricto de los mismos, además de implementar medidas para reducir su presencia medioambiental, abordando este problema emergente bajo la perspectiva del “principio de precaución”. Algunos países ya han empezado a aplicar medidas regulatorias más estrictas sobre productos puntuales, pero aun claramente insuficientes al coste en salud que estos contaminantes están ya produciendo.

Palabras clave: microplásticos, nanoplásticos, salud humana

Abstract

Practically everything that surrounds us includes some type of plastic, most of this plastic is used to manufacture other things or is directly made of it. The use and consume of these elements are continuously increasing in the recent decades.

In addition to pollution, plastics are not recycled properly, favoring their degradation and their passage to living beings, especially those who live in aquatic ecosystems in which plastic particles of different sizes (micro and / or nanoplastic) have been found, and it can pass to the human being through its intake. Micro and nanoplastic particles have been quantified in different environments, organisms and products destined for human consumption, promoting that we are all exposed to these pollutants through different exposure routes (air, water and alimentation).

The evidence of alterations produced in animals which were exposed to microplastics is been documented. It is known that it goes through tissues and organs, triggering oxidative stress, inflammation and cell damage, as well as localized immune responses, among other impairments. In addition, this fine particles of plastic are able to cross the cell membranes, the blood-brain barrier and the placenta. To these effects it must be added those caused by the exposure of the chemical monomers that constitute them, furthermore to other chemical and biological contaminants added or adsorbed during their production, or those coming from the environment.

This bibliographic review carried out confirms that there are still not enough studies that demonstrate the danger of these particles for human health and it is necessary to carry out more epidemiological studies with the same objective. However, in particular occupational situations where are bigger exposure to these pollutants it seems clear to have an increased risk of disease. While these studies are carrying out and are established by a causality relationships, it is necessary to set up a stricter control over them, in addition to implementing measures to reduce their environmental presence, and approaching this emerging problem from the perspective of a "principle of precaution". Some countries have already begun to apply stricter regulatory measures on specific products, but they are still insufficient comparing to the cost of health that these pollutants are already producing.

Key words: microplastic, nanoplastic, human health

1. Introducción

El plástico es un material polímero semisintético caracterizado por una gran versatilidad, fuerza, ligereza, estabilidad, facilidad de esterilización y propiedades de barrera, lo que justifica la elevada utilización que actualmente existe de este material en el mundo (PlasticEurope, 2018). Se estima que la producción mundial de plástico superó en 2017 los 350 millones de toneladas (PlasticEurope, 2018), y que más del 40% de esta cantidad se utilizaron como productos desechables (o de un solo uso), tales como envases, utensilios para alimentación y bolsas de basura, lo que a la postre justifica la desorbitada cantidad de residuos plásticos que hay hoy día en el planeta (PlasticEurope, 2016). Además, los plásticos se utilizan en edificación y construcciones, movilidad y transporte, dispositivos eléctricos y electrónicos, agricultura, atención sanitaria, entre otros muchos usos.

Los residuos plásticos expuestos a la radiación ultravioleta (UV) del sol se fotodegradan, produciendo escisión de enlaces químicos de la matriz del polímero por el proceso de oxidación y provocando que el plástico se vuelva frágil (Barnes et al., 2009). La exposición al sol, en combinación con el viento, la acción de las olas (en ambientes marinos) y la abrasión, da lugar a que los residuos degradados de plástico se fragmenten, generando micro- y nanoplásticos (Arthur, 2009). Tanto unos como otros, van acumulándose y depositándose principalmente en ecosistemas acuáticos (ríos, mares y océanos), en sus aguas, fauna y sedimentos. No obstante, la estabilidad de estos elementos hace que sean altamente resistentes a la degradación, pudiendo persistir en estos ambientes marinos durante cientos de años (Welden y Cowie, 2017).

La mayoría de los autores clasifican actualmente a los residuos de microplásticos basándose principalmente en función de su tamaño. Así, se considera microplástico cuando los fragmentos de plástico alcanzan un tamaño inferior a 5mm de diámetro, mientras que se considera nanoplástico a los fragmentos que tienen un tamaño inferior a 100 nm, en al menos dos de sus dimensiones (Browne et al., 2015). Sin embargo, no existe una definición internacional estandarizada de micro y nanoplásticos, lo que dificulta la comparación de los resultados publicados por los diferentes autores. Es importante, no obstante, destacar que el

tamaño mayoritario de los microplásticos suspendidos en el agua del mar les permite ser fácilmente ingeridos por muchas especies marinas, ya que su rango de tamaño coincide con el tamaño de los huevos de peces y el placton, entre 2µm-10µm (Browne et al., 2008; Boerger et al., 2010).

Microplásticos fue la “palabra del año” seleccionada por la Fundéu en el año 2018 (Fundéu, 2018). Según la RAE (Real Academia de la Lengua Española), el término *microplástico* designa pequeñas piezas de plástico, menores de cinco milímetros, según indica la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos, que, o bien se fabricaron con ese tamaño para ser empleadas en productos de limpieza e higiene, o bien son el resultado de la fragmentación de piezas de plástico mayores en su proceso de degradación.

Los microplásticos se caracterizan, además, por poseer una superficie hidrófoba que les confiere gran capacidad para absorber y concentrar una gran cantidad de contaminantes ambientales, como por ejemplo compuestos orgánicos hidrófobos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, pesticidas organoclorados y bifenilos policlorados (Mato et al., 2001; Ogata et al., 2009). También pueden acumular metales pesados como el cadmio, zinc, níquel y plomo (Holmes et al., 2012; Rochman et al., 2014). Es por ello, que a los microplásticos se les consideran, también, vectores de estos contaminantes, muchos de ellos incluidos en el Convenio de Estocolmo (Bilcke, 2002). Estos contaminantes ambientales, una vez absorbidos por el microplástico, pueden liberarse al ser ingeridos por un ser vivo, transfiriéndose el (los) contaminantes a los tejidos circundantes (Browne et al., 2013; Rochman et al., 2013a). Una de las líneas de investigación actuales es la que trata de averiguar si este proceso de transferencia también ocurre en la población humana, a través de la ingesta de alimentos que contienen microplásticos e incluso si este proceso pudiera producirse por inhalación.

Por su parte, los nanoplásticos se producen durante la fragmentación de las fibras sintéticas, principalmente durante el lavado de la ropa, aunque también por deterioro y fragmentación de algunos materiales plásticos, como por ejemplo el poliestireno expandido, mediante un proceso de abrasión mecánica acelerada (Costa et al., 2016). Por el tamaño que

poseen y la alta relación de área superficial-volumen, los nanoplásticos son muy vulnerables a la ingestión por parte de los organismos marinos como corales, fitoplancton y zooplancton (Barletta, 2011).

Además de la clasificación por tamaño, los plásticos también pueden clasificarse como primarios o secundarios. Los plásticos primarios son subproductos de diferentes procesos industriales entre los que destacan los generados en forma de partículas generadas en la producción industrial que se liberan en las emisiones industriales, las generadas en el mantenimiento de diferentes materiales plásticos, o incluso por degradación de estos. También pueden generarse micro y nanoplásticos por la liberación involuntaria de materia prima plástica intermedia (pellets, nurdles o lágrimas de sirena). Los plásticos primarios se añaden, también a diferentes productos de limpieza y cosméticos, como por ejemplo limpiadores faciales, limpiadores de manos, o pastas dentales, entre otros (Derraik, 2002), además de a líquidos de perforación utilizados para la exploración de petróleo y gas; utilizándose también como abrasivos industriales (Derraik, 2002). Se consideran, por otra parte, plásticos secundarios los fragmentos de plástico más grandes que aparecen tanto en hábitats marinos como terrestres (Thompson et al., 2004; Ryan et al., 2009).

Los compuestos químicos mayoritarios utilizados en la fabricación de los principales tipos de plásticos disponibles en el comercio europeo son el polietileno (PE) en forma de baja densidad (LDPE; bolsas de basura, film) o de alta densidad (HDPE; bolsas de compra, tapas de botella), el polipropileno (PP; cubas rígidas, pajitas), el policloruro de vinilo (PVC; tubos, marcos de puertas y ventanas), y el poliestireno (PS); ollas para alimentos, juguetes, EPS; poliestireno expandido, embalaje, aislamiento), ambos rígidos, el tereftalato de polietileno (PET; botellas, bandejas de alimentos) y el poliuretano (PU) (**Figura 1**). Algunos trabajos indican que en las profundidades marinas los contaminantes plásticos más abundantes son el polipropileno y el polietileno (Rios et al., 2007).



Figura 1. Plásticos de uso común: Polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PU) y tereftalato de polietileno (PET).

