

Tratamiento universal contra los microplásticos

O tratamento universal contra os microplásticos

Universal treatment against microplastics

Raquel Parra Sánchez¹, Belén Carboneras Contreras¹, Patricia Domínguez Barrio¹, Amparo Fernández Benito¹

¹Captoplastic, SL.

Cita: Parra Sánchez R, Carboneras Contreras B, Domínguez Barrio P, Fernández Benito A. Tratamiento universal contra los microplásticos. Rev. Salud ambient. 2024; 24(1):100-106.

Recibido: 30 de noviembre de 2023. **Aceptado:** 20 de mayo de 2024. **Publicado:** 15 de junio de 2024.

Autor para correspondencia: Belén Carboneras Contreras
Correo e: belen.carboneras@captoplastic.com

Financiación: Captoplastic ha obtenido financiación a través del proyecto PLASTICS SEPARATION&QUANTIFICATION (PSQ) financiado por el programa Neotec del CDTI.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización del estudio.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y a la redacción del artículo. Asimismo todos los autores aprobaron su versión final.

Resumen

Son muchos los desafíos asociados a los microplásticos (MPs), destacando su presencia y efectos perjudiciales tanto en la salud humana como en el medio ambiente. Este trabajo presenta una posible solución propuesta por Captoplastic S.L (Captoplastic), una tecnología de captura y control de MPs en cualquier medio acuoso que se basa en la aglomeración y separación magnética de las partículas, logrando una alta eficacia de eliminación. También, se describe un método propio patentado por Captoplastic para el control de los MPs en cualquier muestra de agua, abordando las limitaciones actuales en las técnicas analíticas existentes, como el análisis en muestras complejas. Este estudio también determina la presencia y concentración de MPs en el vertido de una estación depuradora de agua residual urbana (EDAR). Se detalla la metodología utilizada, desde la preparación de muestras hasta los resultados experimentales, demostrando la efectividad del método en la detección y cuantificación de MPs en muestras reales de aguas residuales, validando la recuperación de estos contaminantes en un 96 %. Este avance tecnológico se presenta como una respuesta efectiva y prometedora para enfrentar el desafío global de la contaminación por MPs.

Palabras clave: contaminantes emergentes; contaminación aguas; calidad del agua; tratamiento aguas residuales; MPs.

Resumo

São muitos os desafios associados aos microplásticos (MPs), destacando-se a sua presença e os seus efeitos prejudiciais tanto para a saúde humana como para o ambiente. Este trabalho apresenta uma possível solução proposta pela Captoplastic, uma tecnologia de captura e controlo de MPs em qualquer meio aquoso baseia-se na aglomeração e separação magnética das partículas, alcançando uma elevada eficiência de remoção. Além disso, é descrito um método patenteado pela Captoplastic S.L. (Captoplastic) para o controlo de MPs em qualquer amostra de água, abordando as limitações actuais das técnicas analíticas existentes, tais como a análise em amostras complexas. O estudo tem como objetivo determinar a presença e a concentração de MPs numa estação de tratamento de águas (ETAR). A metodologia utilizada é detalhada, desde a preparação da amostra até aos resultados experimentais, demonstrando a eficácia do método na deteção e quantificação de MPs em amostras reais de águas residuais, validando a recuperação destes poluentes em 96 %. Este avanço tecnológico é apresentado como uma resposta eficaz e promissora ao desafio global da poluição por MPs.

Palavras-chave: poluentes emergentes; poluição da água; qualidade da água; tratamento de águas residuais; MPs.

Summary

There are many challenges associated with microplastics (MPs), highlighting their presence and detrimental effects on both human health and the environment. This work presents a possible solution proposed by Captoplastic S.L (Captoplastic), a technology for the capture and control of MPs in any aqueous medium based on the agglomeration and magnetic separation of particles, achieving a high removal efficiency. Also, a proprietary method patented by Captoplastic for the control of MPs in any water sample is described, addressing current limitations in existing analytical techniques, such as analysis in complex samples. The study aims to determine the presence and concentration of MPs in a waste water treatment plant (WWTP). The methodology used is detailed, from sample preparation to experimental results, demonstrating the effectiveness of the method in the detection and quantification of MPs in real wastewater samples, validating the recovery of these pollutants in 96 %. This technological advance is presented as an effective and promising answer to face the global challenge of MPs contamination.

