

DESAFÍOS EN EL ANÁLISIS Y RECUPERACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN EDARs

Parra Sanchez, Raquel – Captoplastic, S.L.
Carboneras Contreras, María Belén – Captoplastic, S.L.
Dominguez Barrio, Patricia – Captoplastic, S.L.
Fernández Benito, Amparo – Captoplastic, S.L.
Salcedo Ruíz, Alberto – Captoplastic, S.L.

SUMARIO

La contaminación por microplásticos es un problema alarmante en el medio acuático. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) se han identificado como una importante vía de entrada de microplásticos en el medio ambiente. La mayoría de los estudios se han centrado en los efluentes de agua de salida de las plantas de aguas residuales, pero realmente sólo una pequeña fracción de los microplásticos que entran en las EDAR están presentes en este efluente. En cambio, la mayor parte de los microplásticos quedan retenidos en los lodos. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la cuantificación de microplásticos (mg/l) en distintos puntos de una depuradora de aguas residuales urbanas. Se cuantificó la presencia de microplásticos en la entrada de agua a la depuradora, a la salida del pretratamiento, a la salida del reactor biológico y a la salida del tratamiento secundario. La concentración de microplásticos en cada etapa es la siguiente: 162 mg/l, 25,92 mg/l, 1982 mg/l y 0,97 mg/l, lo que demuestra una disminución de estos contaminantes en la línea de aguas. Además, se realizó una identificación de los tipos de MPs a la salida de esta depuradora, que son los que se vuelven a introducir al medio acuático. Esta identificación se realizó mediante microscopía óptica y análisis FT-IR.

PALABRAS CLAVE

microplásticos; contaminantes emergentes; contaminación aguas; calidad del agua; tratamiento aguas residuales; estación depuradora aguas residuales; lodos.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los microplásticos se han convertido en un foco de atención y han despertado una seria preocupación a nivel global. Es importante tratar de mitigar el problema actual de contaminación por microplásticos. En diciembre de 2023 tuvo lugar en el norte de España una catástrofe ambiental causada por el vertido de toneladas de pellets al océano. En los últimos años ha aumentado la preocupación por los microplásticos en las zonas costeras y en el océano (Zhang et al. 2020; Amelia et al. 2021; Dusaucy et al. 2021; Sharma et al. 2023).

Los microplásticos son todas aquellas partículas plásticas con tamaño menor de 5 mm y hasta 1 µm que pueden encontrarse en forma de espumas, perlas, pellets, fibras, etc. (Marine Debris Program 2015). Además, por su naturaleza, tamaño y forma se pueden clasificar según su origen ya sea primario: son especialmente fabricados en tamaño microplásticos, o secundario: son formados por la degradación de plásticos de mayor tamaño. Los microplásticos no solo preocupan por su acumulación, sino que, debido a sus propiedades de absorción pueden contribuir a la contaminación de microcontaminantes en el medio ambiente (Sun et al. 2019).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDARs) se consideran los principales receptores de microplásticos terrestres antes de entrar en los sistemas acuáticos naturales (Estahbanati & Fahrenfeld 2016; Yuan et al. 2021) y se convierten en un foco de emisión directa al medio, ya sea acuático (ríos, mares u océanos) como terrestre (lodos para uso agrícola). Tanto las aguas residuales industriales, como urbanas son responsables de la presencia de MPs en el medio acuático y terrestre.

Las EDARs son sistemas complejos para depurar el agua con procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar simultáneamente con el fin de lograr un efluente final de alta calidad para que pueda ser reutilizado en la agricultura o devuelto al medio ambiente (Liu et al. 2021).

En la revisión del estado del arte se encuentran múltiples estudios que han evaluado la eliminación de microplásticos mediante los diferentes procesos que tienen lugar en una EDAR, concluyendo que

aproximadamente un 90 % de los MPs que entran en una EDAR se eliminan durante los diversos tratamientos. A pesar de las altas eficiencias de eliminación encontradas en la bibliografía, aun puede liberarse un gran número de MPs a los efluentes de las aguas residuales (Murphy et al. 2016; Edo et al. 2020). Además, se encuentran pocos estudios que hayan considerados los lodos de la EDAR como trasmisor de este contaminante y es conocido que parte de los MPs que se quedan retenidos en la EDAR se transfieren a los lodos (Carr, Liu & Tesoro 2016; Li et al. 2018; Edo et al. 2020; Hongprasith et al. 2020).