Otros componentes químicos también utilizados en la fabricación del plástico son bisfenoles y ftalatos (principalmente en aquellos bajo el símbolo del número 7, entre otros). Entre los bisfenoles, uno de los compuestos más usados como monómero del policarbonato es el compuesto bisfenol A (BPA, 4,4'-isopropilidendifenol), una de las sustancias químicas con mayor volumen de producción, que se emplea también en la fabricación de las resinas epoxi, utilizadas para los revestimientos internos de latas de alimentos y bebidas, entre otros usos. El BPA es una sustancia química, disruptora endocrina (EDC), bien conocida por su capacidad de unirse a receptores hormonales, como por ejemplo el receptor de estrógeno nuclear (ER) (Wetherill et al., 2007; Pouzaud et al., 2018), lo que le permite modificar su expresión génica (Chianese et al., 2018); aunque también puede unirse a otras familias de receptores de membrana (Alonso-Magdalena et al., 2012), e incluso inducir actividades anti-androgénicas *in vitro* (Molina-Molina et al., 2013).

Por su parte, los phthalatos (1,2-dibencenodicarboxílico) son un conjunto de compuestos químicos, ésteres sintéticos formados a partir del ácido ftálico, que aportan a los productos de consumo que los contienen, flexibilidad y elasticidad, por lo que se les conocen como plastificantes (Sathyanarayana, 2008), representando, en algunos casos, más del 60% del total de compuestos plásticos, como por ejemplo en los policloruros de vinilo, que son los plásticos que requieren un mayor contenido de aditivos (Teuten et al., 2009). Los phthalatos pueden actuar también como disruptores endocrinos, tanto del hombre, como de la vida silvestre (Psillakis et al., 2004; Xu et al., 2015).

La actividad humana, doméstica, industrial y costera, es la causa principal de la contaminación microplástica en el medio ambiente, y en especial del ingreso de la basura plástica en el hábitat marino (Lechner et al., 2014; Sadri y Thompson, 2014); destacando, entre estas actividades el turismo costero, la pesca comercial y las industrias acuícolas. Otras fuentes de contaminación a microplásticos y nanoplásticos en el medioambiente son los productos de limpieza y de cosmética, como por ejemplo los residuos de pasta de dientes, de limpiadores de manos, entre otros muchos productos, además de los residuos contenidos en el drenaje doméstico e industrial (Zitko y Hanlon, 1991; Gregory, 1996; Fendall y Sewell, 2009; Claessens et al., 2013; Desforges et al., 2014; Carr et al., 2016).

Exposición e impacto de los microplásticos en salud humana

Es evidente el impacto ecológico de los micro- y nanoplásticos en el medioambiente, sin embargo, aún no hay evidencias de efectos adversos en la salud humana. La vía principal de captación de estas partículas de plástico por parte de los seres humanos es a través del consumo de productos alimentarios, de agua potable e incluso por inhalación o contacto dérmico (Thompson et al., 2009; Vethaak y Leslie, 2016). Así, por ejemplo, los alimentos pueden estar contaminados por microplásticos bien por exposición directa al medio ambiente o por transferencia trófica de microplásticos entre depredadores y presas en especies comestibles. Además, muchos de los monómeros, oligómeros y otros compuestos químicos, componentes constituyentes de estos materiales, pueden ser absorbidos, pudiendo afectar negativamente a la salud. El problema sigue siendo la falta de información sobre la presencia

de micro y nanoplasticos en la dieta y otros bienes de consumo (Van Cauwenberghe y Janssen, 2014), y si estos contaminantes se absorben, o no, a través del tracto gastrointestinal o por otras vías de exposición como la dérmica y la inhalación (Lassen et al., 2015).

Como se ha comentado con anterioridad, además del impacto en la salud humana atribuible a los efectos mecánicos de los microplásticos y al daño tisular que pueden causar, también hay que tener en cuenta su impacto químico, derivado tanto de su composición química, como de los contaminantes químicos que se adhieren a su superficie (Mato et al., 2001; Rios et al., 2007; Teuten et al., 2009; Hirai et al., 2011; Wegner et al., 2012; Rochman et al., 2013b, 2014, 2016; Wilkinson et al., 2017; Hahladakis et al., 2018), así como de microorganismos (Oberbeckman et al., 2015).

Algunos estudios han tratado de analizar el contenido de microplásticos en alimentos y bebidas, estimándose un consumo máximo por persona y año en algunos productos de la ingesta puntuales, como por ejemplo en la sal marina con presencia de entre 37 a 1000 partículas de microplástico en este producto (Yang et al., 2015; Karami et al., 2017), 4000 en el agua del grifo (Kosuth et al., 2017) y hasta 11000 en algunos mariscos (Van Cauwenberghe y Janssen, 2014). El alto contenido de estas partículas en mariscos se debe, principalmente, a que el medio acuático es el más contaminado, siendo la contaminación microplástica causada por procesos de lavado de textiles sintéticos una de las principales fuentes de microplásticos primarios en los océanos del mundo (Li et al., 2016; Broucher and Friot, 2017).

Debido al pequeño tamaño de los microplásticos y su densidad relativamente baja, son fácilmente transportados por el viento, pudiendo persistir en la atmósfera durante largos períodos de tiempo (Dris et al., 2016). Los SAMP (microplásticos atmosféricos suspendidos) también pueden ser inhalados potencialmente por los animales a través de la actividad respiratoria, considerándose así también un peligro para la salud humana (Dris et al., 2015; Prata, 2018). Es conocido que las partículas atmosféricas finas ($<2.5\mu\text{m}$) están estrechamente relacionadas con las enfermedades respiratorias humanas (Chai et al., 2019). También se han encontrado fibras plásticas en la lluvia atmosférica, con una deposición de hasta 355 partículas/ $\text{m}^2/\text{día}$, en áreas urbanas (Dris et al., 2016). En ambiente doméstico aún no se han

cuantificado cifras de exposición, aunque algunos trabajos realizados con muestras de polvo indican tasas de deposición de entre 1586 y 11130 fibras/día/m², lo que representaría un rango de exposición de entre 190-670 fibras/mg en polvo sedimentado. Esta contaminación es mucho mayor en ambientes urbanos, o espacios de trabajo industrial (Dehghani et al., 2017). Así, por ejemplo, se han encontrado, entre 500.000- 800.000 partículas/m³ de diferentes composiciones (nylon, cloruro de vinilo y poliéster) en fábricas de procesamiento textil (Bahners et al., 1994).

Hasta la fecha la evidencia científica parece indicar que los microplásticos están afectando a la ictiofauna a nivel poblacional, y que las especies en donde está demostrada su presencia, mayoritariamente acuática (peces y mariscos), no es inmune a su presencia, ya que diferentes trabajos muestran diferentes daños causados en estas especies, tales como obstrucciones intestinales, menor crecimiento y rendimiento reproductivo.

2. Objetivo

Este Trabajo de Fin de Máster se ha planteado con el objetivo de realizar una revisión narrativa, integradora y comprensiva de la literatura científica con el objetivo de identificar, analizar, valorar e interpretar los resultados sobre exposición a microplásticos y sus posibles implicaciones en salud humana, publicados hasta la fecha.

