

Emisión de microplásticos desde estaciones depuradoras de aguas residuales: ¿son los polímeros más demandados los más encontrados en nuestros efluentes?

Javier Bayo^a, Sonia Olmos^a, Joaquín López-Castellanos^b y María Dolores Rojo^a

^aDepartment of Chemical and Environmental Engineering, Technical University of Cartagena, Spain; ^bCETENMA, Spain

javier.bayo@upct.es

RESUMEN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) pueden actuar como sumideros pero también como fuentes de microplásticos (MP) al medio ambiente, debido a una retención incompleta de los mismos durante el proceso de tratamiento. Se sabe que estos microcontaminantes se transfieren entre diferentes organismos acuáticos, por lo que existe una preocupación por los daños potenciales que pueden ejercer, de tipo físico y químico, alcanzando finalmente al ser humano. Este estudio examina la eliminación y liberación de microplásticos de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en Cartagena, sureste de España, durante 2017. Para ello, se trabajó con un total de 202,5 L de agua residual, distribuidos en cuatro puntos de muestreo: entrada (13,7%), decantador primario (13,4%), reactor biológico (34,2%) y efluente de salida (38,7%). Los microplásticos se extrajeron mediante una técnica de separación por densidad con disolución concentrada de NaCl (1,2 g/cm³), antes de la filtración a través de un filtro de membrana microporosa de 0,45 µm. Las micropartículas recuperadas se visualizaron y se fotografiaron utilizando un microscopio estereoscópico acoplado a una cámara digital de alta resolución, y se identificaron y confirmaron como polímeros plásticos mediante FT-IR, aspecto este último que falta en muchos estudios sobre microplásticos, donde la exclusiva confirmación visual puede ser muy sesgada. El análisis FT-IR confirmó la presencia de partículas microplásticas en el 45,7% de las micropartículas aisladas (n=388). Los datos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre la cantidad de microplásticos en la entrada (4,11 ± 0,80 MP/L) y salida (0,30 ± 0,08 MP/L) de la EDAR (*t*-Student = 5,002, *p*<0,001), lo que representa un factor de emisión del 7,3%. La mayor reducción en la concentración de microplásticos, estadísticamente significativa, se produjo entre el reactor biológico (3,02 ± 0,45 MP/L) y el efluente de salida (0,30 ± 0,08 MP/L) (*t*-Student = 6,037, *p*<0,001). La categoría de tamaño más común para las partículas microplásticas fue la de mini-microplásticos (85,4%) frente a microplásticos (14,6%), con tamaños promedio de 0,51 ± 0,01 y 1,83 ± 0,15 mm, respectivamente. El polímero plástico mayormente detectado fue el polietileno de baja densidad (3,28 ± 0,59 MP/L), seguido del polietileno de alta densidad (1,83 ± 0,68 MP/L), polímeros de acrilato y copolímeros (1,30 ± 0,47 MP/L), polipropileno (0,80 ± 0,16 MP/L) y polietileno-polipropileno (0,39 ± 0,15 MP/L). Las formas aisladas fueron variadas: fragmentos (50,2%), films (32,7%), microesferas (14,2%), fibras (2,6%) y espumas (0,3%), estando el 91,3% de los films constituidos por polietileno de baja densidad. Además, este polímero estaba presente principalmente como mini-microplástico (92,4%). Las bolsas de plástico de un solo uso, que sólo recientemente han adquirido un gravamen obligatorio en nuestro país, así como los residuos procedentes de invernaderos de las zonas agrícolas cercanas a la planta de tratamiento, podrían ser los principales responsables de estos resultados.

INTRODUCCIÓN

Según PlasticsEurope (2017), la producción mundial de plásticos fue de 335 millones de toneladas para 2016, un 4,03% superior a la del año 2015, pudiendo ser la mayor parte de ésta atribuida a: polipropileno (PP) 19,3%, polietileno de baja densidad (PE-LD) 17,5%, polietileno de alta densidad (PE-HD), cloruro de polivinilo (PVC) 10%, poliuretano (PUR) 7,5%, polietilen-tereftalato (PET) 7.4 % y poliestireno (PS) 6,7% (PlasticEurope, 2017).

Dicho aumento en la producción viene propiciado por la gran demanda de plástico de los principales sectores del mercado como son; la industria del empaquetado (39,9%), el sector de la construcción (19,7%), el sector automovilístico (10%), la industria eléctrica y electrónica (6,2%) y la agricultura (3,3%), entre otros (PlasticEurope, 2017).

