



Control de microplásticos en aguas de consumo: estado del arte en la Unión Europea

En el recientemente aprobado RD 3/2023 de 11 de enero sobre aguas de consumo humano, texto traspuesto desde la Directiva UE 2020/2184, se incluye en su artículo 19 la denominada Lista de Observación, que engloba los contaminantes de preocupación emergente que se consideran un riesgo para la salud. Más en concreto, en el Anexo IV del reseñado RD, apartado 4, se publica la Lista de Observación Nacional con referencias a 17 β -estradiol, nonilfenol, azitromicina y diclofenaco, indicándose literalmente, además, que “los microplásticos se incluirán en la lista cuando la Comisión Europea (CE) adopte una metodología normalizada para medir los microplásticos en el agua de consumo”. Este artículo pasa revista a la posición sobre el tema publicada por la Unión Europea (UE) en septiembre de 2022 desde el organismo que se ocupa de este tipo de cuestiones: el Centro Común de Investigación de la CE, conocido por sus siglas inglesas JRC. También se hace mención a la situación en nuestro país.

Palabras clave

Agua de consumo, microplásticos, nanoplásticos, RD 3/2023, lista de observación, contaminantes de preocupación emergente.

MICROPLASTICS CONTROL IN DRINKING WATER: STATE OF THE ART IN THE UE

In the recently approved RD 3/2023 of January 11 on human consumption water (text transposed from the EU Directive 2020/2184) the so-called observation list is included in its article 19: there are the emerging concern pollutants taking into account their potential health risk for humans. More specifically, in Annex IV of the RD review, section 4, the national observation list is published with the reference to 17 β -estradiol, nonilphenol, azithromycin and diclofenac; likewise, it is literally indicated that “microplastics will be included in the list when the European Commission (EC) adopts a standardized methodology to measure microplastics in drinking water”. For above, this article will review the position on the subject published by the European Union (UE) in September 2022 from the agency that deals with this type of issues, the Common Research Center of the European Commission, known by its English acronym JRC. We will also refer the situation in Spain.

Keywords

Drinking water, microplastics, nanoplastics, RD 3/2023, observation list of priority substances, pollutant of emerging concern.

Rafael Marín Galvín

responsable de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (Emacsa) y coordinador del Grupo de Trabajo de Microplásticos y del de Inspección de Vertidos y Laboratorio de la Comisión V de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS)



1. INTRODUCCIÓN

El artículo 13 (6) de la Directiva 2020/2184 sobre aguas de consumo que ha dado lugar al RD 3/2023 sobre el mismo tema, indica que como fecha tope el 12 de enero de 2024 la CE adoptará actos delegados a fin de establecer la metodología aplicable para la medida de microplásticos (MP) en aguas de consumo al incluirse estos en la lista de observación de los textos legislativos anteriores. Hasta la fecha, no existe en la UE ningún estándar útil ni consensuado para llevar a cabo el análisis y control de MP en aguas.

En este sentido y como conclusión general al tema, la UE plantea que es necesaria una metodología uniforme para seguir avanzando en el conocimiento de las concentraciones y dinámicas que experimentan los MP en las aguas. Este artículo de revisión hará una incursión en el estado del arte sobre el control de MP en aguas de consumo atendiendo al informe del JRC sobre el tema elaborado en septiembre de 2022.

2. ORIGEN Y NATURALEZA DE LOS MICROPLÁSTICOS

Según estimaciones actuales, entre 5 y 13 millones de toneladas de plásticos acceden al medio ambiente cada año. Los plásticos, cuyo destino final son los océanos, se acumulan en cuatro grandes zonas conformando cuatro grandes 'islas de plásticos': Atlántico norte y Atlántico sur, océano Índico, y la mayor, la situada en el Pacífico noroccidental. En este sentido, se estima que en 2019 se encontraban unos 2,3 millones de toneladas de MP en todos los océanos de nuestro planeta.