3. Material y Métodos

3.1 Identificación y selección de datos

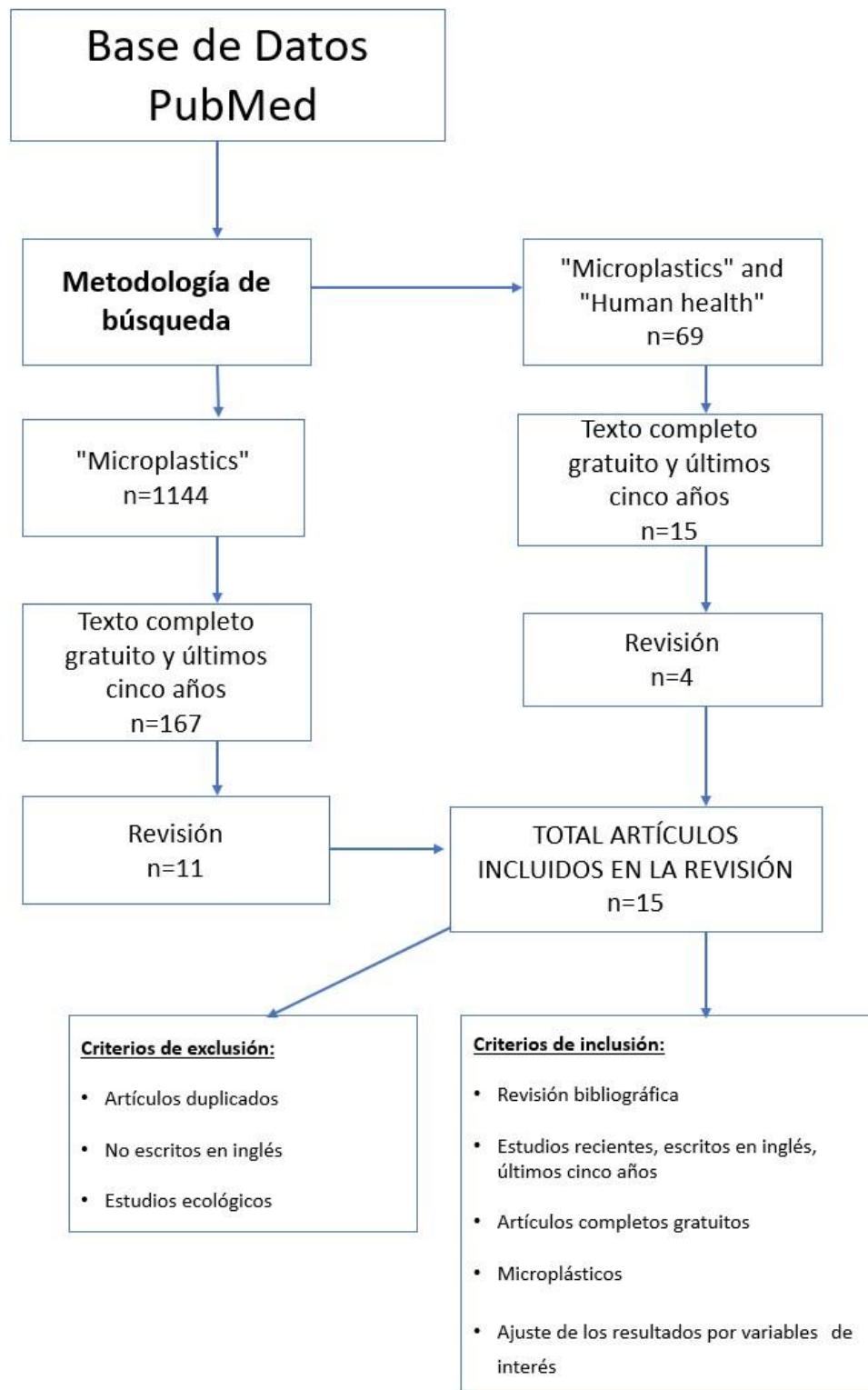
Se ha realizado una búsqueda de artículos científicos en la base de datos PubMed, que hubieran sido publicados en inglés en los últimos cinco años, y cuyo objetivo de estudio hubiera sido la relación de microplásticos y salud, focalizando la búsqueda a revisiones científicas. Para facilitar la investigación se utilizaron palabras clave: “Microplastics”, tanto de manera aislada como en combinación con “Human health”. De entre los artículos científicos inicialmente encontrados se excluyeron aquellos que no era posible obtener el texto completo y gratuito.

El primer paso realizado fue, seleccionar los resúmenes para determinar su relevancia, utilizando los criterios de inclusión y de exclusión previamente establecidos. Así, se han revisado, críticamente, artículos elegibles en relación a la presencia de microplásticos en la atmósfera, en diferentes poblaciones animales (principalmente del medio acuático, peces y mariscos), en los alimentos y en el agua de bebida, y siempre en relación a su posible afectación a la salud humana.

3.2 Criterios de inclusión y exclusión

Se desestimaron los artículos que no ofrecieran el texto completo, junto con las editoriales u otros artículos que no aportaban resultados nuevos, así como estudios de tipo ecológico o escritos en un idioma diferente al inglés. En el diagrama de flujo, incluido a continuación, se resume el proceso de búsqueda bibliográfica realizado para este Trabajo Fin de Máster.

3.3. Diagrama de flujo



4. Resultados

La presencia de microplásticos en el aire, el agua y las especies animales implica la exposición de la población a estos contaminantes a través de estas diferentes vías de exposición. La literatura seleccionada se ha organizado, por tanto, de esta manera, microplásticos en el medio ambiente (medio acuático, aire y dieta) y su relación con efectos adversos en salud.

1) Exposición a microplásticos en el medioambiente

Una manera de estudiar la presencia de microplásticos en el medioambiente es a través de su presencia en el agua, en el aire o en las especies salvajes.

1.1) Microplásticos en el Medio Acuático

Son numerosos los estudios que han tratado de demostrar la presencia de microplásticos y sus efectos biológicos adversos en los organismos acuáticos (Cole et al., 2011; Sussarellu et al., 2016; Zhang et al., 2017). Así, por ejemplo, se estima que los ríos transportan el 70-80% de los plásticos que llegan a los océanos (Alimi et al., 2018), la mayoría de los cuales provienen de procesos de fabricación, agricultura y de plantas de tratamiento de aguas residuales que descargan sus efluentes en estos ecosistemas acuáticos. Estudios recientes también indican que otra de las fuentes de fibras y microplásticos procede del lavado de la ropa, estimándose que un lavado estándar de 5kg de tejidos de poliéster puede libera hasta 6.000.000 de microfibras (De Falco et al., 2019). Más del 95% de estas partículas plásticas se retiene en los biosólidos de las plantas de tratamiento, pero este lodo se usa a menudo en tierras agrícolas, con la posibilidad añadida de que parte de las partículas plásticas se puedan dispersar por el viento o se transporten por el agua de lluvia (Waring et al., 2018).

En relación a la presencia de microplásticos en las **aguas subterráneas**, sólo se ha encontrado un estudio llevado a cabo por Mintening y colaboradores en el que analizaron 40m³ de agua subterránea, utilizada como agua potable para un área de 7500 km² del noroeste

de Alemania (Mintenig et al., 2019). Los autores analizaron muestras de agua, antes y después de su purificación, detectándose un promedio de 0,7 microplásticos/m³, lo que supone una contaminación extremadamente baja. Estos resultados, sin embargo, no se pueden extrapolar a todas las aguas subterráneas o a su contaminación.

También se ha investigado la presencia de microplásticos en **humedales naturales** intermareales; en concreto, el Estuario del Tejo, Portugal (Lourenço et al., 2017). Los autores encontraron, en todas las muestras de sedimentos analizadas, presencia de microfibras, aunque no hicieron distinción si las microfibras eran plásticas o no, ni tampoco determinaron su composición. Sin embargo, los autores comprobaron que en todos los macroinvertebrados bentónicos y aves se encontraban los mismos polímeros plásticos que se encontraban en el sedimento.

Mientras que las especies de **agua salada** han sido moderadamente estudiadas hasta la fecha, las especies de agua dulce acaban de emerger en esta área de investigación, como se refleja en el trabajo de Lei et al., 2019. Lei y colaboradores investigaron la tasa de detección de microplásticos en ciertos organismos de agua dulce, comprobando, por ejemplo, que en la especie *Gambusia holbrooki* la presencia de microplásticos era directamente proporcional al tamaño y peso de esta especie, y que este fenómeno parecía similar en otras especies acuáticas (peces y renacuajos) (Peters y Bratton, 2016; Hu et al., 2018). Los autores comprobaron también que el género podría jugar un papel importante en la absorción de los microplásticos, con mayor presencia de microplásticos en las hembras respecto a los machos (Su et al., 2019), aunque los resultados podrían deberse a que las hembras de este pez son más grandes en peso y en tamaño que los machos.

Tabla 1. Una comparación global de microplásticos en biota de agua dulce

species	research area	organs	average detection rate	average abundance ^a	primary polymer ^b	reference	
Fish	Various urban wetlands, Australia	body	19.4	0.6	PES	This study	
	Various urban wetlands, Australia	head	7.2	0.1	PES	This study	
	Rio de la Plata estuary, Argentina	gut	100	19.2	NA ^c	Pazos et al. (2017)	
	Pajeú river, Brazil	gut	83	3.6	NA	Silva-Cavalcanti et al. (2017)	
	Taihu Lake, China	gut, stomach	95.7	2.4	PES,CE	Jabeen et al. (2017)	
	Wascana Creek, Canada	gut	73.5	3.28	NA	Campbell et al. (2017)	
	River Thames, United Kingdom	gut, stomach	66	0.5	PES,PA,AC,PE	McGoran et al. (2017)	
	Brazos River Basin, United States	stomach	45	0.9	NA	Peters and Bratton (2016)	
	Three Gorges Reservoir, China	gut	26	0.86	PE,PA	Zhang et al. (2017)	
	streams, France	gut	12	NA	NA	Sanchez et al. (2014)	
	rivers and lakes from Texas, United States	gut	8.2	NA	PP,PES,AC,PS	Phillips and Bonner (2015)	
	9 large lakes, Swiss	gut	7.5	NA	NA	Faure et al. (2015)	
	rice-fish co-culture system, China	gut	NA	1.7	PE,PP	(Lv et al., 2019)	
	Insect	Bloukrans River, South Africa	whole body	86.5	NA	NA	Nel et al. (2018)
		South Wales valleys, United Kingdom	whole body	50	NA	NA	Windsor et al. (2019)
Clam	Yangtze River Delta, China	whole body	96	2.5	PES,PP,PE	Su et al. (2018)	
Tadpoles	Yangtze River Delta, China	whole body	NA	1.4	PES,PP	Hu et al. (2018)	

^a The average abundance was based on items per individual due to the body weight greatly varied from different species, some value were estimated by the range of microplastic abundance.

^b Abbreviation, PES: polyester, CE: cellophane, PA: polyamide, AC: acrylic, PE: polyethylene, PS: polystyrene, PP: polypropylene.

^c Not available.

