

Validación real de una planta de tratamiento para controlar microplásticos en EDAR

Real-scale validation of a treatment plant for microplastic control in WWTPs

Zahara Martínez de Pedro | Profesora Titular, Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Madrid
Macarena Muñoz García | Profesora Titular, Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Madrid
Jorge García Martín | Investigador predoctoral, Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Madrid
José Antonio Casas de Pedro | Catedrático, Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Madrid
Raquel Parra Sánchez | Captoplastic S.L.
Gonzalo Vega Marcilla | Captoplastic S.L.
Belén Carboneras | Captoplastic S.L.
Patricia Domínguez | Captoplastic S.L.
Ana Belén Lozano | UTE Sorigué-Vectoris

La presencia de microplásticos (MPs) en las aguas residuales urbanas se ha convertido en un desafío emergente en los últimos años. A pesar de las mejoras en los tratamientos convencionales, actualmente no existe ninguna tecnología implantada de forma estandarizada en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) que garantice la eliminación eficaz de MPs, especialmente de los fragmentos y fibras de menor tamaño. La nueva Directiva de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas (UE) 2024/3019 establece requisitos más estrictos para el control de contaminantes y destaca la necesidad de reducir la liberación de partículas poliméricas al medio ambiente. En este contexto, este trabajo presenta los resultados obtenidos con la tecnología desarrollada por Captoplastic S.L., en colaboración con la Universidad Autónoma de Madrid, y comercializada por Captoplastic S.L. para la eliminación de MPs. El equipo se instaló en distintos puntos clave de la línea de aguas en la EDAR de Fortuna (Murcia), para tratar en continuo hasta 5.000 L/h. Las eficiencias obtenidas, entre el 80 % y el 90 %, muestran el potencial de la tecnología para reducir la carga de MPs en el agua y limitar su transferencia hacia la línea de lodos.

The presence of microplastics (MPs) in urban wastewater has become an emerging challenge in recent years. Despite improvements in conventional treatment processes, no standardized technology is currently implemented in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) to ensure the effective removal of MPs, particularly the smallest fragments and fibers. The new Urban Wastewater Treatment Directive (EU) 2024/3019 establishes stricter requirements for contaminant control and highlights the need to reduce the release of polymeric particles into the environment. In this context, this work presents the results obtained with the technology developed by Captoplastic S.L., in collaboration with the Autonomous University of Madrid, and currently commercialized by the company for the removal of MPs. The system was installed in Fortuna WWTP (Murcia) at different key locations along the water line to treat continuous flows of up to 5,000 L/h. Removal efficiencies ranged from 80 % to 90 %, demonstrating the potential of the technology to reduce MP loads in the water line and limit their transfer to the sludge line.



Los microplásticos (MPs), definidos como partículas poliméricas de tamaño inferior a 5 mm, se han convertido en una preocupación creciente para la gestión del ciclo urbano del agua. Su presencia en las aguas residuales urbanas es consecuencia directa de múltiples fuentes domésticas e industriales: fibras desprendidas durante el lavado de ropa, fragmentos procedentes de envases y utensilios plásticos, partículas liberadas por cosméticos y productos de higiene, así como el desgaste de materiales sintéticos. La combinación de estas fuentes genera una entrada continua de MPs a la red de saneamiento, lo que convierte a las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en nodos clave dentro del flujo ambiental de estas partículas (Liu et al., 2021).

Aunque los tratamientos convencionales de una EDAR (pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento biológico y decantación secundaria) son capaces de retener una fracción significativa de los MPs presentes en el agua, la eliminación no es completa y depende en gran medida de la forma, tamaño y densidad de las partículas plásticas (Sun et al., 2019; Bule Možar et al., 2024). Las fibras, muy abundantes en las aguas residuales urbanas, presentan mayor persistencia y capacidad de atravesar los sistemas de separación física. Además, numerosos estudios han indicado que los propios procesos de depuración pueden fragmentar partículas mayores, generando MPs de menor tamaño que resultan más difíciles de retener y más móviles dentro del proceso (Iyare et al., 2020). Como consecuencia, los MPs pueden distribuirse entre el efluente final y la línea de fangos, generando riesgos tanto para el medio acuático receptor, o para los suelos agrícolas cuando los fangos digeridos, deshidratados o compostados, se aplican como enmienda orgánica. La problemática se agrava porque, a diferencia de otros contaminantes emergentes, actualmente no existe ninguna tecnología específica implantada de forma sistemática en las EDAR cuyo objetivo sea la eliminación de MPs. Los procesos de tratamiento de agua implantados actualmente en la mayor parte de las EDAR fueron diseñados para otros fines (cribado, sedimentación, oxidación o desinfección) y, aunque retienen MPs de manera indirecta, no garantizan su eliminación ni permiten un control preciso de las emisiones. La falta de métodos analíticos estandarizados para cuantificar MPs en matrices complejas, como aguas residuales o fangos, ha dificultado la evaluación rigurosa de las tecnologías de eliminación. Así mismo, la mayoría de los estudios disponibles se limitan a evaluaciones a escala laboratorio o piloto, existiendo todavía un número reducido de validaciones a escala real en operación continua.