En este sentido, las fuentes emisoras a las aguas oceánicas son, mayoritariamente, las procedentes de flujos y arrastres desde la tierra, las

fibras textiles sintéticas y los neumáticos de los automóviles. Así mismo, los MP propiamente dichos pueden ser de dos tipos: primarios, que son liberados de forma no intencionada desde diversos productos de uso doméstico e industrial (cosméticos, pastas dentífricas, detergentes y otros); y secundarios, procedentes de la degradación química y mecánica de basuras plásticas o de la degradación por el uso habitual de diversos productos tales como neumáticos, pinturas y prendas de vestir sintéticas.

Los MP presentan diferentes formas, partículas esféricas, fibras, con formas irregulares, películas y esponjosas y su espectro de tamaño oscila entre menos del nm y el cm (ver **Figura 1**). Pueden establecerse dos grandes grupos según tamaños: los nanoplásticos (NP) entre menos del nm y el μm , y los MP con tamaños de hasta cm.

En función de su tamaño pueden aplicarse diferentes técnicas analíticas de análisis: técnicas específicas para identificación de partículas de NP, y espectroscopía IR y Raman para los MP. Además, tanto para NP como para MP se cuentan con técnicas de cromatografía de gases o

líquidos acopladas con espectroscopía de masas, en conjunción con pirólisis o termoextracción-desorción que identifican compuestos, pero no informan de su forma ni de su tamaño.

3. EFECTOS SOBRE LA SALUD O EL MEDIO ACUÁTICO DE LOS MP Y NP

Los MP y NP podrían presentar potenciales efectos sobre la salud del ser humano por ingestión vía agua y alimentos o por inhalación (sin confirmación hasta la fecha). Así mismo, podrían actuar como vectores de compuestos orgánicos nocivos adsorbidos sobre su superficie (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos -HAP- y compuestos fitosanitarios y otros orgánicos), introduciéndose dentro de microorganismos (bacterias) por ingestión y pudiendo alcanzar otros niveles superiores de la cadena trófica.

Por analogía con las nanopartículas y en función de su tamaño, concentración y niveles incorporados al sujeto, tipo de polímero, forma, aditivos adsorbidos, carga superficial, carácter de disrupción endocrina, mutagenicidad o toxicidad más o menos grave (es decir, compues-

FIGURA 1. Arriba: gradación de tamaño de MP y NP y su comparación con otros sustratos; abajo: posibilidades de control analítico.



tos clasificados como CMR), los NP y MP podrían interactuar con los componentes de la sangre u otros órganos internos y generar diversas patologías potenciales.

No obstante, en la actualidad, para valorar realmente los efectos sobre la salud de MP y NP se requiere conocer los niveles ambientales existentes, los niveles en el propio ser humano, sus pautas de internalización, traslocación y localización, así como las respuestas biológicas a exposiciones a corto plazo y a largo plazo, con sus dinámicas de acumulación asociadas, si existieran. Muy poco de esto se conoce hasta la fecha. Es decir, sin metodologías contrastadas y de consenso sobre análisis y expresión de resultados de estos compuestos en aguas, será muy difícil avanzar en el plano toxicológico

a escala ambiental en general, y en el de prevención de la salud humana en particular.

4. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS APLICABLES

La **Tabla 1**, extraída del documento elaborado por la JRC de la CE ya comentado, presenta un resumen sobre las técnicas analíticas disponibles para control de MP en aguas en función de todas las variables que afectan a este proceso: tamaño, forma, sensibilidad (límite de cuantificación), identificación de polímeros, preparación de la muestra, tiempo invertido en análisis, madurez y contraste de la metodología, existencia o no de estándar internacional aplicable, existencia de estudios realizados sobre aguas de consumo e inversiones económicas asociadas a cada técnica.

Como introducción al tema, hay dos grandes grupos de metodologías, las de microscopía óptica y espectroscópicas, y las que usan cromatografía de gases acoplada a técnicas termo-analíticas.

4.1. TÉCNICAS DE MICROSCOPIA ÓPTICA Y ESPECTROSCOPIA

4.1.1. Microscopía IR: opciones A1 y A2

Mediante la obtención de espectros de absorción IR se pueden determinar partículas individuales o conseguir imágenes químicas, es decir, imágenes de la distribución de componentes utilizando la medición simultánea de espectros IR. Existen diferentes técnicas IR aplicables: óptica (QLC-IR), análisis mediante reflexión-transformada de Fourier

TABLA 1

EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS ANALÍTICAS POTENCIALMENTE APLICABLES PARA CONTROL DE MP EN AGUAS DE CONSUMO (FUENTE JRC-COMISIÓN EUROPEA.)