Del artículo: Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (*Gambusia holbrooki*) (Su et al., 2019)

También se ha medido la presencia de microplásticos en fuentes de **agua potable**, lo que representa una forma de exposición humana a estos contaminantes, en particular si las partículas de plástico pasan a través de los sistemas de filtración del tratamiento de aguas, estimándose que la exposición diaria a estas partículas podrían oscilar entre 50.000 y casi 15 millones de partículas (Mason et al., 2016).

La presencia mayoritaria de estos contaminantes en los ecosistemas acuáticos sugiere que estas especies residentes en estos ambientes serían vulnerables a la contaminación por microplásticos. En este sentido varios trabajos recientes muestran desechos de plástico en el intestino de la mayoría de peces analizados, con una mayor presencia en las especies salvajes frente a los peces de **piscifactorías**, siendo los peces de agua dulce más vulnerables a la contaminación (Liboiron et al., 2016; Hermsen et al., 2017; Pazos et al., 2017).

1.2) Mioplásticos en el Aire

Los microplásticos están también presentes, tanto en el aire exterior como en el aire interior, en concentraciones que van desde 0,3 a 1,5 fibras/m³ o desde 1 a 60 fibras/m³, según los trabajos consultados (Dris et al., 2017). Debido al pequeño tamaño de estos elementos, junto con su relativamente baja densidad, los microplásticos son fácilmente transportados por el viento y pueden persistir en la atmósfera durante largos períodos de tiempo (Dris et al.,

2016). Estas características facilitan que los microplásticos atmosféricos suspendidos puedan ser inhalados potencialmente por los animales, y por el hombre, a través de la actividad respiratoria, lo que supondría un peligro potencial para su salud (Prata, 2018). En el aire, los microplásticos se pueden depositarse en las flores y el follaje, donde podrían incorporarse con el polen y ser transportados por las abejas a la colmena. Algunos autores por ejemplo han encontrado fibras y/o nanoplásticos en las flores y en la miel (Liebezeit y Liebezeit, 2014).

También se han encontrado fibras plásticas en la lluvia y en el aire atmosférico, con una deposición de hasta 355 partículas/m²/día, en áreas urbanas (Dris et al., 2015, 2016). La exposición a concentraciones más altas parece ocurrir en ambientes interiores, probablemente debido a fuentes y factores involucrados en la dispersión de partículas (Prata, 2018). En ambiente doméstico aún no se han cuantificado cifras de exposición, pero si en lugares de trabajo de procesamiento textil, encontrándose entre 500.000- 800.000 partículas/m³ de diferentes composiciones (nylon, cloruro de vinilo y poliéster) (Bahners et al., 1994).

El riesgo de exposición a microplásticos a través del aire es mayor en ambientes con mayor presencia de estos elementos. En este sentido, Pauly y colaboradores, indican que el 87% de los pulmones de los trabajadores de una fábrica textil contenían fibras plásticas y de algodón (Pauly et al., 1998). El tamaño reducido de estas fibras, tanto de micro, como de nanoplásticos, facilita la penetración y persistencia dentro de los pulmones (Gasperi et al., 2018; Prata, 2018).

1.3) Microplásticos en la Dieta

En junio de 2017 se publicó en Horizon, un informe técnico en el que se resumía el ejercicio de consulta realizado en 2016 sobre temas de investigación prioritarios. En él se identificaban cinco temas preferentes en el área de seguridad alimentaria, y en primer lugar se encontraba la presencia de partículas microplásticas y nanoplásticas en los alimentos (EFSA, 2016). La presencia de estas partículas en los alimentos es, por tanto, uno de los potenciales riesgos identificados en la Unión Europea, aunque aún se desconoce su toxicidad y toxicocinética (EFSA, 2016).

El número estudios publicados sobre contaminación de microplásticos en diferentes especies animales, comestibles y no comestibles, no ha dejado de crecer desde el año 2010 (**Tabla 2**). La mayoría de los estudios se han centrado en el análisis de peces y mamíferos marinos (delfines, lobos marinos o focas), aunque también se han investigado algunos bivalvos, como por ejemplo mejillones, ostras y vieiras. Los trabajos también incluyen algunas aves marinas (cormoranes, gaviotas o frailecillos), y otras especies menores como dragonet, kill que son un pequeño orden de crustáceos, tremátodos y mosquitos. Son pocos, sin embargo, los trabajos en otras especies animales terrestres [como por ejemplo un estudio sobre la contaminación microplástica en la carne de las mollejas de pollo (Huerta Lwanga et al., 2017)].

El principal resultado de las publicaciones consultadas es que la contaminación por microplásticos en las especies estudiadas es un hecho, ya que su presencia se ha descrito en más de 690 especies, principalmente marinas, 200 de las cuales son comestibles (Carbery et al., 2018) (**Tabla 2**).

Tabla 2. Estudios publicados sobre contaminación de microplásticos en especies animales

Animal species	Number of published studies since 2010
Bear	1
Birds	12
Bivalves (e.g. mussels, clams, scallops, etc.)	22
Chicken	1
Crustaceans (e.g. lobsters, shrimps, langoustines, crabs, etc.)	20
Fish and sea mammals (e.g. seals, dolphins, whales)	208
Insects	2
Seabirds	152
Turtles	5

Del artículo: Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain (Toussaint et al., 2019)

La preocupación por estos resultados ha hecho que diferentes administraciones hayan elaborado informes recopilando la información disponible. Así por ejemplo, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) publicó recientemente, en 2016, un informe sobre

la presencia de microplásticos y nanoplásticos en los alimentos, centrándose en los productos del mar (EFSA, 2016), especialmente indicando la presencia de microplásticos en especies que se consumen al completo, como los bivalvos o los pequeños peces. El informe detallaba que los bivalvos, camarones y peces pueden alcanzar concentraciones promedio de 0,2 a 0,4 micropartículas/g, 0,75 partículas/g y 1-7 partículas/g, respectivamente. Estas concentraciones son similares a las descritas por Browne et al., 2008, en el que se demuestra la acumulación de microesferas de poliestireno (3 y 10µm) en el intestino de *M. edulis*, y su traslocación al sistema circulatorio (Browne et al., 2008).

Por otro lado, también se han identificado microplásticos en otros alimentos, como la miel y el azúcar, encontrándose tanto microfibras (40µm de longitud) como micropartículas (10-20 µm) (Liebezeit y Liebezeit, 2013), con un promedio de 174 fibras y 8 partículas/kg, en la miel, y de 217 fibras y 32 partículas/kg, en el azúcar. La contaminación de la miel sugiere que dichos contaminantes podrían provenir del aire o de las precipitaciones.

También se han identificado microplásticos en 15 marcas de sal marina, con concentraciones de hasta 681 microplásticos/kg. El PET fue el tipo de plástico más común encontrado seguido por el PE (Yang et al., 2015), fundamentalmente por la utilización de las aguas costeras para producción de sal marina, aunque también cabe la posibilidad añadida de la deposición atmosférica.

2) Relación entre exposición a microplásticos y efectos adversos en salud

La exposición a microplásticos puede afectar a los seres vivos de diversas formas, bien por efectos mecánicos después de su ingesta, o bien por la liberación/exposición de los monómeros químicos que lo constituyen, además de otros compuestos químicos agregados durante su producción de plástico, junto con otros contaminantes absorbidos procedentes del medioambiente, incluidos algunos metales pesados y compuestos orgánicos persistentes, como PCBs y DDT (Wright y Kelly, 2017). A esto se añade la posibilidad de transmisión a lo largo de la cadena trófica (**Figura 2**) (Ecologistas en acción, 2017).

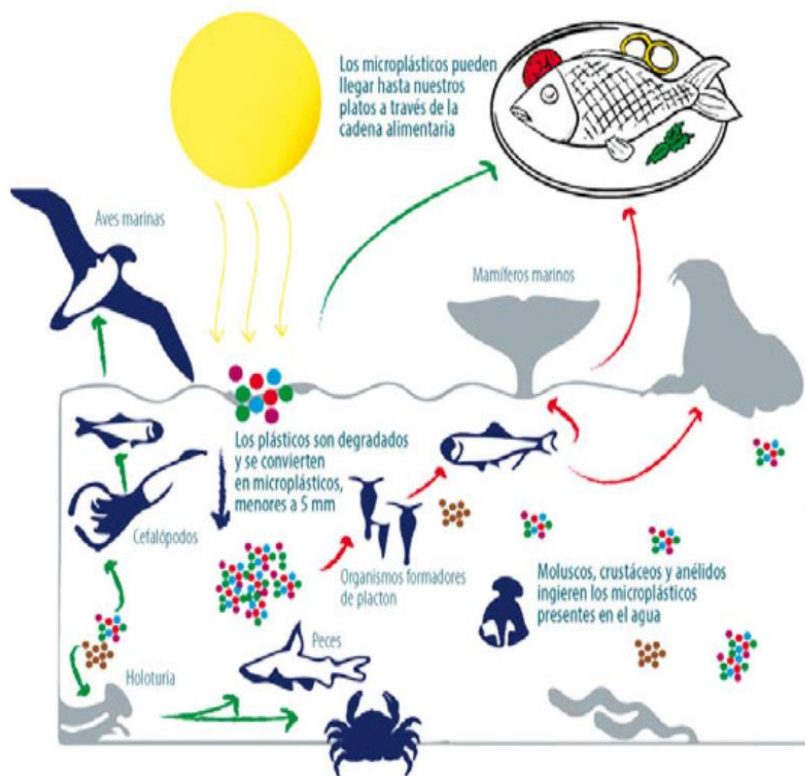


Figura 2: Cadena trófica de ingestión de microplásticos. Del artículo: Basuras marinas, plásticos y microplásticos. Orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global (Ecologistas en acción, 2017)