Keywords: emerging pollutants; water pollution; water quality; wastewater treatment; MPs.

INTRODUCCIÓN

Los MPs 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, etc¹. Además, por su naturaleza, tamaño y forma se pueden clasificar según su origen ya sea primario (son especialmente fabricados en tamaño MPs), o secundario (son formados por la degradación de plásticos de mayor tamaño)². Los MPs tardan décadas en degradarse por completo, por lo que nos enfrentamos a una acumulación exponencial en el agua año tras año. Afectan el ecosistema, los comemos en forma de mariscos, los bebemos en forma de agua y cerveza³ y ya se han encontrado en la sangre humana⁴. Un estudio revela que cada semana comemos 5 gramos de plásticos, lo que equivale a 1 tarjeta de crédito⁵. Aunque los efectos de estas partículas sobre nuestra salud están siendo evaluados actualmente por expertos, las primeras noticias y los primeros síntomas son muy preocupantes⁶.

Estudios recientes han encontrado MPs en la placenta en humanos⁷. La placenta representa la interfaz entre el feto y el medio ambiente, y la presencia de MPs en el tejido placentario nos obliga a reconsiderar cómo pueden afectar el mecanismo inmunológico. Recientes estudios han relacionado la ingesta de MPs con patologías autoinmunes que implican inflamación del tracto digestivo crónico⁸, incluso la presencia de estos en nuestro cerebro⁹, estudiando la relación que puede tener con la salud mental.

Los MPs representan actualmente un problema ecológico y ambiental. Se sabe que la contaminación plástica daña la fertilidad, el crecimiento y la supervivencia de la vida marina^{10,11}. Las partículas más pequeñas son motivo de especial preocupación porque tienen el mismo tamaño que los alimentos ingeridos por el zooplancton, que sostiene la cadena alimentaria marina y desempeña un papel importante en la regulación del clima global.

Además, se ha encontrado que los MPs podrían superar en número al zooplancton, lo que incrementaría su ingesta por parte de la fauna marina¹².

En cuanto al número/cantidad de MPs que podemos encontrar, estudios recientes estiman que hay cerca de 14 millones de toneladas de MPs en el fondo marino¹³. Pero lo más preocupante es que, por su tamaño y su ubicuidad, es una de las formas de contaminación más difíciles de controlar y combatir. Y no solo en el agua encontramos MPs, en un reciente estudio, científicos británicos contabilizaron entre 31 000 y 42 000 toneladas de MPs en los suelos europeos, como consecuencia de la reutilización de los lodos de plantas depuradoras para su uso como fertilizantes¹⁴.

Para intentar mitigar el problema actual de la contaminación por MPs, además de las acciones que se están llevando a cabo para reducir el uso de materiales plásticos, se considera que el primer y único elemento capaz de controlar y reducir la presencia de MPs en nuestros ríos y posteriormente en los océanos son las plantas de tratamiento de aguas. Hoy en día, las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDARs) desempeñan un doble papel en el campo de los MPs. Por un lado, se consideran un sumidero de estos contaminantes, provenientes de aguas residuales domésticas, efluentes industriales, escorrentía superficial, aguas pluviales y vertederos. Por otro lado, se consideran una fuente de emisión, ya que no logran eliminar completamente los MPs que llegan a ellas, sino que retienen un porcentaje y otro porcentaje escapa hacia los ríos¹⁵. Además, los MPs retenidos en su mayoría se transfieren al lodo residual. En la mayoría de los países, el lodo o los biosólidos se utilizan como fertilizantes en suelos agrícolas, lo que demuestra ser una importante fuente de MPs que ingresan al medio ambiente. Cada año, aproximadamente 40 000 hm³ de aguas residuales pasan por las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas europeas. Las EDARs son el principal vínculo entre los MPs y el medio ambiente¹⁶.