Es por toda esta producción y consumo por lo que los microplásticos, tanto de origen primario como secundario, son un contaminante antropogénico emergente, actualmente reconocidos como uno de los contaminantes ambientales más importantes y en continuo crecimiento, y que generan una gran cantidad de impactos ecológicos (Gregory, 2009).

Una vez que éstos se liberan al medio ambiente, especialmente cuando alcanzan aguas continentales u oceánicas, pueden ser ingeridos por peces, algas, moluscos o pequeños invertebrados (Gall *et al.*, 2015), pudiendo llegar finalmente al ser humano. Actualmente se cree que más de 250 especies incluyendo peces, aves marinas, tortugas y mamíferos marinos se ven afectadas por la ingestión de plásticos de tamaño microscópico, procedentes de la fragmentación de plásticos más grandes o directamente sintetizados con ese tamaño para su uso en cosmética, pinturas, etc. (Ugolini *et al.*, 2013). El problema del impacto biológico en la ingesta de microplásticos está bien descrita (Leslie *et al.*, 2017), y se centra tanto en el daño o bloqueo físico que estos microcontaminantes puedan tener sobre el tracto digestivo del animal que los ingiere, así como en la lixiviación de los componentes químicos que componen dicho plástico junto con los contaminantes que haya podido adsorber (Bayo *et al.*, 2017).

Hasta la fecha, pocos trabajos han cuantificado microplásticos en aguas residuales, aún a sabiendas de que las estaciones de tratamiento de aguas residuales, junto con el proceso de escorrentía urbana, suponen una de las vías más importantes de llegada de microplásticos al medio ambiente (Eerkes-Medrano *et al.*, 2015), no sólo a través del agua depurada, sino también mediante el uso de los fangos (Bayo *et al.*, 2016).

Los pocos estudios realizados, todos ellos muy recientes, han relacionado la presencia de microplásticos en el efluente de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) con las concentraciones encontradas en el medio marino. Así, Talvitie *et al.* (2015) detectaron tipos similares de microplásticos, que en su mayoría eran fibras y partículas sintéticas, tanto en el efluente terciario de una EDAR de Finlandia como en el agua de mar del Golfo de Finlandia. Además, un estudio reciente de Murphy *et al.* (2016) realizado en una EDAR de Escocia, sugiere que 65 millones de microplásticos al día podrían entrar en el medio acuático procedentes del efluente depurado, a pesar de una tasa de retención del 98% ejercida en la propia depuradora. Carr *et al.* (2016) encontraron que los procesos de tratamiento terciario eran efectivos en la eliminación de microplásticos del efluente final, con una descarga media de un microplástico por cada

1.400 litros de agua residual tratada.

Por todo esto, y debido a la importancia que tiene la mitigación de estos contaminantes, este artículo se centra principalmente en examinar la eliminación y liberación de microplásticos de una planta de tratamiento de aguas residuales, así como en la identificación del posible origen de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestra

La recolección de agua residual depurada se realizó durante el año 2017, en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cartagena (EDAR Cabezo Beaza) donde se depuran aguas residuales urbanas generadas en el núcleo de la ciudad, en el polígono industrial y en otros pequeños núcleos cercanos a Cartagena. Esta depuradora se construyó durante los años 70 para el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales de la ciudad, mediante un sistema de estabilización por lagunaje.

Desde el año 2001, el proceso se cambió para convertirla en un sistema convencional, con tratamiento primario y dos reactores de fango activado en paralelo, que atiende a cerca de 210.000 habitantes equivalente, con un caudal diario de unos 35.000 m³ (Bayo *et al.*, 2016).

Las muestras de agua residual se recogieron en la entrada de la planta, a la salida del decantador primario, en la salida del reactor biológico y finalmente, en el efluente de la misma.

Método de extracción

Una vez se termina con la recolección de muestra comienza el método de extracción. La técnica de extracción de microplásticos empleada fue la separación por densidad y posterior filtración. Este proceso físico, utilizado para separar las partículas sólidas de los fluidos, se llevó a cabo con ayuda de filtros de membrana microporosa con un tamaño de poro de 0,45 µm y un diámetro de 110 mm. Además, se utilizó un embudo Büchner de porcelana y una bomba de vacío.