Las partículas microplásticas de menos de $130\ \mu\text{m}$ de diámetro, una vez ingeridas por los seres vivos, tienen el potencial de translocarse a distintos tejidos, desencadenando una respuesta inmune localizada. Diferentes trabajos experimentales con ratas muestran la translocación de estas partículas desde la cavidad intestinal a la linfa y al sistema circulatorio (Hussain et al., 2001). Además, las partículas muy finas son capaces de atravesar las membranas celulares, la barrera hematoencefálica y la placenta, con efectos documentados que incluyen el estrés oxidativo, el daño celular, la inflamación, entre otros deterioros (**Tabla 3**) (Vethaak y Leslie, 2016). En este sentido, varios complejos de nanopartículas se han diseñado como agentes de transporte de fármacos (Kulkarni y Feng, 2013; Nance, 2017). Por lo tanto, parece aceptable que estas nanopartículas podrían afectar al SNC, e incluso producir cambios de comportamiento de los seres vivos expuestos (Cedervall et al., 2012; Mattsson et al., 2017).

Tabla 3. Estudios de exposición a microplásticos en organismos marinos [Ps:poliestireno, Pe: polietileno, uPVC: cloruro de polivinilo no plastificado, PVC: cloruro de polivinilo, HDPE: polietileno de alta densidad, PP: polipropileno, y SW: agua de mar]

Cohort	Species	MP type	MP size	MP Concn.	Contaminant	Biological effects	Reference
Zooplankton	14 mesozooplankton taxa	PS	7.3 µm 20.6 µm 30.6 µm	20 µl./20 ml. SW (0.1% v/v)	-	Reduced feeding by <i>C. typicus</i>	Cole et al. (2013)
	<i>Temora longicornis</i> <i>Centropages typicus</i>	PS	0.4 µm 1.7 µm 3.8 µm	12 µl./24 ml. SW (0.05% v/v)	-		
Amphipods	<i>Allorchestes compressa</i>	PE	11–700 µm	0.1 g/ml. SW	PBDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183	MPs transferred PDBEs into animal tissue	Chua et al. (2014)
Isopods	<i>Calanus helgolandicus</i>	PS	20 µm	75 particles/ml.	-	Reduced feeding	Cole et al. (2015)
Polychaetes	<i>Arenicola marina</i>	uPVC	-	1%	-	Reduced feeding activity, prolonged gut residence time, inflammation and depleted energy reserves	Wright et al. (2013)
		PVC	230 µm	5%	Nonylphenol Phenanthrene Triclosan PBDE-47	Reduced ability to remove pathogenic bacteria and engineer sediments. Increased oxidative stress and mortality.	Browne et al. (2013b)
		PS	400–1300 µm	0–7.4%	PCB18, 20, 28, 29, 31, 44, 52, 101, 105, 118, 138, 143, 149, 153, 155, 170, 180, 194, 204, and 209	Reduced feeding activity and weight loss	Besseling et al. (2013)
Mussels	<i>Mytilus edulis</i>	PS	2 µm 4–16 µm	0.51 g/L	-	Particles observed in the hemolymph, translated from the gut to the circulatory system within 3 days	Browne et al. (2008)
		PS	3 µm 9.6 µm	15,000 particles/ 350 ml. SW	-		
		HDPE	< 0–80 µm	2.5 g/L	-	HDPE observed in gills and digestive tissue, strong inflammatory response.	Von Moos et al. (2012)
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	PE/PS powder	< 100 µm	20 g/L. SW	Pyrene	Reduced lysosomal membrane stability, genetic effects, reduced AcChE in gills, reduced antioxidant defences	Avio et al. (2015a)
Oysters	<i>Crassostrea gigas</i>	PS	2 µm 6 µm	0.023 mg/L	-	Feeding modifications, reproductive disruption and significant impacts on offspring	Sussarellu et al. (2016)
Crab	<i>Carcinus maenas</i>	PP fibres	1–5 mm	0.3–1%	-	Reduced feeding activity and reduction in energy available for growth	Watts et al. (2014)
Fish	<i>Pomatoschistus microps</i>	PE	1–5 µm	18.4 µg/L 184 µg/L	Pyrene	Increased mortality, reduced antioxidant defence, reduced AcChE activity	Oliveira et al. (2013)

Del artículo: Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine foodweb and implications for human health (Carbery et al., 2018)

La exposición a microplásticos se ha relacionado también con una reducción de la fotosíntesis y del crecimiento de microalgas (Sjollema et al., 2016), así como con diversos efectos adversos en la actividad trófica del zooplancton (Setälä et al., 2014) y de la arenícola marina (Besseling et al., 2013), y con alteraciones en branquias, estómago y hepatopáncreas (Brennecke et al., 2015), además de alteraciones histológicas y en otros biomarcadores (Karami et al., 2016). Así, algunos estudios han observado modificaciones en parámetros bioquímicos y hematológicos utilizados como bioindicadores, y empleados en la evaluación del impacto de estos contaminantes ambientales (Osman et al., 2018; Sayed y Authman, 2018; Sayed y Soliman, 2018; Fazio, 2019). La disfunción reproductiva (reducción de la fecundidad, y de la supervivencia de la descendencia) también se ha relacionado con la contaminación de nano y microplásticos en los ecosistemas marinos (Chae y An, 2017).

Una vez que los microplásticos están incorporados en el intestino, pueden liberar monómeros constituyentes, así como aditivos y toxinas absorbidas, que pueden causar daños fisiológicos que van desde estrés oxidativo hasta carcinogénesis (Wang et al., 2018). Estudios

in vitro con exposición a microplásticos muestran daños por estrés oxidativo en diversas líneas celulares humanas epiteliales y cerebrales, lo que favorecería efectos localizados en el sistema inmunológico y aumentaría la inflamación intestinal tras la ingestión de estos contaminantes (Schirinzi et al., 2017).

Por otra parte, los desechos plásticos marinos parecen proporcionar un nicho de protección para patógenos y microorganismos absorbidos, lo que se ha denominado “platisfera” y se ha propuesto como un vector para diseminar la proliferación de algas nocivas y organismos indicadores fecales (Keswani et al., 2016). La combinación de agentes microbianos y químicos sobre el plástico aumentaría el riesgo para los consumidores si los peces, los crustáceos o los mariscos se contaminan y luego se consumen (Waring et al., 2018).

A pesar de la evidencia científica que ha permitido cuantificar partículas de micro y nanoplásticos en diferentes entornos, organismos y productos destinados al consumo humano, aún no se disponen de suficientes estudios que demuestren la peligrosidad de estas partículas en salud humana. No obstante, en situaciones ocupacionales particulares donde la exposición a estos contaminantes es mayor, sí que parece existir una mayor evidencia. Así, por ejemplo, en trabajadores de fábricas de productos textiles sintéticos, se observa una mayor incidencia de cáncer después de 10 a 20 años de trabajo/exposición y el riesgo está asociado con la intensidad, la duración y el tiempo transcurrido desde que comienza la exposición (o el trabajo) (Acquavella et al., 1988; Vobecky et al., 1984). Trabajadores de fábricas de PVC mostraron también un mayor riesgo de cáncer de pulmón (OR 1,20; IC95%: 1.1–1.3), a mayor exposición, edad y años en el trabajo (Mastrangelo, 2003). De hecho, se detectan fibras de plástico en el 87% de las biopsias de pulmón que podrían ser las responsables de procesos inflamatorios, y finalmente del cáncer de pulmón (Pauly et al., 1998). Los efectos adversos se atribuyen principalmente, a la irritación crónica y la inflamación ocasionada por la inhalación de las partículas de microplásticos, que pueden promover también daño al ADN causados bien por acción directa o por indirecta (estrés oxidativo, además de citotoxicidad, e inflamación y alteración del sistema inmune, con liberación de citoquinas, proteasas y especies reactivas de oxígeno, además de promoción de otros mediadores proinflamatorios que promueven la

angiogénesis y la mutagénesis, favoreciendo la formación y progresión de células malignas), incluso a bajas concentraciones crónicas (Valavanidis et al., 2013).