Tipología general del método	Microscopía óptica y espectroscopía				Técnicas termoanalíticas y CG-EM	
Técnica específica	A1: μ FTIR	A2: QCL-IR	B: Raman	C: Fluorescencia	D1: Py-CGEM	D2: TED-CGEM
¿Determina tamaño de partícula?	Ok		Ok	Ok	No	No
¿Determina forma?	Ok		Ok	Ok	No	No
Sensibilidad (límite detección)	Equivalente a ng		Equivalente a <ng	Equivalente a <ng	0,1 - 4 μ g	0,1 - 4 μ g
¿Identifica polímeros?	Ok		Ok	No	Ok	Ok
Rango de tamaño trabajo habitual	20 μ g (4 ng)		10 μ g (0,5 ng)	5 - 10 μ g	Con filtrado 1 - 5 μ g	Con filtrado 1 5 μ g
Límite de tamaño	5 μ g	10 μ g	1 μ g	5 μ g	> 0,45 μ m	> 0,45 μ m
Preparación muestra	Eliminación previa de partículas		Eliminación previa de partículas	Eliminación previa de partículas	Eliminación previa de orgánicos	Eliminación previa de orgánicos
Madurez del método	Optimización en curso		Optimización en curso	Optimización en curso	Optimización en curso	Pocas referencias
Tiempo de análisis	> 4 h	\approx 1 h	> 4 h	< 1 h	1 - 2 h	1 - 2 h
¿Existe estándar internacional?	Esperable norma ISO en 2025			No	Esperable norma ISO en 2025	
Estudios en agua consumo	Sí		Sí	No	Sí	No
Coste de Inversión euros	100.000 - 200.000 €	250.000 - 300.000 €	100.000 - 200.000 €	25.000 - 30.000 €	90.000 €	> 200.000 €



(μ FTIR) o FTIR con reflexión total atenuada (ATR-FTIR, menos empleada). La **Figura 2** recoge espectros IR de varios materiales plásticos.

En cuanto a las diferencias entre QCL-IR y μ FTIR, como ejemplo en la investigación de partículas de polimetilmetacrilato (PMMA) ópticamente se pueden detectar partículas de 10 μm y de 5 μm de tamaño mientras que de las partículas de 10 μm se pueden generar imágenes químicas de superposición, pero no de las partículas más pequeñas (ver **Figura 3**).

Como conclusión general, con IR pueden cuantificarse MP como número de partículas, con un tamaño mínimo de 5 μm (incluso de $>1 \mu\text{m}$) si bien es difícil y laboriosa la determinación de partículas inferiores a 20 μm , siendo una técnica de resolución potente, con costes medios-altos de inversión. Pueden asimilarse tamaños de partícula de 20 μm a una masa de 4 ng ($4 \times 10^{-3} \mu\text{g}$). Finalmente, se espera poder contar con un estándar internacional (bajo ISO) para 2025.

4.1.2. Microscopía Raman: opción B

En este caso el tamaño mínimo de trabajo es de 1 μm pudiendo cuantificar por número de unidades habitualmente para mayores de 10 μm , que expresado en masa puede equivaler a 0,5 ng ($5 \times 10^{-4} \mu\text{g}$). Presenta el inconveniente de que la presencia de alto contenido en micropartículas distintas a los MP, y de aditivos y colorantes asociados pueden enmascarar la señal. También se trata de una técnica robusta que requiere una inversión económica media-alta. Así mismo, se espera contar con un estándar internacional para 2025. La **Figura 4** presenta diversos espectros Raman para varios polímeros de fibras de MP.

FIGURA 2. Espectros IR característicos de varios materiales plásticos.