La aprobación de la Directiva (UE) 2024/3019 sobre

Microplastics (MPs), defined as polymer particles of less than 5 mm in size, are a cause of a growing concern in urban water cycle management. They enter urban wastewater from multiple domestic and industrial sources: fibres released during laundry, fragments from plastic packaging and utensils, particles from cosmetics and personal care products, as well as worn synthetic materials. The combination of these sources generates a continuous input of MPs into the sewer network, making Wastewater Treatment Plants (WWTPs) key nodes within the environmental flow of these particles. (Liu et al., 2021).

Although the conventional WWTP treatment stages (pretreatment, primary treatment, biological treatment, and secondary settling) can retain a significant fraction of the MPs in the water, removal is not complete and depends largely on the shape, size, and density of the plastic particles (Sun et al., 2019; Bule Možar et al., 2024). Fibres, which are very abundant in urban wastewater, are more persistent and have a greater capacity to pass through physical separation systems. Moreover, numerous studies have indicated that the treatment processes themselves can fragment larger particles, generating smaller MPs that are more difficult to remove and more mobile within the treatment train (Iyare et al., 2020). MPs can therefore be distributed between the final effluent and the sludge line, creating risks both for the receiving aquatic environment and for agricultural soils when digested, dewatered, or composted sludge is applied as an organic amendment. The issue is further compounded by the fact that, unlike other contaminants of emerging concern, no specific MP removal technology is currently implemented systematically in WWTPs. Current water treatment processes in most WWTPs are designed for other purposes (screening, sedimentation, oxidation, or disinfection). Although they indirectly retain MPs, they neither ensure their removal nor allow precise control of MP emissions. The lack of standardised analytical methods for quantifying MPs in complex matrices, such as wastewater or sludge, has hindered rigorous evaluation of removal technologies. Likewise, most available studies are limited to laboratory- or pilot scale assessments, with only a small number of validations at continuously operating full-scale facilities.

The adoption of Directive (EU) 2024/3019 on urban wastewater treatment, which introduces new requirements aimed at strengthening the protection of the aquatic environment and reducing the spread of emerging contaminants, represents a significant shift in the current landscape. Although the Directive does not establish specific quantitative limits for MPs, it does acknowledge the need to assess and minimise their

el tratamiento de aguas residuales urbanas, que incorpora nuevas exigencias orientadas a reforzar la protección del medio acuático y reducir la dispersión de contaminantes de preocupación emergente supone un importante cambio en el escenario actual. Aunque la Directiva no establece límites cuantitativos específicos para MPs, sí reconoce la necesidad de evaluar y minimizar su presencia en los efluentes tratados. El espíritu de la norma, que está orientada a mejorar el rendimiento global de las instalaciones, incrementar la calidad del agua regenerada y reducir la presión sobre los ecosistemas, pone de manifiesto que las EDAR deberán incorporar progresivamente tecnologías que permitan controlar la emisión de partículas poliméricas.

En este contexto, tecnologías emergentes como la comercializada por Captoplastic S.L. ofrecen una doble ventaja: permiten la cuantificación precisa de MPs en diferentes puntos de la EDAR y, además, logran su captura y retención mediante un proceso específico diseñado para operar en continuo. La tecnología de captura propuesta supone un avance respecto a los mecanismos tradicionales de separación, al proporcionar una etapa dedicada exclusivamente a la eliminación de MPs, adaptable a diferentes calidades de agua y ubicaciones dentro del proceso. La posibilidad de evaluar su rendimiento en distintos puntos de la línea de aguas de una EDAR permite identificar las condiciones en las que resulta más eficaz y determinar su impacto, no solo en el efluente final, sino también en la reducción de la transferencia de MPs hacia la línea de lodos.

El presente artículo presenta los resultados obtenidos con la tecnología desarrollada por Captoplastic S.L. en la EDAR de Fortuna. La campaña experimental se llevó a cabo mediante la instalación del sistema de captación de Captoplastic S.L. en tres puntos representativos del proceso: la salida del pretratamiento, la salida de la decantación secundaria y la salida del tratamiento terciario. A través de estos ensayos en condiciones reales de operación, se evalúa la capacidad de eliminación de MPs y se analiza el potencial de integración de la tecnología en el esquema de tratamiento de una EDAR, en consonancia con las nuevas exigencias establecidas en la Directiva (UE) 2024/3019. Para ello, se emplea un método de cuantificación en masa de microplásticos que permite el seguimiento consistente de MPs en las diferentes etapas del tratamiento.

Más allá de las campañas de demostración, la tecnología ha sido escalada a operación a escala real, incluyendo sistemas con capacidades de tratamiento de hasta 100.000 L/h instalados en EDAR en operación, como el caso de la EDAR de Arroyo del Soto (Móstoles, España).

presence in treated effluents. The underlying spirit of the legislation focused on improving the overall performance of treatment facilities, increasing the quality of reclaimed water, and reducing pressure on ecosystems indicates that WWTPs will need to progressively incorporate technologies capable of controlling polymeric particle emissions.

In this context, emerging technologies, such as the technology marketed by Captoplastic S.L., offer dual benefits. Firstly, they enable the precise quantification of MPs at different points within the WWTP and, secondly, they enable these particles to be captured and removed by means of a specific process designed to operate continuously. The proposed capture technology represents an advance over traditional separation mechanisms because it features a stage dedicated exclusively to MP removal, adaptable to different water qualities and locations within the treatment train. The ability to evaluate removal efficiency at different points of the WWTP water line enables identification of the conditions in which the technology is most effective and evaluation of its impact not only on the final effluent, but also on reducing the transfer of MPs into the sludge line.