En todos los puntos de muestreo seleccionados se contaba con bastante cantidad de materia orgánica, a excepción del más próximo a la salida de la EDAR, lo que provocaba la rápida obstrucción del filtro, reduciendo así la efectividad del proceso. Para evitar este problema se empleó una técnica de separación previa por densidad con disolución concentrada de NaCl (1,2 g/cm³) (Claessens *et al.*, 2013; Thompson *et al.*, 2004). La disolución concentrada de cloruro de sodio se preparó en un matraz aforado Erlenmeyer de 1000 mL de capacidad.

Una vez filtrada la mezcla, constituida por 1 parte de disolución salina y 3 partes de muestra, el filtro es transportado a una placa Petri de 120 mm de diámetro junto con 15 mL de agua bidestilada. El conjunto se coloca en un agitador orbital a 240 rpm durante 30 minutos, para favorecer la extracción de los posibles microplásticos retenidos por el filtro.

Transcurrida esa media hora, se enjuaga el filtro con otros 10 mL de agua bidestilada y se retira del medio. Posteriormente, se lleva a sequedad la placa Petri con los posibles microplásticos aislados, a 100°C durante 24 horas. Después del secado, la muestra ya estaba lista para ser analizada, conservándose la placa Petri en desecador hasta su análisis por microscopía.

Prevención de la contaminación

El plástico es utilizado en una amplia gama de sectores y de productos, tal y como venimos indicando en el presente artículo. Por ello fue necesario tomar una serie de medidas de prevención contra la contaminación, que fueron las siguientes:

- Recogida de muestra en recipientes de vidrio con tapón de metal.
- Uso de bata de algodón y guantes de nitrilo en todos los procesos de extracción (Murphy *et al.*, 2016).
- Uso de utensilios de laboratorio de vidrio y/o metal, siempre que era posible.
- Limpieza del material de laboratorio empleado, así como las placas Petri utilizadas para el transporte y almacenaje (Rocha-Santos *et al.*, 2015), con alcohol etílico.

A pesar de todas las medidas tomadas, y puesto que se conocen otras fuentes de contaminación más difíciles de eludir, se realizó un blanco para descartar la influencia de la contaminación en nuestros datos (Imhof *et al.*, 2012; Magnusson *et al.*, 2014).

Observación visual de partículas e identificación

Para el estudio morfológico de las micropartículas aisladas en el laboratorio se empleó el estereomicroscopio trinocular SZ61 TR de Olympus, con rango de magnificación de entre 6,7 y 45 aumentos. El dispositivo lleva acoplada una cámara digital de alta resolución MC190HD de Leica, con software para la medida y procesado de imágenes LeicaApplication Suite (LAS) 4.8.0, de Microsystems Ltd., que nos permitirá el estudio del tamaño, medida de sus ejes, forma y color del microplástico extraído, y la conservación del conjunto de imágenes obtenidas en una base de datos para su posterior análisis conjunto.

A continuación, cada una de estas micropartículas fotografiadas se analizaron mediante espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (ThermoNicolet 5700), con resolución de 16 cm⁻¹ y un intervalo de entre 400 y 4000 cm⁻¹ de longitud de onda, para conocer su composición por medio de la comparación de los espectros obtenidos con bibliotecas de referencia del propio equipo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el año 2017 se procesaron 202,5 L de agua residual, distribuidos en los cuatro puntos de muestreo de la siguiente forma: entrada (13,7%), decantador primario (13,4%), reactor biológico (34,2%) y efluente de salida (38,7%).

Se identificaron visualmente un total de 849 partículas de tamaño inferior a 5 mm, de las que el 45,7 % resultaron ser microplásticos (n=388). Este dato corrobora la importancia que tiene el uso de una técnica de confirmación de la composición polimérica de la

micropartícula, como es el FTIR, evitando así la sobreestimación, que puede llegar al 70% de los resultados obtenidos si solo se emplea la estereomicroscopía (Hidalgo *et al.*, 2012).