Como se ha mencionado en la introducción, los microplásticos pueden actuar como vectores de transporte de compuestos químicos, por un lado, como de compuestos directamente relacionados a su fabricación, o incluidos para conferirle ciertas propiedades. Entre los aditivos, lo más conocidos y estudiados son los ftalatos, que los hacen más maleables, o el bisfenol A, o los retardantes de la llama. Se ha confirmado que estos aditivos se concentran en polímeros de plástico como PVC, polietileno o poliestireno. Se han hallado partículas en el océano que albergan estas partículas en cantidades notables, siendo así un peligro ambiental para el medioambiente y la biota (Koelmans, 2015; Koelmans et al., 2016). Algunos de estos aditivos, además, pueden alterar procesos biológicos de importancia y ocasionar efectos como disruptores endocrinos, originando efectos dañinos en la movilidad, reproducción y sistema inmune, e incluso producir cancer (Koelmans, 2015; Koelmans et al., 2016). Por otra parte, entre los vectores destacan los metales pesados y contaminantes orgánicos hidrófobos que se adsorben en ellos, como es el cobre, zinc, plomo, bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), etc (Ashton et al., 2010; Andrady, 2011; Cole et al., 2011; Rochman, 2015; Anderson et al., 2016; Brennecke et al., 2016). Los efectos adversos de muchos de estos contaminantes “añadidos” están ampliamente documentados.

5. Discusión

Prácticamente todo lo que nos rodea incluye en su fabricación algún tipo de plástico, y el uso y consumo de estos elementos no ha dejado de aumentar en las últimas décadas. Según estimaciones de diferentes organizaciones no gubernamentales (ONG), como la ONG Amigos de la Tierra, o EFE verde, se prevén que en el año 2050 haya más plástico que peces en el mar, si continuase la producción de plásticos actual. Además de contaminar, los plásticos no se reciclan de la manera adecuada, favoreciendo la degradación de los mismos y su transferencia

a los seres vivos, especialmente a las especies de ecosistemas acuáticos. La presencia de microplásticos en el aire, el agua y las especies animales implica la exposición de la población a estos contaminantes a través de estas diferentes vías de exposición.

Numerosos de los estudios revisados se han centrado en el hábitat marino, comprobándose numerosos efectos adversos en especies acuáticas (peces y crustáceos) expuestas a microplásticos, en las que se han evidenciado cambios en la natación, reproducción, e incluso en el metabolismo de estos animales, a través de diferentes mecanismos de acción. Es plausible, por tanto, pensar en la posibilidad de extrapolar lo que sucede en estos animales a otros seres vivos o al hombre. Sin embargo, la evidencia científica referida a la población humana y a su vulnerabilidad frente a los microplásticos es aún escasa, haciéndose necesarios más estudios enfocados a investigar como principal objetivo los efectos adversos en la salud humana de la exposición a estos contaminantes.

El problema principal, es que la exposición a microplásticos es un área de conocimiento muy reciente cuyo comienzo se ha centrado en la observación de enormes masas de residuos de plástico en distintas áreas del planeta, seguido por su interés con su la posible afectación que este hecho podía causar en el medio ambiente.

Entre las incógnitas aún por resolver están la necesidad de evaluar las acciones mecánicas derivadas de la exposición tras la ingesta de microplásticos en el intestino. Asimismo, habría que estudiar la vida media de los microplásticos dentro del tracto gastrointestinal, lo que probablemente dependerá de sus características, como de las del organismo (y su microbiota). Este marco complejo en el que se combinan la presencia de enzimas gástricos, las diferentes condiciones fisiológicas de temperatura y pH que se dan dentro de los distintos tractos digestivos, que dependerán del tipo de organismo que se estudie, habrá que tenerlas en cuenta (Bakir et al., 2016).

Otra de las partes fundamentales a investigar es si el hecho de que los plásticos actúen como vectores de diferentes contaminantes ambientales, de demostrada toxicidad en los organismos vivos, sea el elemento más significativo a tener en cuenta, en comparación con la

incorporación de estos contaminantes plásticos por otras vías de exposición, como la comida, el agua y el aire (Koelmans, 2015). También, el hecho de que ciertos plásticos actúen como sumideros además de como vectores, provocando que la concentración de ciertos contaminantes sea mayor que la encontrada en otros elementos; lo que sería necesario tener en cuenta (Koelmans et al., 2013); ya que podría darse el caso que los microplásticos al originarse por degradación cambien sus propiedades de adsorción/absorción y transporte y la concentración de sus contaminantes varíe, cambiado, por tanto, su capacidad para actuar como vectores (Andrady, 2011; Koelmans, 2015).

Por último, hay que destacar, la necesidad de regulación de estos contaminantes ante la ausencia de leyes globales sobre microplásticos. Algunos países, no obstante, como por ejemplo Japón ya han puesto en práctica ley que regulan la emisión de microplásticos (EFE Verde, 2018), reglamentando así la producción de productos de higiene y cosméticos, sin la utilización de microplásticos. Asimismo, en otros países se han tomado medidas de regulación, la mayoría de las cuales entraron en vigor a partir del año 2018. Así, Canadá prohibió la fabricación e importación de productos de cuidados personal que contengan microperlas de tamaño 5 mm o menores. Reino Unido reguló la prohibición de microplásticos en los productos de cuidados personal. En Suecia disponen de la ley de prohibición del uso de microplásticos en pasta de dientes, exfoliantes corporales, exfoliantes faciales, geles de ducha, champús y acondicionadores. Por su parte, en Francia, tienen una la ley en la que se prohíbe la comercialización de productos cosméticos con microplásticos, enjuagados con fines de exfoliación o limpieza, y palillos de plástico recubiertos de algodón en sus puntas domésticas (bastoncillos con algodón), estos últimos serán retirados del mercado a partir del 1 de enero de 2020. Por último, en Bélgica, está prohibida la utilización de microesferas de plástico en productos cosméticos y en productos orales (Residuos Profesional, 2018). Sin embargo, en la actualidad no existe aún ninguna legislación, ni nacional ni europea, que regule la existencia de microplásticos y nanoplásticos como contaminantes en los alimentos. No obstante, sí hay procedimientos de identificación y cuantificación de estos elementos, en los alimentos (Aecosan, 2017).

Estudiar el impacto de los microplásticos sobre la salud humana no será una tarea fácil, ya que los plásticos y sus aditivos actúan de forma distinta según las circunstancias físicas y químicas, y porque sus características pueden variar conforme los seres a lo largo de la cadena trófica los ingieren, metabolizan o excretan. Aun así, es necesario profundizar en esta nueva línea de investigación ya que, como se ha dicho, los microplásticos son omnipresentes, y en muchos casos invisibles. Lo preocupante es que estos contaminantes y sus componentes pueden penetrar en los organismos, en sus tejidos y órganos, y aun no se disponen de datos fehacientes sobre sus posibles efectos adversos en las poblaciones.

6. Bibliografía

- Aecosan. Microplásticos y Nanoplásticos [Internet]. 2017. Disponible en:
http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/ampliacion/microplasticos_nanoplasticos.htm
- Alimi OS, Farner Budarz J, Hernandez LM, Tufenkji N. Microplastics and Nanoplastics in Aquatic Environments: Aggregation, Deposition, and Enhanced Contaminant Transport. *Environ Sci Technol*. 2018;52(4):1704-24.
- Alonso-Magdalena P, Ropero AB, Soriano S, García-Arévalo M, Ripoll C, Fuentes E, et al. Bisphenol-A acts as a potent estrogen via non-classical estrogen triggered pathways. *Mol Cell Endocrinol*. 2012;355(2):201-7.
- Anderson JC, Park BJ, Palace VP. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environ Pollut*. 2016;218:269-80.
- Andrady AL. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*. 2011;62(8):1596-605.
- Acquavella J.F, Douglass S, Phillips SC. Evaluation of excess colorectal cancer incidence among workers involved in the manufacture of polypropylene. *J. Occup. Med*. 1988;30 (5):438-42.
- Arthur C, Baker J and Bamfor H. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. 2009. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- Ashton K, Holmes L, Turner A. Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Mar Pollut Bull*. 2010;60(11):2050-5.
- Bahners T, Ehrler P, Hengstberger M. Erste Untersuchungen zur Erfassung and Charakterisierung textiler Feinstäube. *Melliand Textilberichte*. 1994;75:24-30.
- Bakir A, O'Connor IA, Rowland SJ, Hendriks AJ, Thompson RC. Relative importance of microplastics as a pathway for the transfer of hydrophobic organic chemicals to marine life. *Environ Pollut*. 2016;219:56-65.
- Barletta, M. C MF. Plastics buried in the inter-tidal plain of a tropical estuarine ecosystem. *Journal of Coastal Research*. 2011;64:339-343.
- Barnes DKA, Galgani F, Thompson RC, Barlaz M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2009;364(1526):1985-98.
- Besseling E, Wegner A, Foekema EM, van den Heuvel-Greve MJ, Koelmans AA. Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environ Sci Technol*. 2013;47(1):593-600.
- Bilcke CV. The Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. *RECIEL*. 2002;11(3);328-342.

Boerger CM, Lattin GL, Moore SL, Moore CJ. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Mar Pollut Bull.* 2010;60(12):2275-8.