This article presents the results obtained using the technology developed by Captoplastic S.L. at Fortuna WWTP. The experimental campaign involved the installation of the Captoplastic S.L. removal system at three representative points of the process: the outlets to pretreatment, secondary settling and tertiary treatment. These trials under real operating conditions enabled evaluation of the MP removal capacity and the potential for integrating the technology into the treatment scheme of a WWTP, in line with the new requirements set out in Directive (EU) 2024/3019. To this end, a mass based microplastic quantification method was used, allowing consistent tracking of MPs in the different treatment stages. Beyond the demonstration campaigns, the technology has been scaled up to full scale operation, and systems with treat-



Descripción de la EDAR de Fortuna y puntos de aplicación de la tecnología de Captoplastic

La campaña experimental se desarrolló en la EDAR de Fortuna, situada en el municipio de Fortuna (Región de Murcia). La planta de tratamiento fue diseñada para una población equivalente de 20.833 habitantes equivalentes, lo que se traduce en un caudal medio de tratamiento de aproximadamente 2.000-2.500 m³/d, con capacidad de gestionar picos superiores según las condiciones de entrada. Esta planta forma parte de la red regional gestionada por ESAMUR (Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia), encargada de la explotación, mantenimiento y control de las instalaciones públicas de saneamiento y depuración en la comunidad, que depuran y reutilizan una proporción elevada de aguas residuales generadas en toda la región. La EDAR cuenta con un esquema de tratamiento convencional compuesto por pretratamiento, tratamiento biológico mediante fangos activos, decantación secundaria y un tratamiento terciario que incluye filtración, desinfección UV y cloración.

La Figura 1 muestra un esquema simplificado del proceso de tratamiento y de los puntos donde se instaló la unidad de Captoplastic S.L. De manera general, la planta de demostración de Captoplastic S.L. de 5.000L/h operó en continuo durante 4 horas en cada uno de los puntos seleccionados. Esta configuración permitió evaluar con precisión la eficacia de eliminación de MPs en condiciones reales de operación y determinar el potencial de integración de la tecnología en diferentes etapas del proceso de depuración.

La evaluación de la tecnología de Captoplastic S.L. se realizó en tres puntos estratégicos de la línea de aguas de la EDAR, seleccionados para representar distintos niveles de carga de MPs y diferentes condiciones de operación. Tal como se muestra en la Figura 1, los puntos seleccionados para instalar la planta de eliminación de MPs comercializada por Captoplastic

ment capacities of up to 100,000 L/h have been installed in operating WWTPs, such as the Arroyo del Soto WWTP (Móstoles, Spain).

Description of Fortuna WWTP and Captoplastic technology implementation points

The experimental campaign was undertaken at Fortuna WWTP, in the municipality of Fortuna (Region of Murcia). This plant was designed for a population equivalent of 20,833, corresponding to an average treatment flow of approximately 2,000 - 2,500 m³/d, with the capacity to handle higher peaks depending on inflow scenarios. The facility is part of the regional network managed by Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR), the publicly owned company responsible for the operation, maintenance, and monitoring of public sanitation and wastewater treatment infrastructure in the region. The plant treats and reclaims a high percentage of the wastewater generated across the territory and implements a conventional treatment process consisting of pretreatment, biological treatment via activated sludge, secondary settling, and a tertiary treatment stage that includes filtration, UV disinfection, and chlorination.

Figure 1 provides a simplified schematic diagram of the treatment processes and the points where the Captoplastic S.L. unit was installed. In general, the 5,000 L/h Captoplastic S.L. demonstration plant operated continuously for 4 hours at each of the selected points. This configuration made it possible to accurately evaluate the MP removal efficiency under real operating conditions and to determine the potential for integrating the technology into different stages of the treatment process.

Assessment of the Captoplastic S.L. technology was carried out at three strategic points of the WWTP water line, selected to represent different MP load levels and different operating conditions. As shown in Figure 1, the installation points selected for the Captoplastic S.L MP removal plant were as follows:

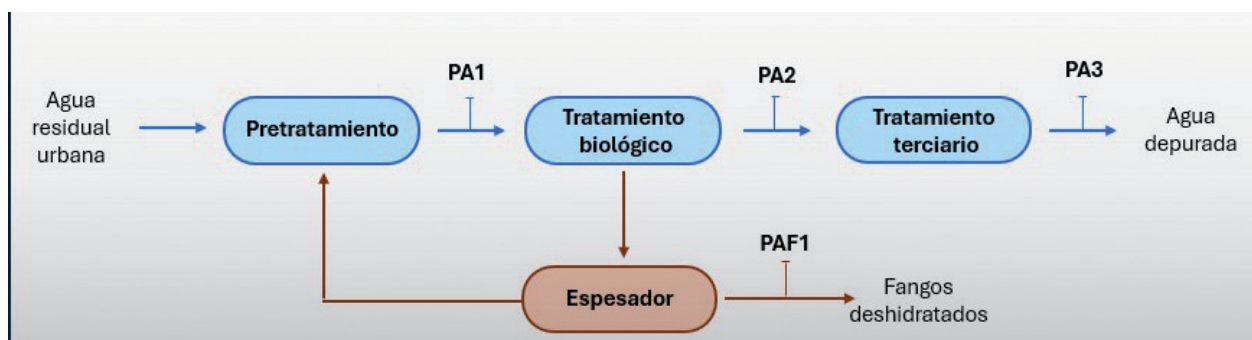


Fig. 1. Esquema simplificado de la EDAR de Fortuna y puntos de instalación de la planta de demostración de Captoplastic S.L. / Simplified schematic diagram of Fortuna WWTP and Captoplastic S.L. demo plant installation points