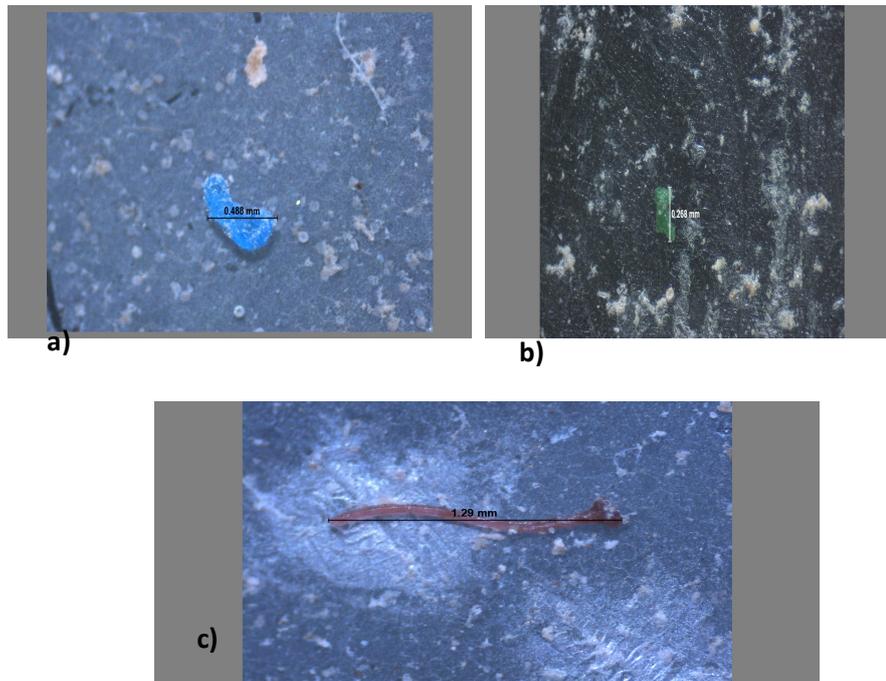


Figura 1. a) Polietileno. b) Polietileno de baja densidad. c) Polipropileno.

El uso del estereomicroscopio nos permitió realizar una clasificación más exhaustiva según el tamaño de los microplásticos siendo las partículas más recurrentes, con un 85,4%, aquellas que presentaban un tamaño entre 1 mm y 1 μ m (mini-microplásticos).

Con respecto a la clasificación según su forma, destacan los fragmentos con un 50,2%, seguido de los films (32,7%) y las microesferas (14,2%) y en último lugar las fibras (2,6%) y espumas (0,3%). Además, esta técnica de identificación permitía distinguir tonalidades tan llamativas como las que se muestran en la figura anterior.

Dentro de las diferentes tonalidades, y a pesar de que la gran mayoría presentaba tonos marrones o blanquecinos (debido al contacto con la materia orgánica), el 65,8% de las micropartículas plásticas azules resultaron ser polietileno, seguido del polietileno-tereftalato y el polietileno-polipropileno (16,6%), aunque con porcentajes no tan elevados. Para el caso de las tonalidades rojizas y verdosas, es el polipropileno es plástico más frecuente.

En cuanto a la evolución de los microplásticos dentro de la estación depuradora objeto de estudio, los datos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre la cantidad de microplásticos en la entrada (Desbaste, $4,11 \pm 0,80$ MP/L) y salida (Decantador Secundario, $0,30 \pm 0,08$ MP/L) de la EDAR (t -Student = 5,002, $p < 0,001$), lo que representa un factor de reducción del 92,7 %.

A pesar de contar con un porcentaje de reducción que *a priori* puede parecer elevado, por la estación depuradora pueden pasar hasta 35.000 m³ de agua al día, por lo que estaríamos hablando de unos 10 millones de microplásticos emitidos diariamente, aproximadamente unos 3.800 millones al año, que confirman la función importante de

las EDAR, por una parte en la reducción significativa de los microplásticos puestos en el agua residual, aunque también con un papel significativo como fuentes de microplásticos al medio ambiente.