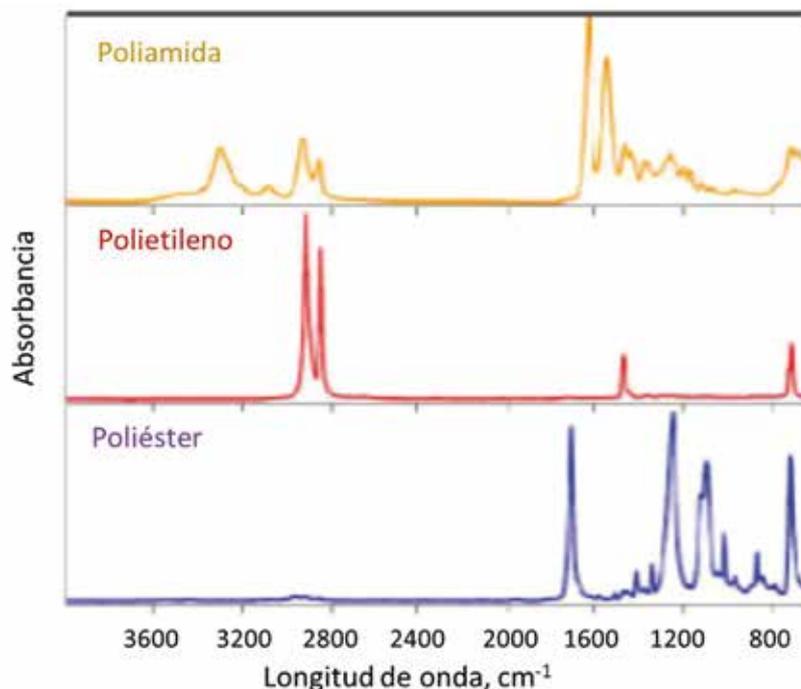


FIGURA 3. Imágenes químicas de superposición IR de partículas de polimetilmetacrilato de dos tamaños: las partículas de 5 mm no se detectan.

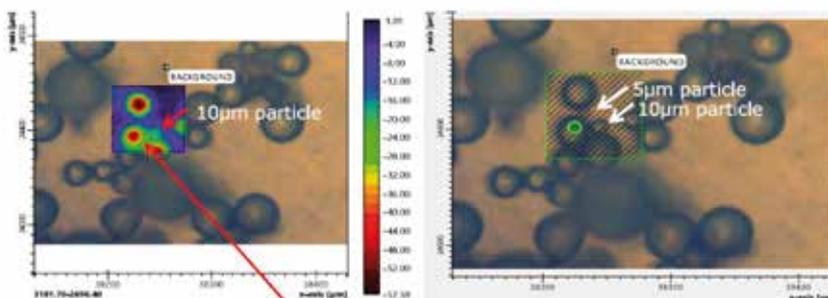
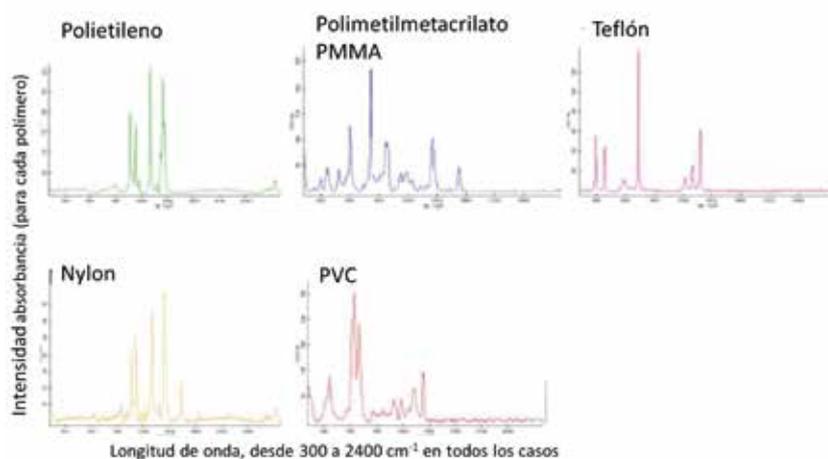


FIGURA 4. Espectros Raman para varios polímeros de partículas de MP.



4.1.3. Fluorescencia: opción C

Se trata de una técnica simple, rápida y de bajo coste capaz para llevar a cabo barridos (*screening*) de matrices conteniendo MP que pueden distinguirse de otros materiales sólidos similares. Desde el punto de vista analítico no presenta problemas de falsos positivos/negativos.