Para abordar el problema, tanto la Unión Europea como otros países a nivel global, han creado una serie de políticas actuales y futuras destinadas a reducir los MPs en el agua, tales como la Estrategia de Plásticos de la UE¹⁷, adoptada en enero de 2018 que forma parte del Pacto Verde Europeo, y el Plan de Acción de la economía Circular¹⁸, donde los MPs se definen como amenazas potenciales tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Un resultado clave del Pacto Verde Europeo es el Plan de Acción Cero Contaminación¹⁸, adoptado por la Comisión Europea en mayo de 2021, donde se establece el objetivo de reducir la contaminación por MPs en un 30 % para el año 2030.

Algo fundamental para poder poner en práctica estas medidas es el control de los MPs. Actualmente, no existe una metodología normalizada que permita conocer la concentración de MPs de una matriz acuosa. Por este motivo, la comunidad científica está buscando una metodología estándar capaz de medir la concentración de MPs en el agua. Para cumplir con este objetivo, las organizaciones científicas organizan intercomparaciones. El último estudio se publicó en 2021 y fue llevado a cabo por JRC en colaboración con BAM¹⁹. Una de las conclusiones expuestas en este estudio técnico es que los resultados presentaban una alta variabilidad entre ellos, lo que revelaba una falta sustancial de reproducibilidad entre laboratorios, que parece ser en gran medida independiente de la técnica de análisis aplicada. Además, los autores añadieron que la variabilidad e incertidumbre sería todavía más elevada en el caso de utilizar matrices reales, ya que el estudio se llevó a cabo con agua limpia.

Hoy en día, las principales técnicas analíticas para el análisis de MPs se dividen en dos: métodos microscópicos y/o espectroscópicos y métodos termogravimétricos capaces de medir la distribución de tamaño, tipo, masa y número de partículas de MPs²⁰. Ambos métodos necesitan equipos especializados para poder llevar a cabo el análisis y técnicos con conocimiento suficiente para el uso de dichos equipos. Dentro de los métodos microscópicos y espectroscópicos se encuentran la microscopía de luz transmitida o microscopía estereoscópica que permite identificar el tamaño, el color o la forma del MPs o el análisis por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (F-TIR) y espectroscopía Raman, que permiten identificar y analizar la composición química de una amplia variedad de materiales. Por otra parte, dentro de los métodos termogravimétricos se pueden encontrar TED-GC/MS (Termodesorción-Gas Cromatografía/Masas) o Py-GC/MS (Pirólisis- Gas Cromatografía/Masas). Ambas tecnologías proporcionan un cromatograma de los productos generados durante la descomposición con información adicional del espectro de masas que se puede comparar con una biblioteca de referencia conocida para identificar el polímero.

Una de las principales desventajas que presentan las tecnologías actuales es la necesidad de eliminación de todos los interferentes que acompañan a la muestra con MPs, ya que estos equipos son muy sensibles y una mínima interferencia puede ser causa de error. Este hecho hace que las muestras analizadas no puedan ser matrices complejas con una alta carga de sólidos en suspensión. Por otra parte, los equipos de análisis como los GC/MS necesitan rectas de calibrado realizadas con patrones. En el caso de los MPs que se pueden encontrar en aguas residuales, estos han podido sufrir procesos de degradación como fotodegradación, biodegradación, degradación química, descomposición térmica, etc., que podrían afectar su respuesta cromatográfica y, por último, los polímeros utilizados en la fabricación de plásticos contienen otras sustancias como aditivos y plastificantes que podrían influir en el cromatograma obtenido. Respecto a los métodos microscópicos y espectroscópicos, una de sus principales desventajas es que no pueden expresar los resultados en términos de concentración, es decir mg/l, sino en número de partículas, lo que depende directamente de la habilidad del técnico.