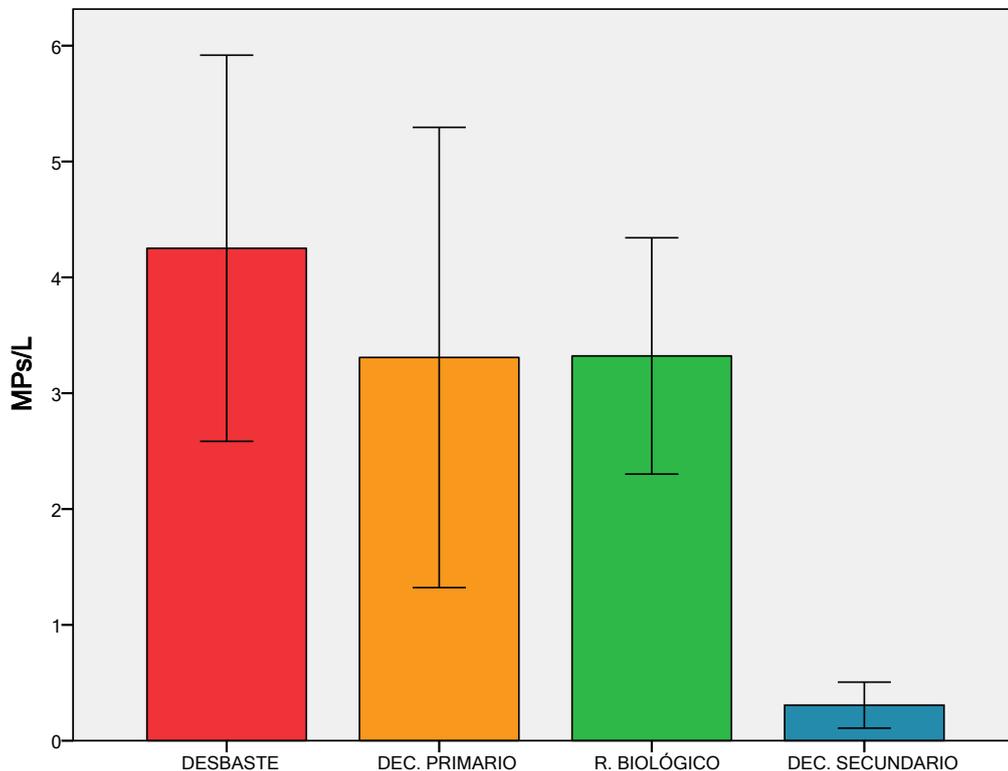


Figura 2. Evolución de los microplásticos en los cuatro puntos de muestreo (MP/litro).

La mayor y estadísticamente significativa reducción en la concentración de microplásticos entre los diferentes procesos de tratamiento fue entre el reactor biológico ($3,02 \pm 0,45$ MP/L) y el efluente de salida ($0,30 \pm 0,08$ MP/L) (t -Student = 6,037, $p < 0,001$).

En relación a los polímeros plásticos, el polietileno de baja densidad (PE-LD) fue el polímero mayormente detectado ($3,28 \pm 0,59$ MPs/L), seguido del polietileno de alta densidad ($1,83 \pm 0,68$ MP/L), polímeros de acrilato y copolímeros ($1,30 \pm 0,47$ MP/L), polipropileno ($0,80 \pm 0,16$ MP/L) y polietileno-polipropileno ($0,39 \pm 0,15$ MP/L).

Si comparamos los polímeros más demandados con los resultados arrojados por la depuradora de estudio se podría decir que, a pesar de que el polipropileno aparece con unas concentraciones menos significativas de lo esperado, el polietileno, tanto de baja como de alta densidad, es el polímero más recurrente.

Este plástico se presentaba principalmente como mini-microplástico y constituye el 91.3% de los films identificados.