Es una técnica eficaz para partículas pequeñas en un entorno de pocas interferencias, con tamaños de hasta de 5-10 μm , pero de cuestionable eficacia para muestras reales. Además, sin el empleo de técnicas ópticas no informa sobre la tipología de los MP detectados. La **Figura 5** muestra una imagen de fluorescencia de una mezcla entre polietileno y arena silícea.

4.2. TÉCNICAS DE CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADA CON TÉCNICAS TERMOANALÍTICAS

4.2.1. Pirólisis y cromatografía de gases-masas

La estrategia seguida en este caso pasa por la descomposición térmica de los polímeros de MP existentes en la muestra y en la posterior separación vía cromatografía de gases. Finalmente, cada pico cromatográfico se identifica mediante espectroscopía de masas.

FIGURA 5. Imagen de fluorescencia en mezcla de partículas de polietileno (granos pequeños blancos) y arena (granos grandes oscuros).



Con esta técnica, de coste medio-bajo, se pueden identificar partículas de hasta 1-5 μm , incluso llegando a los 0,45 μm . La equivalencia en masa para la sensibilidad del método es de 0,1 a 4 μg . La **Figura 6** muestra la obtención de un pico de caprolactama (precursor del nylon) en CG-EM tras pirólisis y su posterior resolución. Además, también se espera para 2025 la elaboración de un estándar ISO sobre la técnica.

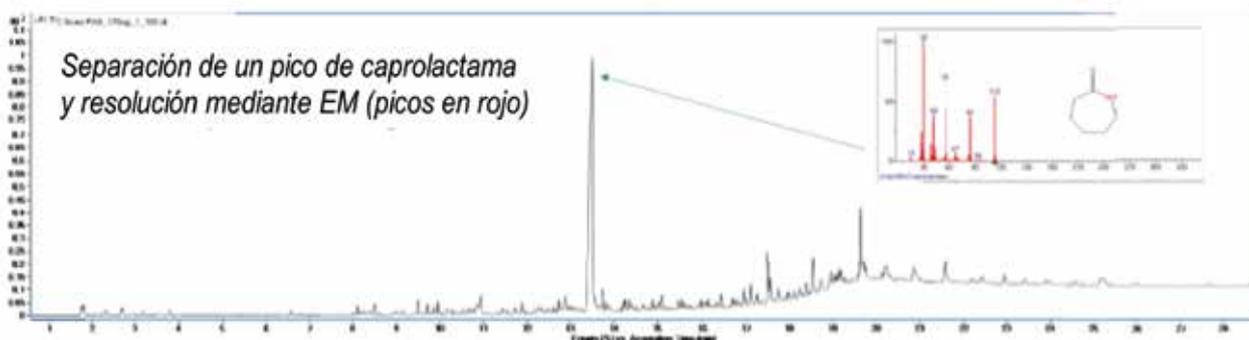
4.2.2. Termo extracción-desorción y cromatografía de gases-masas

Esta técnica es de implantación y uso reciente y, por lo tanto, de limitada disponibilidad en el mercado,

pero de fácil manejo aunque de alto coste económico. El procedimiento pasa por una extracción térmica de compuestos, con posterior adsorción en fase sólida, seguida de una desorción vía térmica de compuestos que finalmente se separan mediante cromatografía de gases y se identifican mediante masas.

La sensibilidad analítica de esta técnica se equipara a la de la anterior y también puede esperarse que cuente con un estándar ISO para 2025. Como dato final, las técnicas termo-analíticas son capaces de minimizar la interferencia en los análisis provocada por la presencia de compuestos orgánicos diferentes a los polímeros de MP.

FIGURA 6. Separación e identificación mediante CG-EM de caprolactama tras pirólisis.





5. SITUACIÓN ACTUAL SOBRE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE MP EN AGUAS DE CONSUMO

La mayoría de referencias bibliográficas se refieren a empleo de técnicas de IR (24%), técnicas de microscopía óptica (21%) y Raman (18%). Las técnicas de fluorescencia y de análisis termo-analítico-CG-EM son menos usadas.