Como solución a estos problemas mencionados, Captoplastic desarrolla una tecnología capaz de controlar y capturar los MPs del medio. Por un lado, *la tecnología de Captura de MPs* se basa en una tecnología flexible de aglomeración que consiste en introducir en una corriente de agua un captador que forma agregados con los MPs. Estos agregados son separados del sistema quedando la corriente de agua libre de ellos, consiguiendo una eficacia superior al 90 % en la eliminación de MPs, eliminando estos tanto de la corriente de agua como de lodos al poder ser implementada en las primeras etapas de la EDAR y siendo una tecnología de residuo cero en donde los consumibles son reutilizados y los MPs quedan libres para ser revalorizados. Por otro lado, *la tecnología de Control de MPs*, presenta un método propio patentado de análisis que permite la cuantificación e identificación de MPs en todo tipo de muestras de agua, tanto en matrices acuosas complejas, ricas en materia orgánica, como las aguas residuales, como en aguas limpias potables. Con ventajas únicas como la capacidad de tratar matrices complejas con alta concentración de sólidos en suspensión, como las que podemos encontrar en las primeras etapas de una EDAR, además de ser un método robusto, preciso y fácilmente estandarizable que ofrece un valor en mg/l.

El trabajo busca dar a conocer este nuevo método de control de los MPs solventando los problemas encontrados en las técnicas actuales, mediante la realización de un estudio con agua real de EDAR.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. MATERIAL DE REFERENCIA

Para dopar las muestras se utilizó material de referencia de MPs, consistiendo en polvo de poliestireno (PS) y fue suministrado por Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). La distribución del tamaño de partícula se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 1. Valores medios de distribución de tamaño de partícula y desviaciones estándar de test de homogeneidad del material de referencia de PS (RM BAM-P202)

Distribución Tamaño partícula	Tamaño partícula (μm)	Desviación estándar (μm)	Desviación estándar relativa (%)
D10	91,15	4,61	5,06
D50	206,24	13,43	6,51
D90	310,98	13,96	4,49

2. ZONA DE ESTUDIO

Para llevar a cabo este estudio se tomó una muestra de la salida del tratamiento secundario de una estación depuradora de aguas residuales urbana situada en el norte de la ciudad de Madrid (España). Esta EDAR consta de las siguientes etapas: pozo de entrada (agua sin tratar), pretratamiento (reja de gruesos y desarenado), reactor biológico y decantación secundaria. El caudal medio de la estación depuradora es de aproximadamente 600 m³/día. La muestra fue tomada en mayo de 2023 y se tomó un volumen total de aproximadamente 25 L.

3. CUANTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN MUESTRAS LÍQUIDAS

El método empleado para el control de los MPs es un método interno y patentado desarrollado por Captoplastic. Está basado en un proceso de filtración a vacío de muestras líquidas, extracción magnética de MPs y oxidación selectiva de materia orgánica no plástica. A continuación, se especifican las fases en las que se basa el método de ensayo.

Determinación de Sólidos Suspendedos Totales (SST), Fijos (SSF) y Volátiles (SSV)

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. Para

ello, se toma una alícuota de la muestra recogida y se filtra un volumen conocido 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 de la muestra a analizar. La filtración de las muestras se realizó mediante un sistema de filtración a vacío y se emplearon filtros de microfibras de vidrio con un tamaño de poro de 1,2 μm y diámetro adecuado para adaptarse el aparato de filtración. El secado de los filtros se llevó a cabo en una estufa de la marca MM GROUP y modelo CK-B2V/SC 222. Posteriormente, los mismos filtros se sometieron a un proceso de calcinación en horno mufla (Hobersal, HD 430 PAD), durante 2 horas a 550 °C. La balanza empleada durante el análisis es el modelo Sartorius BCE224I-1S y fue calibrada por un organismo de calibración acreditado.