S.L fueron los siguientes:

- Escenario 1 (PA1) - Salida del pretratamiento: punto caracterizado por una elevada carga de sólidos en suspensión, y donde se espera la mayor concentración de MPs.
- Escenario 2 (PA2) - Salida de la decantación secundaria: corresponde al efluente clarificado tras el tratamiento biológico, con una carga de sólidos en suspensión claramente inferior a la de PA1.
- Escenario 3 (PA3) - Salida del tratamiento terciario: representa el efluente final de la EDAR, donde se observan las concentraciones más bajas de sólidos y, por lo tanto, se espera la menor concentración de MPs.

La instalación de la planta de Captoplastic S.L. en el punto PA1 resultó especialmente relevante, no solo para la eliminación de MPs en la línea de agua, sino por su impacto sobre la concentración de estos en la línea de fangos.

Los resultados derivados de la campaña experimental realizada se recogen y discuten en la siguiente sección de este artículo.

Evaluación de la eficacia de la tecnología de Captoplastic S.L. en la eliminación de microplásticos a lo largo de la línea de aguas

La distribución de la concentración de MPs a lo largo de la línea de aguas de la EDAR de Fortuna antes de la instalación de la tecnología de Captoplastic S.L. se representa en la Figura 2. Los datos obtenidos permitieron describir de forma detallada el comportamiento de los MPs en un esquema de depuración convencional y sirvieron como referencia operativa para evaluar el impacto de la tecnología en los distintos puntos de tratamiento.

En la corriente que abandonaba el pretratamiento y se introducía en el tratamiento biológico, la concentración inicial de MPs fue de 26,6 mg/L, un valor elevado pero coherente con lo reportado para aguas residuales urbanas. Los MPs contenidos en esta corriente correspondieron mayoritariamente a PET, PE y PP, polímeros cuyo origen pudo relacionarse con la fragmentación de fibras textiles, envases y productos domésticos,



- Scenario 1 (PA1) – Pretreatment outlet: a point characterised by a high suspended-solids load, where the highest concentration of MPs is expected.
- Scenario 2 (PA2) – Secondary settling outlet: corresponding to the clarified effluent after biological treatment, with a suspended solids load significantly lower than at PA1.
- Scenario 3 (PA3) – Tertiary treatment outlet: representing the final effluent of the WWTP, where the lowest suspended solids concentrations are observed and, therefore, the lowest MP concentrations are expected.

Installation of the Captoplastic S.L. at PA1 had a particularly significant impact, not only in terms of MP removal in the water line, but also due to the impact on MP concentration in the sludge line. The results obtained from the experimental campaign are presented and discussed in the following section of this article.

Evaluation of the effectiveness of Captoplastic S.L. technology for the removal of microplastics throughout the water line

Figure 2 shows the distribution of MP concentrations throughout the water line at Fortuna WWTP before the installation of the Captoplastic S.L. technology. The data obtained enabled a detailed description of MP behaviour



Fig. 2. Concentración original de MPs en los diferentes puntos de la línea de aguas (sin aplicación de la planta de Captoplastic) / Initial MP concentrations at the different points of the water line (before implementation of the Captoplastic plant).



reflejando la presencia de partículas con distinta morfología y densidad.

En la salida del tratamiento secundario (tratamiento biológico), la concentración de MPs se redujo notablemente hasta 1,08 mg/L. Esta disminución coincide con lo descrito en la literatura, ya que una fracción muy significativa de los MPs quedó retenida en el lodo del sistema biológico. De este modo, se puede afirmar que el tratamiento secundario actúa como principal sumidero de MPs, dado que esta depuradora no cuenta con tratamiento primario, especialmente de aquellas partículas de mayor tamaño o con mayor capacidad de sedimentación. No obstante, los resultados confirmaron que una fracción no despreciable permanece en suspensión y pasa a la siguiente etapa de tratamiento.

Finalmente, en la salida del tratamiento terciario, correspondiente al efluente final de la EDAR, la concentración resultó de 0,61 mg/L. Aunque este valor fue inferior al de entrada (1,08 mg/L), pone de manifiesto la limitada eficacia de los tratamientos terciarios convencionales para retener MPs, especialmente fibras finas y fragmentos de pequeño tamaño.

En definitiva, la Figura 2 donde se representan de forma integrada las concentraciones obtenidas en las diferentes corrientes de la línea de aguas de la EDAR antes de aplicar la tecnología de Captoplastic S.L., se puede apreciar una disminución progresiva de MPs a lo largo del proceso convencional, pero también evidencia que no existe un control explícito ni un mecanismo diseñado específicamente para evitar que las partículas más pequeñas alcancen el efluente final o que los MPs se acumulen en la línea de lodos.