En cuanto a los resultados de cuantificación de MP en aguas de consumo, los valores oscilan entre máximos de 440 fibras/L y mínimos del orden de 10^{-4} fibras/L. Así mismo, los trabajos que cuantifican masa de MP ofrecen resultados entre 7,2 $\mu\text{g/L}$ y $5,2 \times 10^{-4}$ $\mu\text{g/L}$ (es decir, 0,52 ng/L). Además, es relevante señalar que hasta la fecha no hay correlaciones significativas entre tamaño y distribución de tamaños de MP y composición, no abundando las investigaciones en este campo. En todo caso se identifican cuatro formas principales de partículas de MP: fibras, fragmentos, esferas y películas, con diferente peso en los diferentes estudios disponibles.

Con relación a tipología de los MP detectados, el polietileno (PE) con un 23% y el tereftalato de polietileno (PET) con un 17% son mayoritarios, detectándose otros polímeros como se observa en la **Tabla 2**. Hay que señalar que la concordancia de datos obtenidos en las muestras de blanco (sin MP) empleadas para los estudios es consistente.

De la información disponible por la JRC se pueden concluir algunas cuestiones relevantes. En primer

Polímero	Abreviatura	% sobre total de investigaciones
Polietileno	PE	23
Tereftalato de polietileno	PET	17
Poliéster termoplástico	PEST	13
Polipropileno	PP	12
Poliestireno	PS	10
Policloruro de vinilo	PVC	9
Poliamida	PA	5
Otros	-	11

lugar, que los estudios sobre MP en aguas de consumo solo alcanzan la veintena. En segundo lugar, la técnica de pirólisis-CG-EM puede emplearse para identificación de polímeros con abstracción de tamaño pero no está tan contrastada para cuantificación de masa. Y en tercer y último lugar, las técnicas ópticas y espectroscópicas son aplicables para identificación y cuantificación siempre que el tamaño de las partículas sea $>50 \mu\text{m}$.

5.1. SITUACIÓN EN ESPAÑA

En el caso concreto de nuestro país, los estudios de Eurofins-Iproma emplearon técnicas de ATR-FTIR para partículas $>500 \mu\text{m}$ y de TD-GC-MS para $>0,3 \mu\text{m}$. Los MP detectados en aguas potables fueron PS (5-8 $\mu\text{g/L}$), PVC (6-7 $\mu\text{g/L}$), PE, PA y PET ($<LC$ para los tres) procediendo probablemente de erosión interna de las tuberías de aguas de red.

Otro estudio de Labaqua aplicó la técnica de TED-GC-MS determinando PVC, PS, PA, PET, PP y PE en agua bruta de entrada a una ETAP, agua decantada y agua de salida de ETAP. No se detectaron los MP investigados ni en agua bruta ni en agua tratada, y solo aparecieron en agua decantada PA y PE, debido a erosión de las paredes internas del decantador.

Finalmente, Aigües de Barcelona analizó las aguas brutas del río Llobregat, aguas en ETAP y agua en la red de Barcelona mediante microscopía y posterior FTIR. El agua del río presentó entre 0-3,6 MP/L (PE, PP, PE, PS, ABS y PA) siendo la eliminación en planta del 93,5%. Por último, se hallaron MP en un 38% de las aguas de red analizadas (PE y PP, y algo de PA) con niveles de 0-0,05 MP/L, no evidenciándose influencia ni con la distancia a la ETAP del punto de muestreo ni en el contenido de PE de las tuberías de red.

» Si bien se ha detectado la presencia de micro y nanoplásticos en las aguas de consumo de la UE en concentraciones variables, pero siempre muy bajas, es un problema más de carácter ambiental que de salud pública. No obstante, aplicando el principio de prevención, debe ser un tema al que prestarle interés

» No existen métodos analíticos generales consensuados para el control y seguimiento de los microplásticos al no contar con un marco común estandarizado y armonizado a escala internacional. A pesar de ello, la espectroscopía IR y Raman parecen ser las metodologías más adecuadas para monitorizar con un enfoque sanitario estos contaminantes en aguas de consumo

6. CONCLUSIONES

Se detecta la presencia de MP y NP en las aguas de consumo de la UE en concentraciones variables, pero siempre muy bajas.