Separación y cuantificación de microplásticos

Para conocer la concentración de MPs se toma una alícuota de la muestra líquida de volumen conocido en un recipiente y se introduce una masa de captador magnético (óxido de hierro, Fe₃O₄) en el mismo recipiente. Después de un tiempo adecuado de contacto, este mineral magnético forma un agregado con los MPs, el cual se puede retirar mediante la aplicación de un campo magnético externo. Este campo magnético fue generado mediante un imán de neodimio.

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, MPs 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 sólido se somete a una etapa de oxidación mediante un proceso fenton, lo que permite eliminar las partículas orgánicas no plásticas que han sido retenidas por el captador. Para llevar a cabo el proceso de oxidación se emplearon hierro (III) nitrato nonahidrato (Fe(NO₃)₃·9 H₂O) suministrado por Sigma-Aldrich, peróxido de hidrógeno 33 % (w/v) (H₂O₂) y ácido nítrico > 65 % (HNO₃), ambos adquiridos de Panreac AppliChem ITW Reagents. Se ha verificado que la masa de MPs no se ve afectada tras el proceso de oxidación fenton. Tras la oxidación, las partículas resultantes también se llevan 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 de la muestra líquida en mg/l de MPs.

Con el objetivo de evaluar la repetibilidad y reproducibilidad del método empleado, se llevaron a cabo varias réplicas. Los resultados se muestran como el promedio de todas las réplicas, junto con su desviación estándar y el coeficiente de variación entre réplicas, calculado como el cociente entre la desviación estándar y el promedio, expresado en %.

Para las muestras dopadas se ha calculado la recuperación de los MPs (expresada en %), calculada como (Valor Obtenido / Valor referencia) x 100.

A continuación, se presenta un esquema resumen del proceso de cuantificación de MPs.

RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para un caso de estudio basado en la cuantificación de MPs en aguas reales dopadas con material de referencia de PS.

1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Una vez tomada la muestra, se llevó a cabo el análisis de MPs de la muestra real sin dopar (muestra A). Por otra parte, se tomaron 8 alícuotas de volumen conocido (1 L) a las cuales se añadió una masa de material de referencia de PS de 5 mg (muestra B).

Figura 1. Esquema proceso cuantificación de MPs



2. RESULTADOS MUESTRA SIN DOPAR (MUESTRA A)

En primer lugar, se analizó la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos fijos (SSF) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) de la muestra A, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Fijos (SSF) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) de la muestra A procedente de la salida del tratamiento secundario de una estación depuradora de aguas residuales

Réplica	SST (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)
1	7,50	1,08	6,41
2	7,30	0,84	6,45
3	6,10	0,92	5,18
Media (mg/l)	6,97	0,95	6,02
Desviación estándar (mg/l)	0,76	0,13	0,72
CV (%)	10,87	13,40	12,02

Como se observa en la tabla anterior, la concentración media de SST es de 6,97 mg/l, a su vez, estas partículas

suspendidas que contiene el agua se pueden dividir en SSF, es decir materia inorgánica, cuya concentración es de 0,95 mg/l y SSV, correspondientes a la parte orgánica, cuya concentración analizada es de 6,02 mg/l. Se observa como el resultado promedio obtenido de los 3 análisis es similar, lo que indica que la muestra ha sido bien homogenizada.

Una vez conocido el valor de concentración de sólidos suspendidos, se continuó con el análisis de la concentración de MPs siguiendo la metodología explicada anteriormente, tomando para ello 3 alícuotas de 1 L de volumen cada una. Los resultados de concentración de MPs se expresan a continuación (tabla 3).

Tabla 3. Concentración de microplásticos (mg/l) en muestra A según el método de cuantificación de microplásticos desarrollado por Captoplastic

Réplicas	Replica 1	Replica 2	Replica
Concentración de MPs	0,84	0,72	0,75
Media (mg/l)	0,77		
Desviación estándar (mg/l)	0,06		
CV (%)	8,34		

La concentración de MPs del efluente de salida (muestra A) es de 0,77 mg de MPs por litro de muestra. Teniendo en cuenta el caudal medio de tratamiento de la EDAR seleccionada (600 m³/día) el vertido de MPs sería de 168 kg al año.