Permitir que los microplásticos que llegan a la EDAR se acumulen en los lodos es una fuente de emisión de microplásticos al medio. En muchos casos, estos lodos, se utilizan como fertilizantes en suelos agrícolas, convirtiéndose en una fuente de MPs que se introducen de nuevo en el medio ambiente (Liu et al. 2021).

Algunos de los métodos actuales para cuantificar microplásticos se pueden dividir en dos tipos: métodos microscópicos y/o espectroscópicos y métodos termogravimétricos. Una de las desventajas que presentan ambos métodos es la necesidad de eliminación de los interferentes que están con los MPs, lo cual hace que las muestras analizadas no puedan ser aguas de matrices complejas con una alta carga de sólidos en suspensión. Además, los métodos microscópicos y espectroscópicos no pueden expresar los resultados en términos de concentración (mg/l) sino en número de partículas. La mayoría de la bibliografía encontrada para cuantificar microplásticos en las EDARs presenta los resultados en número de partículas/gramos o partículas/litro.

Como solución a estos problemas, Captoplastic ha desarrollado una tecnología capaz de cuantificar y capturar los MPs del medio.

En este documento se ha analizado la concentración (mg/l) de microplásticos, en distintos puntos de una EDAR urbana mediante la aplicación de la tecnología de control de Captoplastic. La EDAR se sitúa en la Comunidad de Madrid (España) y la instalación está diseñada para tratar 1500 m³/día. La línea de agua consiste en: pretratamiento, tratamiento biológico en aeración mediante turbinas de superficie y clarificación final. Se cuantificó la presencia de microplásticos en la entrada de agua a la depuradora, a la salida del pretratamiento, salida de reactor biológico y salida de secundario. Además, se realizó una identificación de los tipos de MPs que salen en la etapa de salida de secundario, que son vertidos directamente al medio acuático. Esta identificación se realizó mediante microscopía óptica y análisis FT-IR.

MATERIALES Y MÉTODOS

La toma de muestras para los ensayos de cuantificación de microplásticos se llevó a cabo en abril de 2022 en una estación depuradora de aguas residuales urbanas (EDAR) situada en el centro de España. Las muestras de aguas se recolectaron en diferentes puntos de la línea de aguas. A continuación, se detallan los puntos de toma de muestra seleccionados:

- Entrada
- Salida de Pretratamiento
- Tratamiento secundario: salida de reactor biológico
- Tratamiento secundario: salida de decantación secundaria

El método de cuantificación de microplásticos empleado es un método interno y patentado desarrollado por Captoplastic. El primer paso consiste en la determinación de los sólidos en suspensión por medio de la filtración efectuada con filtro de fibra de vidrio en la muestra de agua. La filtración de un volumen conocido se lleva a cabo utilizando un aparato a vacío, posteriormente el filtro se seca en estufa y se determina la masa de residuo retenido en el filtro mediante pesada. Una vez analizada la concentración de sólidos en suspensión, el mismo filtro se lleva a mufla con el objetivo de determinar la concentración de sólidos suspendidos fijos y volátiles.

El siguiente paso a seguir, para conocer la concentración de microplásticos, consiste en tomar una muestra líquida de volumen conocido e introducir una masa predefinida de captador. Después de un tiempo adecuado de contacto, este captador forma un agregado con los microplásticos, el cual se puede retirar mediante la aplicación de un campo magnético externo. De esta manera, se obtienen dos fases, una fase líquida que contiene principalmente partículas de naturaleza inorgánica y otras partículas orgánicas no plásticas, y una fase sólida, consistente en el agregado (captador, microplásticos y otras partículas orgánicas residuales). La fase líquida se filtra en un filtro de fibra de vidrio y posteriormente, pasa a la etapa de secado y calcinado. Por otra parte, el agregado se somete a una etapa de oxidación, lo que permite eliminar las partículas orgánicas

no plásticas residuales que hayan podido quedar retenidas por el captador. Tras la oxidación, el sólido resultante también se lleva a un proceso de secado y calcinado. Todas las masas obtenidas tras el pesado de todos los filtros en todas las etapas se llevan a un software de cálculo, desarrollado y propiedad de Captoplastic, mediante el cual se puede obtener la concentración en mg/l de microplásticos que contiene la muestra analizada.

La identificación del tipo de microplástico se llevó a cabo empleando la técnica de espectrofotometría de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). Para ello, se debe repetir el proceso descrito anteriormente, sin llegar a la etapa de calcinado. Una vez oxidado el agregado, éste se separa, obteniendo, por una parte, los microplásticos listos para su identificación por una técnica analítica adicional y el captador libre de microplásticos por otra. Para la identificación de estos contaminantes se empleó una muestra de salida de la depuradora anterior, salida de tratamiento secundario.