El problema de los MP es más de carácter ambiental que de salud pública con los datos disponibles actualmente. No obstante, aplicando el principio de prevención debe ser un tema al que hay que prestar interés.

No existen métodos analíticos generales consensuados para su control y seguimiento al no contar con un marco común estandarizado y armonizado a escala internacional.

Además, la espectroscopía IR y Raman parecen ser las metodologías más adecuadas para monitorizar con un enfoque sanitario los MP en aguas de consumo.

Finalmente, en el caso de nuestro país, se han utilizado tanto técnicas de CG-EM como de FTIR y Raman, identificándose polímeros de PVC, PS, PA, PE, PET, PP y PA, con concentraciones en aguas de consumo de pocos $\mu\text{g/L}$ como masa, y de $\ll 1$ fibra de MP/L como cuantificación. Además, la eliminación de posibles MP en las ETAP convencionales es sumamente eficiente.

Bibliografía

[1] Chu, X.; Zheng, B.; Li, Z.; Cai, C.; Peng, Z.; Zhao, P.; Tian, Y. (2022). *Science of the total environment*, núm. 803, pág. 150.004.
 [2] Dalmau-Soler, J.; Ballesteros-Cano, R.; Boleda, M.R.; Paraira, M.; Ferrer, N.; Lacorte, S. (2021). *Environmental Science and Pollution Research*, núm. 28, págs. 59.462-59.472, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13220-1>.

[3] Dalmau-Soler, J.; Ballesteros-Cano, R.; Ferrer, N.; Boleda, M.R.; Lacorte, S. (2022). *Water and Environmental Journal*, <https://doi.org/10.1111/wej.12766>.

[4] Dehaut, A.; Cassone, A.L.; Frere, L.; Hermabessiere, L.; Himber, C.; Rinnert, E.; Riviere, G.; Lambert, C.; Soudant, P.; Huvet, A.; Duflos, G.; Paul-Pont, I. (2016). *Environmental Pollution*, núm. 215, págs. 223-233.

[5] Dümichen, E.; Braun, U.; Senz, R.; Fabian, G.; Sturm, H. (2014). *J. Chromatogr. A.*, núm. 1.354, págs. 117-128.

[6] Dümichen, E.; et al. (2015). *Water Res.*, núm. 85, págs. 451-457.

[7] Dümichen, E.; Eisentraut, P.; Bannick, C.G.; Senz, G.; Braun, U. (2017). *Chemosphere*, núm. 174, págs. 572-584.

[8] Dümichen, E.; Eisentraut, P.; Celina, M.; Braun, U. (2019). *J. Chromatogr. A.*, núm. 1.592, págs. 133-142.

[9] Everaert, G.; Van Cauwenberghe, L.; De Rijcke, M.; Koelmans, A.A.; Mees, J.; Vandegheuchte, M.; Janssen, C.R. (2018). *Environmental Pollution*, núm. 242, Part B, págs. 1.930-1.938.

[10] Fischer, M.; Scholz-Böttcher, B.M. (2017). *Environ. Sci. Technol.*, núm. 51, págs. 5.052-5.060.

[11] Funcka, M.; Yildirim, A.; Nickela, C.; Schramc, J.; Schmidtb, T.C.; Tuerk, T. (2020). *Methods X.*, núm. 7, pág. 100.778.

[12] Gilliland, D. (2022). 14th Meeting of the EC Expert Group under the Drinking Water Directive.

[13] Goedecke, C.; Dittmann, D.; Eisentraut, P.; Wiesner, Y.; Scharrel, B.; Klack, P.; Braun, U. (2020). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, núm. 152, pág. 104.961.

[14] Gonzalez, M. (2018). In book: bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergentes a través de las cadenas tróficas marinas. Publisher: Mario Jaime/Pablo Hernández-Almaraz.

[15] Hermabessiere, L.; Himber, C.; Boricaud, B.; Kazour, M.; Amara, R.; Cassone, A.L.; Laurentie, M.; Paul-Pont, I.; Soudant, P.; Dehaut, A.; Duflos, G. (2018). *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, núm. 410, págs. 6.663-6.676.