Escenario 1 (PA1-Salida del pretratamiento)

Cuando la planta comercializada por Captoplastic S.L. se instaló en el punto PA1, la concentración de MPs en la corriente alimentada al tratamiento biológico descendió a 5,31 mg/L, lo que representa una reducción aproximada del 80 % respecto al valor obtenido sin la nueva tecnología (26,6 mg/L). Este descenso inicial conllevará un efecto directo sobre las etapas posteriores, transmitiéndose a lo largo de toda la línea de aguas. Así, a la salida del tratamiento biológico, donde la concentración sin la planta de Captoplastic era de 1,08 mg/L, se estimó que el contenido en MPs no superaría los 0,22 mg/L, mientras que en la salida del tratamiento terciario la concentración se habría reducido desde 0,61 mg/L hasta valores inferiores a 0,13 mg/L. La Figura 3 recoge esta evolución.

Los resultados obtenidos en el Escenario 1 evidenciaron una reducción muy significativa de la carga de MPs en la corriente introducida al tratamiento secundario, confirmando la capacidad de la tecnología para operar de forma eficaz incluso sobre matrices complejas y con

in a conventional treatment process and served as an operational reference for evaluating the impact of the technology at the different treatment points.

The stream leaving pretreatment and entering biological treatment had an initial MP concentration of 26.6 mg/L, a high value but consistent with values reported in the literature for urban wastewater. The MPs in this stream consisted mainly of PET, PE, and PP—polymers whose origin can be linked to the fragmentation of textile fibres, packaging materials, and household products—reflecting the presence of particles with different morphologies and densities.

At the outlet of secondary (biological) treatment, the MP concentration decreased significantly to 1.08 mg/L. This reduction is consistent with the literature, as a very significant fraction of MPs is retained in the sludge of the biological system. Secondary treatment can therefore be considered the main sink for MPs particularly given the absence of primary treatment in this WWTP especially for larger particles or those with greater settling capacity. Nevertheless, the results confirmed that a non negligible fraction remains in suspension and proceeds to the next treatment stage.

Finally, MP concentration at the outlet of tertiary treatment, corresponding to the final effluent of the WWTP, was 0.61 mg/L. Although lower than the influent concentration (1.08 mg/L), this value highlights the limited MP-removal effectiveness of conventional tertiary treatments, particularly with respect to fine fibres and small-sized fragments.

Overall, Figure 2, which presents the concentrations obtained in the different WWTP water line streams prior to implementation of the Captoplastic S.L. technology, shows a progressive decrease in MPs throughout the conventional process. However, it also draws attention to the absence of explicit monitoring or a specifically designed mechanism to prevent the presence of the smallest particles in the final effluent or to prevent MPs accumulating in the sludge line.

Escenario 1 (PA1- Outlet of pretreatment)

The installation of the plant marketed by Captoplastic S.L. at PA1 saw the MP concentration in the inlet stream to biological treatment fall to 5.31 mg/L an approximate drop of 80 % on the value obtained without the new technology (26.6 mg/L). This initial decrease would have a direct effect on subsequent stages and be transmitted throughout the entire water line. Thus, at the outlet of biological treatment, where MP concentration without the Captoplastic technology was 1.08 mg/L, it was estimated that MP concentration would not exceed 0.22 mg/L, while the concentration at the outlet of tertiary treatment would drop from 0.61 mg/L to values of less than 0.13 mg/L. This evolution is shown in Figure 3.

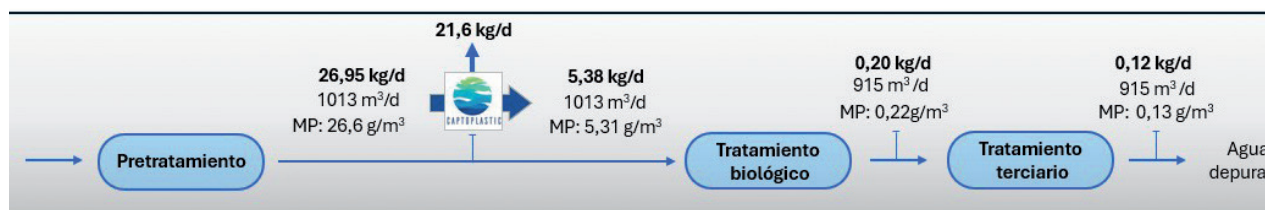


Fig. 3. Concentración de MPs en los diferentes puntos de la línea de aguas cuando la planta de Captoplastic se aplica en PA1 (Escenario 1). / MP concentrations at different points of the water line when Captoplastic plant is implemented at PA1 (Scenario 1)

elevada concentración inicial de partículas poliméricas. La eliminación temprana de una fracción tan relevante de MPs en el punto PA1 no solo mejora la calidad del agua tratada antes de su entrada al reactor biológico, sino que reduce de manera directa la cantidad de MPs que pueden ser transferidos y acumulados en la línea de lodos donde estos contaminantes tienden a concentrarse.

Dado que la EDAR genera aproximadamente 12 m³/día de fangos espesados, cuyo análisis mostró un contenido medio de 0,39 % p/p de MPs por fango deshidratado, la retención lograda por la planta en PA1 permitió estimar que el contenido de MPs en los fangos podría reducirse hasta valores cercanos al 0,19 % p/p, aproximadamente un 50 % menos que en la situación inicial. Este resultado es especialmente relevante, ya que pone de manifiesto el impacto indirecto pero esencial que tiene la intervención en la línea de aguas sobre la calidad del fango producido, con implicaciones tanto para su gestión final como para la minimización del riesgo asociado a la aplicación agrícola de los biosólidos derivados de los lodos.