3. RESULTADOS MUESTRA DOPADA (MUESTRA B)

Con el objetivo de validar el método de cuantificación desarrollado por Captoplastic, se seleccionó la misma muestra efluente de la EDAR y se dopó con una concentración de 5 mg/l de material de referencia. De esta manera, el resultado teórico de concentración de MPs de estas muestras debe ser superior a 5 mg/l. Se tomaron 8 alícuotas de 1 L de volumen de muestra recogida en la EDAR, las cuales fueron analizadas por diferentes técnicos, de esta manera también se evaluó la reproducibilidad del método de análisis propuesto. La concentración de MPs de la muestra B se muestra en la tabla 4.

La tabla anterior muestra la concentración de MPs teórica y experimental para cada réplica, teniendo en cuenta estos valores, se ha calculado el porcentaje de recuperación de MPs.

La concentración de MPs promedio obtenida es de 5,50 mg/l lo que se traduce en una recuperación de aproximadamente un 96 %, y que permite concluir que el método analítico muestra altos valores de recuperación de MPs para las muestras analizadas. Teniendo en cuenta la futura legislación, donde se exigirá el control de estos microcontaminantes, el método expuesto se propone como una metodología adecuada para llevar a cabo este control.

DISCUSIÓN

La problemática global de los MPs representa un desafío urgente que requiere soluciones integrales. Captoplastic surge como un agente clave para abordar

Tabla 4. Concentración de microplásticos en muestra B (mg/l), efluente salida secundario y dopaje con material de referencia de poliestireno

Réplicas	1	2	3	4	5	6	7	8
MPs dopados (mg)	5	5	5	5	5	5	5	5
Concentración de MPs total teórica (efluente + dopaje)	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77
Concentración MPs total experimental (método Captoplastic)	5,46	5,58	5,68	5,29	5,24	5,63	5,49	5,69
Recuperación (%)	95	97	98	92	91	98	95	99

esta crisis ambiental y de salud pública. Ofrece una doble solución: un sistema avanzado de control de MPs, basado en un método patentado de análisis de alta precisión y versatilidad, y una tecnología innovadora de captura selectiva de MPs en aguas residuales.

Los resultados experimentales confirman la eficacia del método propuesto, validando su capacidad para detectar y cuantificar MPs en muestras reales de aguas residuales. La recuperación de un 96 % de los MPs totales indica la fiabilidad y la viabilidad de esta tecnología en entornos reales. La alta recuperación de MPs de matrices acuosas empleando materiales magnéticos ha sido reportada por varios autores en los últimos años²¹⁻²⁴, lo que demuestra la alta eficacia de la tecnología propuesta en este manuscrito.

Estos resultados comparados con estudios anteriores, como el antes mencionado¹⁴ elaborado en el 2021 por JRC y BAM, en donde no solo se estudiaban los métodos presentes en el estado de la técnica en aguas simuladas en lugar de aguas reales, sino que, arrojaban valores con

menor reproducibilidad entre las diferentes técnicas capaces de expresar los resultados en términos de concentración.

Además del método de análisis, Captoplastic ha diseñado y fabricado un equipo semiautomático, CAPTOLAB, que es capaz de llevar a cabo todas las etapas del método limitando el tiempo de análisis por muestra, así como la intervención del técnico.

Esta tecnología promete ser una herramienta fundamental para abordar el desafío global de los MPs, ofreciendo una solución innovadora y eficaz para controlar estos contaminantes en aguas residuales, lo que representa un paso significativo hacia la protección de la salud humana y la preservación del medio ambiente.

Con un enfoque hacia el futuro, Captoplastic no solo aborda la problemática actual, sino que también colabora activamente con políticas y regulaciones tanto en la Unión Europea como en otros países, contribuyendo significativamente a la reducción y control de los MPs

en el medio ambiente. Con su compromiso con la sostenibilidad, la innovación y la protección ambiental, Captoplastic emerge como una solución líder y confiable en la lucha contra la contaminación por MPs a nivel mundial.