RESULTADOS

Este apartado muestra los principales resultados obtenidos en el análisis de la concentración de microplásticos a lo largo de la línea de aguas. Adicionalmente, se muestran los resultados de identificación del tipo de microplásticos a la salida de esta misma depuradora.

Entrada Agua

Se tomó muestra en la entrada de agua de la depuradora, antes de la entrada a la etapa de pretratamiento.

El primer paso que se debe llevar a cabo para poder cuantificar la concentración de microplásticos siguiendo el método desarrollado por Captoplastic consiste en aplicar el método de filtración por fibra de vidrio, y así conocer la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) de la muestra líquida. Una vez conocido este valor, también se debe conocer la concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos suspendidos inorgánicos (SSF). Los valores obtenidos son los siguientes:

Tabla 1: Concentración SST, SSF, SSV Entrada Agua

SST (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)
454,73	36,88	417,86

Posteriormente, se aplica el proceso descrito anteriormente, método Captoplastic, y tras introducir los datos en el software de cálculo de Captoplastic, se obtiene el siguiente valor de concentración de microplásticos en mg/l:

Tabla 2: Concentración microplásticos agua entrada

Etapas	Microplásticos (mg/l)
Agua entrada	162,49

Como se observa en las tablas anteriores, la concentración de partículas en suspensión del agua de entrada a la planta depuradora es de 454 mg/l, de las cuales 417 mg/l corresponden a sólidos orgánicos. Dentro de esta fase de partículas orgánicas, la concentración de microplásticos obtenida aplicando el método es de 162,49 mg/l.

Salida pretratamiento

La siguiente toma de muestra se llevó a cabo a la salida del pretratamiento, Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 3: Concentración SST, SSF, SSV salida pretratamiento

SST (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)
69,50	4,43	65,07

Como se observa en la Tabla 3 la concentración de sólidos en suspensión ha disminuido considerablemente tras el paso del agua de entrada por las diferentes etapas pretratamiento hasta los 69,50 mg/l de SST. La concentración de microplásticos obtenida es la siguiente:

Tabla 4: Concentración microplásticos salida pretratamiento

Etapa	Microplásticos (mg/l)
Salida pretratamiento	25,92

Se observa que no solo ha disminuido la concentración de SST, sino que esta etapa de la EDAR también ha retirado parte de los microplásticos de entrada, se presupone que especialmente los de mayor tamaño.

Salida de reactor biológico

La toma de muestra se realizó directamente a la salida del reactor biológico. Es de esperar que la concentración de SST en esta fase sufra un aumento. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 5: Concentración SST, SSF, SSV salida de reactor biológico

SST (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)
6269,13	1030,36	5238,87

La concentración de SST ha aumentado hasta los 6269 mg/l, de los cuales 5238,87 mg/l corresponden a partículas de naturaleza orgánica. La concentración de microplásticos se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 6: Concentración microplásticos salida reactor biológico

Etapa	Microplásticos (mg/l)
Salida Reactor Biológico	1982,12

Se ha obtenido una concentración de microplásticos de 1982 mg/l en la salida del reactor biológico. La mayor parte de estos microplásticos son los que se acaban depositando en el lodo en la siguiente etapa de clarificación o decantación secundaria.

Efluente, salida de secundario

Tras la decantación secundaria, el agua depurada se vierte directamente a río. Es en la arqueta de conexión a la red de vertido a río donde ha tenido lugar la última toma de muestra. En esta etapa se espera que tanto la concentración de SST y microplásticos disminuyan de manera importante.

Tabla 7: Concentración SST, SSF, SSV efluente

SST (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)
8,30	0,18	8,12

Tabla 8: Concentración microplásticos efluente

Etapa	Microplásticos (mg/l)
Salida secundario	0,97

En las tablas anteriores se observa como la concentración tanto de partículas en suspensión totales como de microplásticos disminuye conforme se avanza en los diferentes procesos de la estación depuradora (a excepción de la salida de reactor biológico, donde los microplásticos decantarán en la siguiente etapa para formar parte del lodo), sin embargo, la concentración del vertido es de aproximadamente 1 mg/l.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la identificación de microplásticos mediante el uso de FTIR:

Tabla 9: Identificación tipo microplásticos salida EDAR

ID MPs	Tipo microplástico	Forma (film, fragmento, fibra, etc)
a	PP	Fibra
b	PP	Esfera
c	PET	Fragmento
d	PP	Fragmento
e	PP	Fragmento
f	nylon	Fragmento
g	PE	Fragmento/Film
h	PP	Fragmento