Escenario 2 (PA2-Salida del tratamiento secundario)

Cuando la planta se instaló en el punto PA2, el tratamiento se aplicó directamente sobre la corriente clarificada procedente del tratamiento secundario, cuya concentración inicial de MPs era de 1,08 mg/L. Con la tecnología en funcionamiento, la concentración de MPs en la corriente introducida al tratamiento terciario se redujo hasta 0,16 mg/L, lo que representó una disminución superior al 85 % respecto al escenario sin intervención. Este resultado confirma la eficacia de la planta también en matrices ya depuradas, donde predominan fibras y fragmentos de menor tamaño y mayor movilidad. Como en el Escenario 1, en este caso también cabe esperar que la reducción lograda al instalar la planta de Captoplastic en el punto PA2 se transmita a la etapa posterior de tratamiento de la línea de aguas. Así, la concentración esperada en la salida del terciario no

The Scenario 1 results showed a very substantial reduction in the MP load in the stream fed to secondary treatment, confirming the capacity of the technology to operate effectively even on complex matrices with a high initial concentration of polymeric particles. The early removal of such a significant fraction of MPs at PA1 not only improves the quality of the water entering the bioreactor, but also directly reduces the quantity of MPs that can be transferred to the sludge line, where these contaminants tend to accumulate.

The WWTP generates approximately 12 m³/day of thickened sludge. Analysis of this material showed an average MP content of 0.39 % w/w in the dewatered sludge. Based on the retention achieved at PA1, the MP content in the sludge could be reduced to around 0.19 % w/w approximately 50 % lower than in the initial situation. This finding is particularly significant, as it highlights the indirect yet essential impact of intervention in the water line on the quality of the sludge produced, with implications both for final sludge management and the minimisation of risks associated with the agricultural application of sludge-derived biosolids.

Scenario 2 (PA2-Outlet of secondary treatment)

When installed at PA2, the unit applied treatment directly to the clarified stream from secondary treatment, which had an initial MP concentration of 1.08 mg/L. With the technology in operation, the MP concentration in the stream fed to tertiary treatment decreased to 0.16 mg/L, a reduction of over 85 % on the scenario without intervention. This result confirms that the Captoplastic plant is also effective when working on matrices that have already been treated, where there is a predominance of fine fibres and small fragments of greater mobility. As in the case of Scenario 1, the reduction achieved by installing the Captoplastic plant at point PA2 can also be expected to carry through to the next stage of the water line treatment. Accordingly, the expected MP concentration at the tertiary treatment outlet would not exceed 0.09 mg/L, reflecting a proportional improvement.

superaría los 0,09 mg/L, reflejando de forma proporcional la mejora lograda.

La Figura 4 representa los resultados correspondientes al Escenario 2, pudiendo observarse la evolución de la concentración de MPs en las distintas corrientes de la línea de aguas.

La localización de la planta de Captoplastic S.L. en PA2 podría por tanto plantearse como una etapa de afino del efluente procedente del tratamiento biológico que permite reducir la carga de MPs antes de su entrada en el tratamiento terciario contribuyendo a mejorar la calidad del efluente final.

A diferencia del Escenario 1, la instalación de la planta en PA2 no modificó la concentración de MPs en la corriente que se introduce al reactor biológico, por lo que la reducción alcanzada en la concentración de MPs no se extiende a la línea de lodos. A pesar de ello, el Escenario 2 resultaría adecuado cuando el objetivo operativo se centra en mejorar la calidad del efluente final de la EDAR, sin necesidad de intervenir sobre la línea de lodos. Ello puede ser particularmente relevante en instalaciones donde los lodos producidos no estén destinados a usos agrícolas, de manera que la reducción de MPs en esta fracción no constituya una prioridad.

Escenario 3 (PA3-Salida del tratamiento secundario)

La instalación en PA3 supuso la aplicación de la tecnología de Captoplastic S.L. al efluente procedente del tratamiento terciario, cuya concentración de MPs era originalmente de 0,61 mg/L. En estas condiciones, la tecnología actuó como una etapa final de eliminación, reduciendo la concentración de MPs hasta valores próximos a 0,09 mg/L, lo que supone una reducción cercana al 85 % respecto al escenario sin intervención. Este resultado es coherente con la elevada eficacia determinada también en el Escenario 2 para el tratamiento de matrices con baja carga de MPs, donde predominan partículas finas y fibras de pequeño tamaño que no son retenidas en etapas convencionales. La Figura 5 muestra la evolución de los valores de concentración y caudal másico de MPs a lo largo de la línea de aguas bajo las condiciones del Escenario 3.

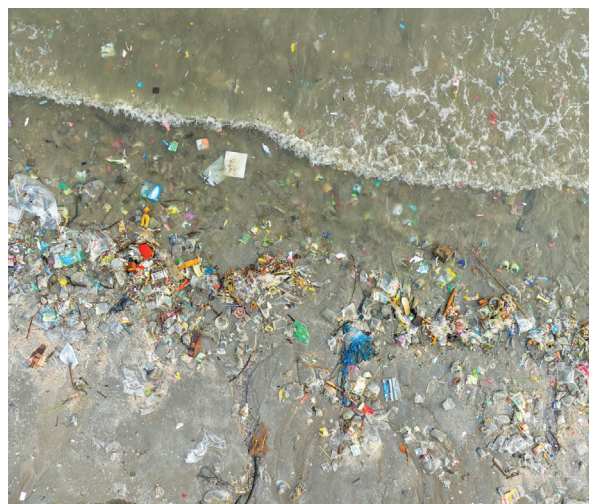


Figure 4 shows the Scenario 2 results, in which the evolution of MP concentrations across the different streams of the water line can be observed.