Brennecke D, Duarte B, Paiva F, Caçador I, Canning-Clode J. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuar Coast Shelf Sci.* 2016;178:189-95.
Brennecke D, Ferreira EC, Costa TMM, Appel D, da Gama BAP, Lenz M. Ingested microplastics (>100µm) are translocated to organs of the tropical fiddler crab *Uca rapax*. *Mar Pollut Bull.* 2015;96(1-2):491-5.

Boucher J and Friot D [Internet]. Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. Gland, Switzerland. IUCN. 2017;43 Disponible en:
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002.pdf>

Browne MA, Chapman MG, Thompson RC, Amaral Zettler LA, Jambeck J, Mallos NJ. Spatial and Temporal Patterns of Stranded Intertidal Marine Debris: Is There a Picture of Global Change? *Environ Sci Technol.* 2015;49(12):7082-94.

Browne MA, Dissanayake A, Galloway TS, Lowe DM, Thompson RC. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ Sci Technol.* 2008;42(13):5026-31.

Browne MA, Niven SJ, Galloway TS, Rowland SJ, Thompson RC. Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity. *Curr Biol.* 2013;23(23):2388-92.

Carbery M, O'Connor W, Palanisami T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ Int.* 2018;115:400-9.

Carr SA, Liu J, Tesoro AG. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res.* 2016;91:174-82.

Cedervall T, Hansson L-A, Lard M, Frohm B, Linse S. Food Chain Transport of Nanoparticles Affects Behaviour and Fat Metabolism in Fish. *PLoS ONE.* 2012;7(2):e32254.

Chae Y, An Y-J. Effects of micro- and nanoplastics on aquatic ecosystems: Current research trends and perspectives. *Mar Pollut Bull.* 2017;124(2):624-32.

Chai G, He H, Sha Y, Zhai G, Zong S. Effect of PM_{2.5} on daily outpatient visits for respiratory diseases in Lanzhou, China. *Sci Total Environ.* 2019;649:1563-72.

Chianese R, Troisi J, Richards S, Scafuro M, Fasano S, Guida M et al. Bisphenol A in reproduction: epigenetic effects. *Curr. Med. Chem.* 2018;25(6):748-70.

Claessens M, Van Cauwenberghe L, Vandegehuchte MB, Janssen CR. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Mar Pollut Bull.* 2013;70(1-2):227-33.

Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar Pollut Bull.* 2011;62(12):2588-97.

- Costa JP, Santos PSM, Duarte AC, Rocha-Santos T. (Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects. *Sci Total Environ.* 2016;566-567:15-26.
- De Falco F, Di Pace E, Cocca M, Avella M. The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Sci Rep.* 2019;9(1):6633.
- Dehghani S, Moore F, Akhbarizadeh R. Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. *Environ Sci Pollut Res.* 2017;24(25):20360-71.
- Derraik JGB. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar Pollut Bull.* 2002;44(9):842-52.
- Desforges J-PW, Galbraith M, Dangerfield N, Ross PS. Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Mar Pollut Bull.* 2014;79(1-2):94-9.
- Dris R, Gasperi J, Mirande C, Mandin C, Guerrouache M, Langlois V, et al. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environ Pollut.* 2017;221:453-8.
- Dris R, Gasperi J, Rocher V, Saad M, Renault N, Tassin B. Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environ Chem.* 2015;12(5):592.
- Dris R, Gasperi J, Saad M, Mirande C, Tassin B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Mar Pollut Bull.* 2016;104(1-2):290-3.
- Ecologistas en acción [Internet]. Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. 2017. Disponible en: <https://spip.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-basuras-marinas.pdf>
- EFE Verde. Japón lucha contra los microplásticos con una nueva ley [Internet]. 2018. Disponible en: <https://www.efeverde.com/noticias/japon-ley-reducir-microplasticos/>
- EFSA. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA J.* 2016;30.
- Fazio F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. *Aquaculture.* 2019;500:237-42.
- Fendall LS, Sewell MA. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Mar Pollut Bull.* 2009;58(8):1225-8.
- Fundéu. Microplásticos en una sola palabra [Internet]. 2018a. Disponible en: <https://www.fundeu.es/recomendacion/microplasticos-en-una-sola-palabra/>
- Gasperi J, Wright SL, Dris R, Collard F, Mandin C, Guerrouache M, et al. Microplastics in air: Are we breathing it in? *Curr Opin Environ Sci Health.* 2018;1:1-5.
- GESAMP. [Internet] Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. 2017. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics%20full%20study.pdf

- Gregory MR. Plastic 'scrubbers' in hand cleansers: a further (and minor) source for marine pollution identified. *Mar Pollut Bull.* 1996;32(12):867-71.
- Hahladakis JN, Velis CA, Weber R, Iacovidou E, Purnell P. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J Hazard Mater.* 2018;344:179-99.
- Hermesen E, Pompe R, Besseling E, Koelmans AA. Detection of low numbers of microplastics in North Sea fish using strict quality assurance criteria. *Mar Pollut Bull.* 2017;122(1-2):253-8.
- Hirai H, Takada H, Ogata Y, Yamashita R, Mizukawa K, Saha M, et al. Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Mar Pollut Bull.* 2011;62(8):1683-92.
- Holmes LA, Turner A, Thompson RC. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environ Pollut.* 2012;160:42-8.
- Hu L, Chernick M, Hinton DE, Shi H. Microplastics in Small Waterbodies and Tadpoles from Yangtze River Delta, China. *Environ Sci Technol.* 2018;52(15):8885-93.
- Huerta Lwanga E, Mendoza Vega J, Ku Quej V, Chi J de los A, Sanchez del Cid L, Chi C, et al. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Sci Rep.* 2017;7(1):14071.
- Hussain N, Jaitley V, Florence AT. Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics. *Adv Drug Deliv Rev.* 2001; 50(1-2):107-42.
- Karami A, Golieskardi A, Keong Choo C, Larat V, Galloway TS, Salamatinia B. The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Sci Rep.* 2017;7(1):46173.
- Karami A, Romano N, Galloway T, Hamzah H. Virgin microplastics cause toxicity and modulate the impacts of phenanthrene on biomarker responses in African catfish (*Clarias gariepinus*). *Environ Res.* 2016;151:58-70.
- Keswani A, Oliver DM, Gutierrez T, Quilliam RS. Microbial hitchhikers on marine plastic debris: Human exposure risks at bathing waters and beach environments. *Mar Environ Res.* 2016;118:10-9.
- Koehler A, Anderson A, Andrady A, Arthur C, Baker J, Bouwman H, et al. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. 2015 [citado 6 de julio de 2019]; Disponible en: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.3803.7925>
- Koelmans AA. Modeling the Role of Microplastics in Bioaccumulation of Organic Chemicals to Marine Aquatic Organisms. A Critical Review. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* 313–328.
- Koelmans AA, Bakir A, Burton GA, Janssen CR. Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. *Environ Sci Technol.* 2016;50(7):3315-26.
- Koelmans AA, Besseling E, Wegner A, Foekema EM. Plastic as a Carrier of POPs to Aquatic Organisms: A Model Analysis. *Environ Sci Technol.* 2013;47(14):7812-20.

- Kosuth M, Waattenberg EV, Manson SA, Tyree C, Morrison D [Internet]. Synthetic Polymer Contaminating Global Drinking Water. Disponible en: https://orbmedia.org/stories/invisibles_final_report
- Kulkarni SA, Feng S-S. Effects of Particle Size and Surface Modification on Cellular Uptake and Biodistribution of Polymeric Nanoparticles for Drug Delivery. *Pharm Res.* 2013;30(10):2512-22.
- Lassen C, Hansen SF, Magnusson K, Noren F, Hartmann NIB, Jensen PR et al. Microplastic: occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. The Danish Environmental Protection Agency. 2015.
- Lechner A, Keckeis H, Lumesberger-Loisl F, Zens B, Krusch R, Tritthart M, et al. The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environ Pollut.* 2014;188:177-81.
- Li WC, Tse HF, Fok L. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Sci Total Environ.* 2016;566-567:333-49.
- Liboiron M, Liboiron F, Wells E, Richárd N, Zahara A, Mather C, et al. Low plastic ingestion rate in Atlantic cod (*Gadus morhua*) from Newfoundland destined for human consumption collected through citizen science methods. *Mar Pollut Bull.* 2016;113(1-2):428-37.
- Liebezeit G, Liebezeit E. Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Addit Contam Part A.* 2013;30(12):2136-40.
- Liebezeit G, Liebezeit E. Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Addit Contam Part A.* 2014;31(9):1574-8.
- Lourenço PM, Serra-Gonçalves C, Ferreira JL, Catry T, Granadeiro JP. Plastic and other microfibers in sediments, macroinvertebrates and shorebirds from three intertidal wetlands of southern Europe and west Africa. *Environ Pollut.* 2017;231:123-33.
- Mason SA, Garneau D, Sutton R, Chu Y, Ehmann K, Barnes J, et al. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environ Pollut.* 2016;218:1045-54.
- Mastrangelo G. Lung cancer risk in workers exposed to poly(vinyl chloride) dust: a nested case-referent study. *Occup Environ Med.* 2003;60(6):423-8.
- Mato Y, Isobe T, Takada H, Kanehiro H, Ohtake C, Kaminuma T. Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. *Environ Sci Technol.* 2001;35(2):318-24.
- Mattsson K, Johnson EV, Malmendal A, Linse S, Hansson L-A, Cedervall T. Brain damage and behavioural disorders in fish induced by plastic nanoparticles delivered through the food chain. *Sci Rep.* 2017;7(1):11452.
- Mintenig SM, Löder MGJ, Primpke S, Gerdt G. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Sci Total Environ.* 2019;648:631-5.