[16] Koelmans, A.A.; Mohamed Nor, N.H.; Hermesen, E.; Kooi, M.; Mintenig, S.M.; De France, F. (2019). *Water Research*, núm. 155, págs. 410-422.

[17] Lauschke T.; Dierkes, G.; Schweyen, P.; Ternes, T.A. (2021). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, núm. 159, pág. 105.310.

[18] Mansa, R.; Zou, S. (2021). *Environmental Advances*, núm. 5, pág. 100-117.

[19] Majewsky, M.; Bitter, H.; Eiche, E.; Horn, H. (2016). *Science of The Total Environment*, núm. 568, págs. 507-511.

[20] Marín Galvín, R.; Rosado Sanz, A.; Carranza Egaña I.; Pérez-Baroja Verde, Í.; Borrego, M.; Pérez Recuerda, R.; Lacorte, S. (2019). *Actas del XXXV Congreso de AEAS*, págs. 156-166.

[21] Marín Galvín, R.; Rosado Sanz, A.; Paraira Faus, M.; Llorca Porcel, J.; Sorolla Rosario, D.; Cortada Cortés, C. (2022). *InfoEnviro*, núm. 89, págs. 57-61.

[22] Marín Galvín, R.; Rosado Sanz, A.; Paraira Faus, M.; Llorca Porcel, J.; Sorolla Rosario, D.; Cortada Cortés, C. (2022). *Actas del XXXVI Congreso de AEAS*, págs. 259-269.

[23] Myszograj, M. (2020). *Civil and Environmental Engineering Reports*, núm. 30 (4), págs. 201-209.

[24] Ng, K.L.; Obbard, J.P. (2006). *Marine Pollution Bulletin*, núm. 52, págs. 761-767.

[25] Pennino, M.G.; Bachiller, E.; Lloret, E.; Albo-Puigserver, M.; Estebane, A.; Jadaud, A.; Bellidoc, J.M.; Coll, M. (2020). *Marine Pollution Bulletin*, núm. 158, pág. 111.399.

[26] Peters, C.A.; et al. *Marine Pollution Bulletin*, núm. 137, págs. 91-95.

[27] Simon, M.; van Alst, N.; Vollertsen, J. (2018). *Water Research*, núm. 142, págs. 1-9.

[28] Smith, J.P.; Holahan, E.C.; Smith, F.C.; Marrero, V.; Booksh, K.S. (2019). *Analyst*, núm. 18.

[28] Talbot, R.; Chang, H. (2022). *Environmental Pollution*, núm. 292, Part B, pág. 118.393.

[29] Tian, M.; Morais, C.L.M.; Shen, H.; Pang, W.; Xu, L.; Huang, Q.; Martin, F.L. (2022). *Journal of Hazardous Materials*, núm. 422, págs. 126.892.

[30] Thompson, R.C.; Olsen, Y.; Mitchell, R.P.; Davis, A.; Rowland, S.J.; John, A.W.G.; McGonigle, D.; Russell, A.E. (2004). *Science*, núm. 304, pág. 838.

[31] Vilakati, B.; Sivasankar, V.; Nyoni, H.; Mamba, B.B.; Omine, K.; Msagati, T.A.M. (2021). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, núm. 22, pág. 112.478.

[32] Wander, L.; Vianello, A.; Vollertsen, J.; Westad, F.; Brauna, U.; Paul, A. (2020). *Analytical Methods*, DOI: 10.1039/c9ay02483b.

[33] Wolff, S.; Kerpen, J.; Prediger, J.; Barkmann, L.; Müller, L. (2019).

[34] Wu, J.; Zhang, Y.; Tang, Y. (2022). *Science of The Total Environment*, núm. 806, pág. 150.545.

[35] Yua, J.; Wangb, P.; Nia, F.; Cizdzielc, J.; Wud, D.; Zhaob, Q.; Zhou, J. (2019). *Marine Pollution Bulletin*, núm. 145, págs. 153-160

[36] Yuan, C.; Almuhtaran, H.; Mckie, M.J.; Andrews, R.C. (2022). *Chemosphere*, núm. 286, pág. 131.881. 