BIBLIOGRAFÍA

- Masura J et al. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for Quantifying Synthetic Particles in Waters and Sediments. (2015).
- European Investment Bank, 2023. Microplastics and Micropollutants in Water: Contaminants of Emerging Concern.
- Mamun A, Al Prasetya TAE., Dewi IR, Ahmad, M. Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. *Science of The Total Environment*. 2023; 858:159834.
- Leslie HA et al. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ Int*. 2022; 163:107199.
- No plastic in nature: Assessing plastics ingestion from nature people.
- Zuri G, Karanasiou A, Lacorte S. Human biomonitoring of microplastics and health implications: A review. *Environ Res*. 2023; 237:116966.
- Braun T et al. Detection of Microplastic in Human Placenta and Meconium in a Clinical Setting. *Pharmaceutics*. 2021; 13:921.
- Chen Y. et al. Biological effects of polystyrene micro- and nano-plastics on human intestinal organoid-derived epithelial tissue models without and with M cells. *Nanomedicine*. 2023; 50:102680.
- Kopatz V. et al. Micro- and Nanoplastics Breach the Blood–Brain Barrier (BBB): Biomolecular Corona’s Role Revealed. *Nanomaterials*. 2023; 13:1404.
- Hahladakis JN. A meta-research analysis on the biological impact of plastic litter in the marine biota. *Science of The Total Environment*. 2024; 928:172504.
- Solomando A, Pujol F, Sureda A, Pinya S. Ingestion and characterization of plastic debris by loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, in the Balearic Islands. *Science of The Total Environment*. 2022; 826:154159.
- Lindeque PK et al. Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment? A comparison of microplastic capture with nets of different mesh-size. *Environmental Pollution*. 2020; 114721.
- Barrett J. et al. Microplastic Pollution in Deep-Sea Sediments From the Great Australian Bight. *Front Mar Sci*. 2020; 7.
- Las tierras de cultivo de Europa acumulan más de 30.000 toneladas de microplásticos. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/tierras-cultivo-europa-acumulan-mas-30000-toneladas-microplasticos_18445#:~:text=Un%20grupo%20de%20cient%3ADficos%20brit%3A1nicos,promovida%20por%20las%20instituciones%20comunitarias.
- Sol D, Laca A, Díaz M. Approaching the environmental problem of microplastics: Importance of WWTP treatments. *Science of The Total Environment*. 2020; 740:140016.
- Sheriff I, Yusoff MS, Halim HB. Microplastics in wastewater treatment plants: A review of the occurrence, removal, impact on ecosystem, and abatement measures. *Journal of Water Process Engineering*. 2023; 54:104039.
- A European Strategy for Plastics in a Circular Economy (COM/2018/028 final).
- Zero pollution action plan. Towards zero pollution for air, water and soil.
- Current status of the quantification of microplastics in water - Results of a JRC/BAM inter-laboratory comparison study on PET in water. Disponible en: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125383>.
- Jiménez-Skrzypek G, Ortega-Zamora C, González-Sálamo J, Hernández-Sánchez C, Hernández-Borges J. The current role of chromatography in microplastic research: Plastics chemical characterization and sorption of contaminants. *Journal of Chromatography Open* 1, 100001 (2021).
- Shi C et al. Experimental study on removal of microplastics from aqueous solution by magnetic force effect on the magnetic sepiolite. *Sep Purif Technol*. 2022; 288:120564.
- Zhao H et al. Removal of polystyrene nanoplastics from aqueous solutions using a novel magnetic material: Adsorbability, mechanism, and reusability. *Chemical Engineering Journal*. 2022; 430:133122.
- Tang Y. et al. Removal of microplastics from aqueous solutions by magnetic carbon nanotubes. *Chemical Engineering Journal*. 2021; 406:126804.
- Rhein F, Scholl F, Nirschl H. Magnetic seeded filtration for the separation of fine polymer particles from dilute suspensions: Microplastics. *Chem Eng Sci*. 2019; 207:1278–87.