- Molina-Molina J-M, Amaya E, Grimaldi M, Sáenz J-M, Real M, Fernández MF, et al. In vitro study on the agonistic and antagonistic activities of bisphenol-S and other bisphenol-A congeners and derivatives via nuclear receptors. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2013;272(1):127-36.
- Nance E. Brain-penetrating nanoparticles for analysis of the brain microenvironment. *Methods Mol. Biol.* 2017; 1570: 91-104
- Oberbeckmann SL, Martin GJ, Labrenz M. Marine microplastic-associated biofilms- a review. *Environ Chem.* 2015; 12(5):551-562.
- Ogata Y, Takada H, Mizukawa K, Hirai H, Iwasa S, Endo S, et al. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Mar Pollut Bull.* 2009;58(10):1437-46.
- Osman AGM, AbouelFadl KY, Abd El Reheem AEBM, Mahmoud UM, Kloas W, Moustafa MA. Blood Biomarkers in Nile tilapia *Oreochromis niloticus niloticus* and African Catfish *Clarias gariepinus* to Evaluate Water Quality of the River Nile. *J Fish [Internet].* 2018 [citado 7 de julio de 2019];12(1). Disponible en: <http://www.fisheriessciences.com/fisheries-aqua/blood-biomarkers-in-nile-tilapia-oreochromis-niloticus-niloticus-and-african-catfish-clarias-gariepinus-to-evaluate-water-quality.php?aid=21796>
- Pauly L, Stegmeier J, Cheney T, Zhang J, Streck J, Allaart A, et al. Inhaled Cellulosic and Plastic Fibers Found in Human Lung Tissue'. *Cancer Epidemiol.* 1998;7(5):419-28.
- Pazos RS, Maiztegui T, Colautti DC, Paracampo AH, Gómez N. Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary. *Mar Pollut Bull.* 2017;122(1-2):85-90.
- Peters CA, Bratton SP. Urbanization is a major influence on microplastic ingestion by sunfish in the Brazos River Basin, Central Texas, USA. *Environ Pollut.* 2016;210:380-7.
- Plastic Europe [Internet]. Plastic- The Fact 2018. 2018b. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es>
- Pouzaud F, Thierry-Mieg M, Burga K, Vérines-Jouin L, Fiore K, Beausoleil C, et al. Concerns related to ED-mediated effects of Bisphenol A and their regulatory consideration. *Mol Cell Endocrinol.* 2018;475:92-106.
- Prata JC. Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environ Pollut.* 2018;234:115-26.
- Psillakis E, Mantzavinos D, Kalogerakis N. Monitoring the sonochemical degradation of phthalate esters in water using solid-phase microextraction. *Chemosphere.* 2004;54(7):849-57.
- Residuos Profesional. Estados Unidos, Canadá. El Reino Unido, Francia, Suecia: Países que prohíben los microplásticos en los cosméticos. 2018.
- Rios LM, Moore C, Jones PR. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Mar Pollut Bull.* 2007;54(8):1230-7.
- Rochman, C. M.. 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.* 2015;117–140).

- Rochman CM, Browne MA, Underwood AJ, van Franeker JA, Thompson RC, Amaral-Zettler LA. The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived. *Ecology*. 2016;97(2):302-12.
- Rochman CM, Hentschel BT, Teh SJ. Long-Term Sorption of Metals Is Similar among Plastic Types: Implications for Plastic Debris in Aquatic Environments. Meador JP, editor. *PLoS ONE*. 2014;9(1):e85433.
- Rochman CM, Hoh E, Kurobe T, Teh SJ. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci Rep*. 2013a;3(1):3263.
- Rochman CM, Hoh E, Kurobe T, Teh SJ. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci Rep*. 2013b;3(1):3263.
- Ryan PG, Moore CJ, van Franeker JA, Moloney CL. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2009;364(1526):1999-2012.
- Sadri SS, Thompson RC. On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Mar Pollut Bull*. 2014;81(1):55-60.
- Sathyanarayana S. Phthalates and Children's Health. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*. 2008;38(2):34-49.
- Sayed AE-DH, Authman MMN. The protective role of *Spirulina platensis* to alleviate the Sodium dodecyl sulfate toxic effects in the catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Ecotoxicol Environ Saf*. 2018;163:136-44.
- Sayed AE-DH, Soliman HAM. Modulatory effects of green tea extract against the hepatotoxic effects of 4-nonylphenol in catfish (*Clarias gariepinus*). *Ecotoxicol Environ Saf*. 2018;149:159-65.
- Schirinzi GF, Pérez-Pomeda I, Sanchís J, Rossini C, Farré M, Barceló D. Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environ Res*. 2017;159:579-87.
- Setälä O, Fleming-Lehtinen V, Lehtiniemi M. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ Pollut*. 2014;185:77-83.
- Sjollema SB, Redondo-Hasselerharm P, Leslie HA, Kraak MHS, Vethaak AD. Do plastic particles affect microalgal photosynthesis and growth? *Aquat Toxicol*. 2016;170:259-61.
- Su L, Nan B, Hassell KL, Craig NJ, Pettigrove V. Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (*Gambusia holbrooki*). *Chemosphere*. 2019;228:65-74.
- Sussarellu R, Suquet M, Thomas Y, Lambert C, Fabioux C, Pernet MEJ, et al. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc Natl Acad Sci*. 2016;113(9):2430-5.
- Teuten EL, Saquing JM, Knappe DRU, Barlaz MA, Jonsson S, Björn A, et al. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2009;364(1526):2027-45.
- Thompson, R.C. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*. 2004;304(5672):838-838.

- Thompson RC, Moore CJ, vom Saal FS, Swan SH. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 2009;364(1526):2153-66.
- Valavanidis A, Vlachogianni T, Fiotakis K, Loridas S. Pulmonary Oxidative Stress, Inflammation and Cancer: Respirable Particulate Matter, Fibrous Dusts and Ozone as Major Causes of Lung Carcinogenesis through Reactive Oxygen Species Mechanisms. *Int J Environ Res Public Health.* 2013;10(9):3886-907.
- Van Cauwenberghe L, Janssen CR. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ Pollut.* 2014;193:65-70.
- Vethaak AD, Leslie HA. Plastic Debris Is a Human Health Issue. *Environ Sci Technol.* 2016;50(13):6825-6.
- Vobecky J, Devroede G, Lacaille J, Water A. An occupational group with high risk of large bowel cancer. *Gastroenterology.* 1978;75(2): 221-23.
- Wang F, Wong CS, Chen D, Lu X, Wang F, Zeng EY. Interaction of toxic chemicals with microplastics: A critical review. *Water Res.* 2018;139:208-19.
- Waring RH, Harris RM, Mitchell SC. Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? *Maturitas.* 2018;115:64-8.
- Wegner A, Besseling E, Foekema EM, Kamermans P, Koelmans AA. Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.). *Environ Toxicol Chem.* 2012;31(11):2490-7.
- Welden NA, Cowie PR. Degradation of common polymer ropes in a sublittoral marine environment. *Mar Pollut Bull.* 2017;118(1-2):248-53.
- Wetherill YB, Akingbemi BT, Kanno J, McLachlan JA, Nadal A, Sonnenschein C, et al. In vitro molecular mechanisms of bisphenol A action. *Reprod Toxicol.* 2007;24(2):178-98.
- Wilkinson J, Hooda PS, Barker J, Barton S, Swinden J. Occurrence, fate and transformation of emerging contaminants in water: An overarching review of the field. *Environ Pollut.* 2017;231:954-70.
- Wright SL, Kelly FJ. Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environ Sci Technol.* 2017;51(12):6634-47.
- Xu LJ, Chu W, Graham N. Sonophotolytic degradation of phthalate acid esters in water and wastewater: Influence of compound properties and degradation mechanisms. *J Hazard Mater.* 2015;288:43-50.
- Yang Y, Yang J, Wu W-M, Zhao J, Song Y, Gao L, et al. Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 2. Role of Gut Microorganisms. *Environ Sci Technol.* 2015;49(20):12087-93.
- Zhang C, Chen X, Wang J, Tan L. Toxic effects of microplastic on marine microalgae *Skeletonema costatum*: Interactions between microplastic and algae. *Environ Pollut.* 2017;220:1282-8.

Zitko V, Hanlon M. Another source of pollution by plastics: Skin cleaners with plastic scrubbers. Mar Pollut Bull. 1991;22(1):41-2.