Positioning the Captoplastic S.L. plant at PA2 could therefore be considered as a polishing stage for the effluent from biological treatment, enabling a reduction in the MP load before its entry into tertiary treatment and contributing to an improvement in the quality of the final effluent.

Unlike in Scenario 1, installing the plant at PA2 did not alter the MP concentration in the stream entering the bioreactor, meaning that the reduction achieved does not extend to the sludge line. Even so, Scenario 2 would be appropriate when the operational objective is to improve the quality of the final WWTP effluent without the need to intervene in the sludge line. This could be particularly relevant in facilities where the sludge produced is not intended for agricultural use and reducing MPs in this fraction is not a priority.

Scenario 3 (PA3-Outlet of tertiary treatment)

With the unit installed at point PA3, Captoplastic S.L. technology was applied to the effluent from tertiary treatment, with an original MP concentration of 0.61 mg/L. Under these conditions, the technology functioned as a final removal stage, reducing MP concentrations to values close to 0.09 mg/L, a reduction of almost 85 % on the scenario without intervention. This result is consistent

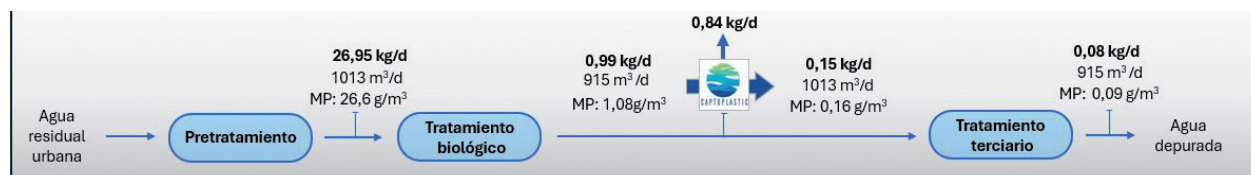


Fig 4. Concentración de MPs en los diferentes puntos de la línea de aguas cuando la planta de Captoplastic se aplica en PA2 (Escenario 2). / MP concentrations at different points of the water line when Captoplastic plant is implemented at PA2 (Scenario 2)

La intervención en PA3 únicamente afectó al efluente final, permaneciendo inalteradas las concentraciones de MPs obtenidas en etapas previas del proceso (pretratamiento y tratamiento biológico). En este sentido, la tecnología aplicada en PA3 representa únicamente una barrera final de retención que permitió asegurar una baja concentración de MPs en la corriente de agua vertida al medio receptor. Al igual que en el Escenario 2, tampoco en este caso se produciría ninguna modificación en la transferencia de MPs hacia la línea de lodos, por lo que el efecto de la planta de Captoplastic S.L. se circunscribe exclusivamente a la mejora de la calidad del efluente acuoso. Este escenario puede ser de particular interés en instalaciones que priorizan el cumplimiento de requisitos ambientales más estrictos asociados a la calidad del vertido o en aquellas orientadas EDAR orientadas a mejorar los parámetros físico-químicos del efluente asociados a la presencia de partículas.

En conjunto, los tres escenarios evaluados muestran que la ubicación de la tecnología dentro de la línea de aguas determina tanto la magnitud de la reducción de MPs como el alcance del impacto sobre el proceso. La instalación en PA1, donde la carga particulada es máxima, permite retirar la mayor cantidad absoluta de MPs y limita su transferencia hacia el reactor biológico y la línea de lodos, lo que convierte esta posición en la más eficiente desde una perspectiva integral de la EDAR. La aplicación en PA2 y PA3, aunque actúa sobre corrientes con menor concentración inicial, mantiene elevados rendimientos y opera como una etapa de pulido capaz de reducir de forma significativa el contenido residual de MPs en el efluente final. La comparación de los tres escenarios planteados confirma que la tecnología presenta un comportamiento estable y reproducible en matrices de distinta complejidad, y pone de relieve la importancia de combinar estrategias de eliminación temprana con etapas de optimización del efluente cuando se persigue un control global de los MPs en la instalación.

with the high efficiency also observed in Scenario 2 for the treatment of matrices with low MP loads, where fine particles and small fibres not removed in conventional stages predominate. Figure 5 shows the evolution of MP concentration and mass flow values along the water line under Scenario 3 conditions.

In Scenario 3, the intervention at PA3 affected only the final effluent, with MP concentrations in the upstream stages of the process (pretreatment and biological treatment) remaining unchanged. In this context, the technology applied at PA3 acted solely as a final retention barrier, ensuring a low MP concentration in the water discharged to the receiving environment. As in Scenario 2, no modification would occur in the transfer of MPs to the sludge line, meaning that the effect of the Captoplastic S.L. plant is limited exclusively to improving the quality of the aqueous effluent. This scenario could be particularly relevant in facilities that prioritise compliance with stricter environmental requirements related to discharge quality, or in WWTPs focused on improving the physicochemical parameters of the effluent associated with the presence of particulate matter.