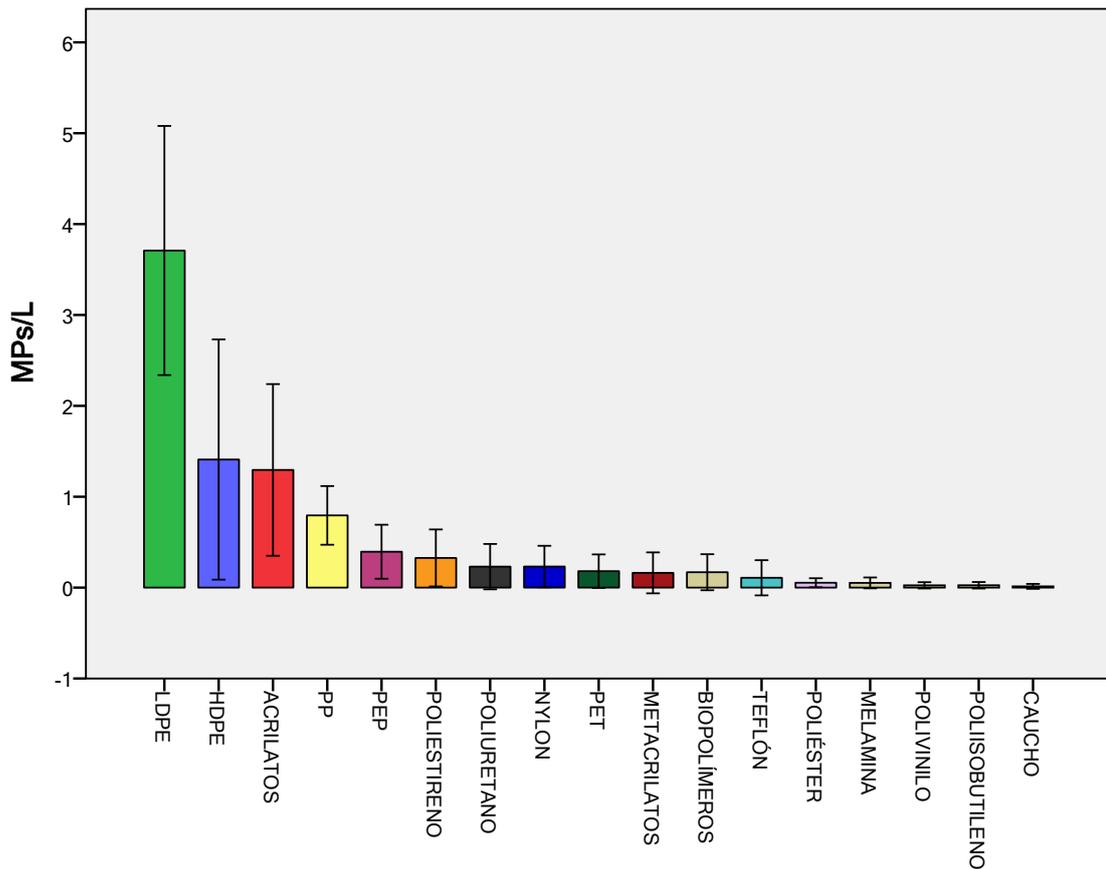


Figura 3. Clasificación de las micropartículas plásticas por litro encontradas.

La gran actividad agrícola que se lleva a cabo en los alrededores de la estación de aguas residuales urbanas y el gran consumo plástico que conlleva el empaquetado asociado a dicha actividad, podrían ser los principales focos de contaminación por polietileno. Además, las bolsas de plástico de un solo uso, que sólo recientemente han adquirido un gravamen obligatorio en nuestro país, podrían ser también uno de los orígenes de la aparición de este polímero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bayo, J., Martínez, A., Guillén, M., Olmos, S., Roca, M.J., Alcolea, A. (2017). Microbeads in commercial facial cleansers: threatening the environment. *Clean - Soil, Air, Water* 45(7), 1600683.

Bayo, J., Olmos, S., López-Castellanos, J., Alcolea, A. (2016) Microplastics and microfibers in the sludge of a municipal wastewater treatment plant. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 11(5): 812-821.

Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in

wastewater treatment plants. *Water Research* 91: 174-182.

Claessens, M.; Van-Cauwenberghe, L.; Vandegehuchte, M. and Janssen C. (2013) New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine Pollution Bulletin* 70 227–233.

Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., Aldridge, D.C. (2015). Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research* 75: 63-82.

Gall, S.C., Thompson, R.C. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* 92: 170-179.

Gregory, M.R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings - entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 364: 2013-2025.

Hidalgo-Ruz, V.; Gutow, L.; Thompson, R.C.; Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3060–3075.

Imhof H, Jschnid J, Niessner R, Ivleva NP, Laforsch C. (2012). A novel, highly efficient method for the quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnology and Oceanography: Methods* 10, 524–37.

Leslie, H.A., Brandsma, S.H., van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International* 101: 133-142.

Magnusson, K. and Norén, F. IVL Swedish Environmental Research Institute. (2014). Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B. (2016). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental Science & Technology* 50(11): 5800-5808.

Plastics Europe (2017). Analysis of Plastics Production, Demand and Recovery in Europe; Plastics Europe, Association of Plastic. Manufacturers: Brussels.

Rocha-Santos, T., Duarte, A.C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 65: 47-53.

Talvitie, J., Heinonen, M., Pääkkönen, J. P., Vahtera, E., Mikola, A., Setälä, O., Vahala, R. (2015). Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science and Technology* 72(9): 1495-1504.

Thompson, R.; Olsen, Y.; Mitchell, R.; Davis, A.; Rowland, S.; John, A.; McGonigle, D and Russell, A. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science* 304, 838.

Ugolini, A., Ungherese, G., Ciofini, M., Lapuccio, A. (2013). Microplastic debris in

sandhoppers. Estuarine, Coastal and Shelf Science 129: 19-22.