La Figura 1 muestra imágenes de los microplásticos identificados en la tabla anterior:

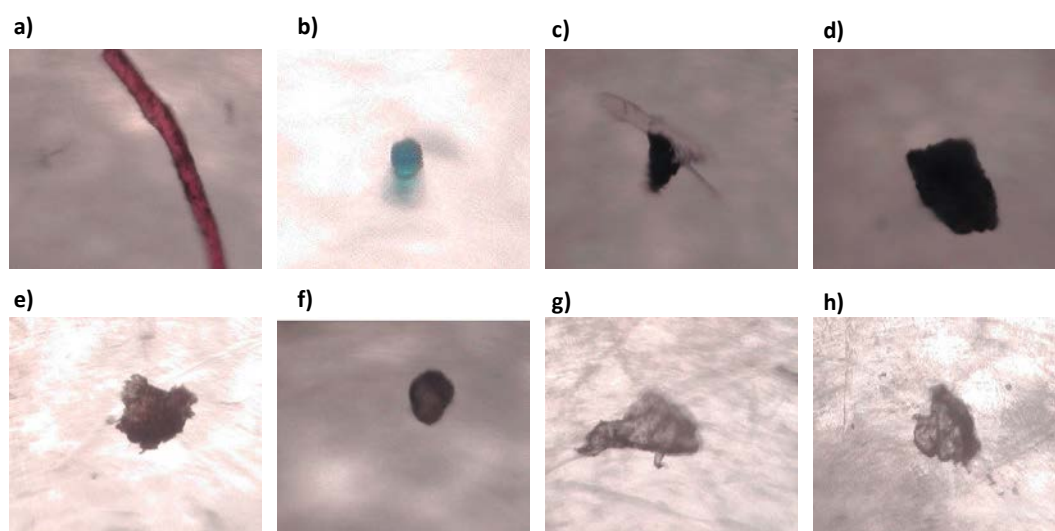


Figura 1: Plásticos identificados en el efluente de salida de la EDAR.

a) polipropileno (PP); b) polipropileno (PP); c) tereftalato de polietileno (PET); d) polipropileno (PP); e) polipropileno (PP); f) nylon; polietileno (PE); h) polipropileno (PP)

Analizando los resultados anteriores se observa como 4 de los 8 fragmentos analizados corresponden a espectros de PP, lo que equivale a un 68%. También se han encontrado fragmentos y fibras correspondientes a PET, PE y nylon. Los plásticos identificados corresponden con los tipos de polímeros más utilizados a nivel industrial para la fabricación de elementos uso habitual como envases, tuberías, etc.

CONCLUSIÓN

Tras el análisis de los resultados, se puede concluir que las estaciones depuradoras actuales son eficientes respecto a la eliminación de microplásticos de la línea de aguas, sin embargo, se ha demostrado la importante acumulación de estos contaminantes en los lodos. Es importante mencionar que los lodos de depuradora son utilizados como fertilizantes en campos de cultivo lo que hace que estos contaminantes sean devueltos al medio natural, provocando la contaminación del medio ambiente.

La Figura 2 muestra la evolución de la concentración de microplásticos en los diferentes puntos de toma de muestra, lo que evidencia la eliminación de microplásticos en la línea de agua y su acumulación en la salida del reactor biológico, que posteriormente acabará en los lodos:

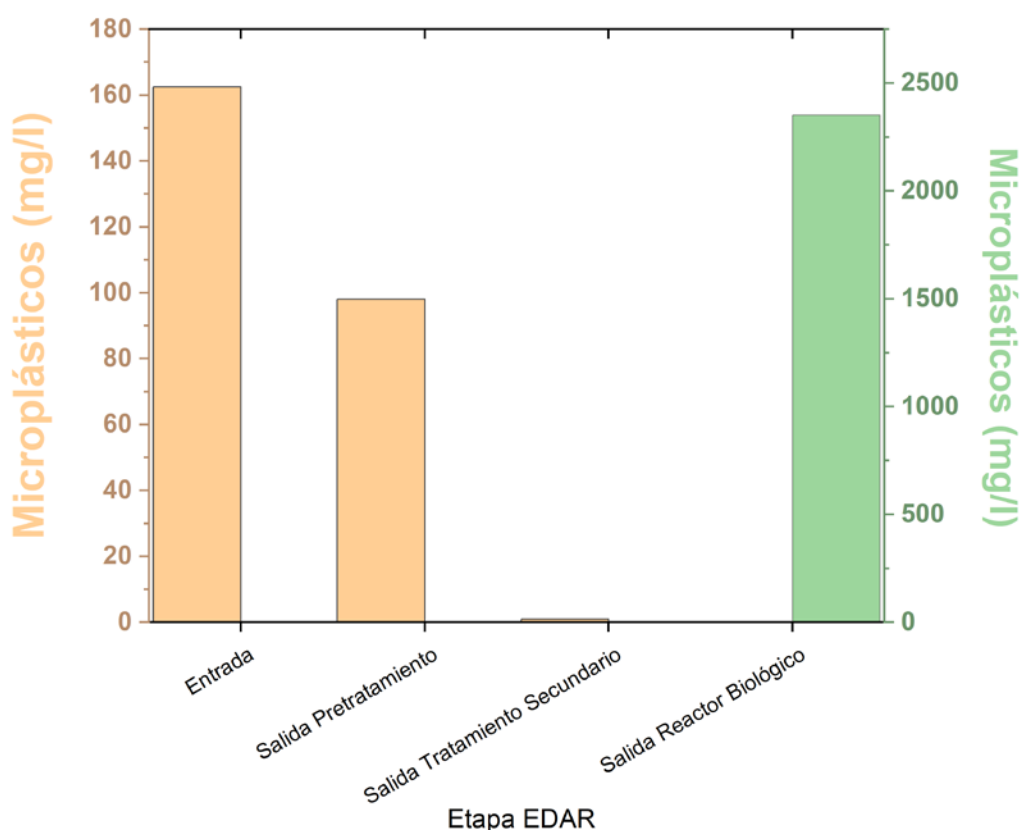


Figura 2: Evolución microplásticos línea aguas

La concentración de microplásticos en el efluente de salida de esta depuradora es de 0,97 mg/l, considerando un caudal medio diario de 1500 m³/día el vertido al medio ambiente sería de un total de más de 0,5 toneladas anuales.

REFERENCIAS

Amelia, T.S.M., Khalik, W.M.A.W.M., Ong, M.C., Shao, Y.T., Pan, H.-J. & Bhubalan, K., 2021, 'Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans', *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), 12.

Carr, S.A., Liu, J. & Tesoro, A.G., 2016, 'Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants', *Water Research*, 91, 174–182.

Dusaucy, J., Gateuille, D., Perrette, Y. & Naffrechoux, E., 2021, 'Microplastic pollution of worldwide lakes', *Environmental Pollution*, 284, 117075.

Edo, C., González-Pleiter, M., Leganés, F., Fernández-Piñas, F. & Rosal, R., 2020, 'Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge', *Environmental Pollution*, 259, 113837.

- Estahbanati, S. & Fahrenfeld, N.L., 2016, 'Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water', *Chemosphere*, 162, 277–284.
- Hongprasith, N., Kittimethawong, C., Lertluksanaporn, R., Eamchotchawalit, T., Kittipongvises, S. & Lohwacharin, J., 2020, 'IR microspectroscopic identification of microplastics in municipal wastewater treatment plants', *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18557–18564.
- Li, X., Chen, L., Mei, Q., Dong, B., Dai, X., Ding, G. & Zeng, E.Y., 2018, 'Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China', *Water Research*, 142, 75–85.
- Liu, W., Zhang, J., Liu, H., Guo, X., Zhang, X., Yao, X., Cao, Z. & Zhang, T., 2021, 'A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms', *Environment International*, 146, 106277.
- Marine Debris Program, N., 2015, *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*.
- 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.
- Sharma, S., Bhardwaj, A., Thakur, M. & Saini, A., 2023, 'Understanding microplastic pollution of marine ecosystem: a review', *Environmental Science and Pollution Research*.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., Loosdrecht, M.C.M. van & Ni, B.-J., 2019, 'Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal', *Water Research*, 152, 21–37.
- Xu, Z., Bai, X. & Ye, Z., 2021, 'Removal and generation of microplastics in wastewater treatment plants: A review', *Journal of Cleaner Production*, 291, 125982.
- Yuan, F., Zhao, H., Sun, H., Zhao, J. & Sun, Y., 2021, 'Abundance, morphology, and removal efficiency of microplastics in two wastewater treatment plants in Nanjing, China', *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 9327–9337.
- Zhang, Dongdong, Liu, X., Huang, W., Li, J., Wang, C., Zhang, Dongsheng & Zhang, C., 2020, 'Microplastic pollution in deep-sea sediments and organisms of the Western Pacific Ocean', *Environmental Pollution*, 259, 113948.

CONTACTO

María Belén Carboneras Contreras
Captoplastic, S.L.
María Tubau 8, 2º planta, 28050
+346444403837
belen.carboneras@captoplastic.com