The three scenarios evaluated show that the location of the technology within the water line determines both the magnitude of MP reduction and the extent of its impact on the overall process. Installation at PA1, where the particulate load is highest, enables the removal of the greatest absolute quantity of MPs and limits their transfer to the bioreactor and the sludge line, making this position the most efficient from an integrated WWTP perspective. Implementation at PA2 and PA3, although acting on streams with lower initial concentrations, still achieves high removal efficiencies and functions as a polishing stage capable of significantly reducing the residual MP content in the final effluent. Comparison of the three scenarios confirms that the technology exhibits stable and reproducible performance across matrices of varying complexity. It also highlights the importance of combining early stage removal strategies with effluent optimisation steps when aiming for comprehensive MP control within the facility.

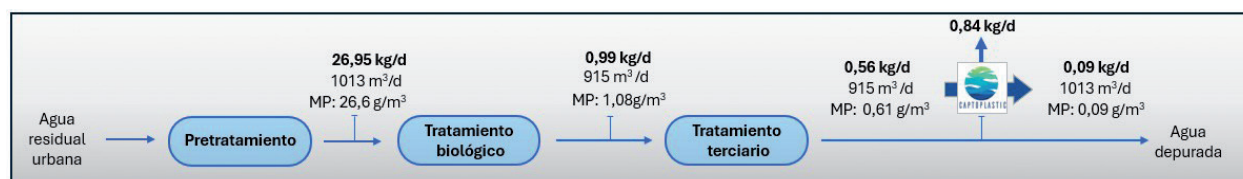


Fig. 5. Concentración de MPs en los diferentes puntos de la línea de aguas cuando la planta de Captoplastic se aplica en PA3 (Escenario 3). / MP concentrations at different points of the water line when Captoplastic plant is implemented at PA3 (Scenario 3).



Conclusiones

El estudio realizado en la EDAR de Fortuna demostró que la tecnología de Captoplastic S.L. permitió reducir de manera significativa la concentración de MPs en los distintos puntos evaluados de la línea de aguas, alcanzando eficiencias superiores al 80 % incluso en matrices complejas. La instalación en PA1 destacó como la opción más eficaz desde una perspectiva global, al impactar sobre la corriente con mayor concentración de MPs y disminuir de manera relevante su transferencia hacia la línea de lodos. La aplicación en PA2 y PA3 representa una etapa de pulido de los efluentes tratados, garantizando concentraciones residuales de MPs bajas y contribuyendo a mejorar la calidad del agua en el vertido final de la EDAR. Aunque estas configuraciones no modificaron la acumulación de MPs en los lodos, sí demostraron ser soluciones efectivas para el control de partículas en el efluente tratado.

En conjunto, los resultados confirman que esta tecnología específica de retención de MPs puede integrarse de manera operativa y versátil en EDAR existentes, constituyendo una herramienta alineada con las nuevas exigencias de la Directiva (UE) 2024/3019, que insta a reforzar el control de contaminantes emergentes y minimizar la liberación de partículas poliméricas al medio acuático. Estos resultados constituyen una de las primeras demostraciones a escala real del seguimiento integral de microplásticos en una EDAR completa, desde la entrada hasta la salida.

Conclusions

The study undertaken at Fortuna WWTP demonstrated that the Captoplastic S.L. technology enabled a substantial reduction in MP concentrations at the different points evaluated along the water line, achieving removal efficiencies above 80 %, even in complex matrices. Installation at PA1 emerged as the most effective option from a global perspective, as it targets the stream with the highest MP load and significantly reduces MP transfer to the sludge line. Application at PA2 and PA3 acts as a polishing stage for the treated effluents, ensuring low residual MP concentrations and contributing to improved final WWTP discharge quality. Although these configurations did not alter MP accumulation in the sludge, they proved to be effective solutions for controlling particulate content in the treated effluent.

Overall, the results confirm that this technology specifically designed for MP removal can be integrated into existing WWTPs in an operationally flexible manner. They also show that it constitutes a tool aligned with the new requirements of Directive (EU) 2024/3019, which establishes more stringent control of contaminants of emerging concern and the minimisation of polymeric particle release into the aquatic environment. These constitute the findings of one of the first full scale demonstrations of comprehensive microplastic monitoring across an entire WWTP, from inlet to final discharge.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR), Vectoris S.L. y Sorigué S.A. su colaboración técnica y su constante apoyo durante el desarrollo del proyecto.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR), Vectoris S.L. and Sorigué S.A. for their technical collaboration and constant support throughout the project.

Bibliografía

Liu et al., Environ. Int. 146 (2021) 106277.
Sun et al., Water Res. 152 (2019) 21–37.
Bule Možar et al., Water 16 (2024) 673.
Iyare et al., Environ. Sci.: Water Res. Technol. 6 (2020) 2664–2675.
Directiva (UE) 2024/3019, relativa al tratamiento de aguas residuales urbanas (2024).

References

Liu et al., Environ. Int. 146 (2021) 106277.
Sun et al., Water Res. 152 (2019) 21–37.
Bule Možar et al., Water 16 (2024) 673.
Iyare et al., Environ. Sci.: Water Res. Technol. 6 (2020) 2664–2675.
Directive (UE) 2024/3019, on the treatment of urban wastewater (2024).