

# Microplásticos y adsorción de otros sustratos:

## Algunos aspectos toxicológicos de los microplásticos presentes en las aguas

Este artículo pasa revista a algunos de las facetas más relevantes de los microplásticos (y nanoplásticos) que se pueden encontrar en las aguas tanto blancas como residuales. Se abordarán las interacciones entre microplásticos y compuestos orgánicos, metales y microorganismos, la generación de biofilms sobre los microplásticos, así como las investigaciones más recientes sobre la potencial incidencia toxicológica de aquellos elementos sobre el ser humano. Como conclusión relevante se debe potenciar la investigación de compuestos potencialmente adsorbidos sobre microplásticos y sobre el biofilm generado sobre aquellos, los cuáles podrían aumentar su incidencia tanto ambiental como sanitaria.



Rafael Marín Galvín, Jefe de Subárea Control de Calidad. Director de la Cátedra EMACSA-Universidad de Córdoba  
EMACSA | [www.emacsa.es](http://www.emacsa.es)

Los microplásticos (*contaminantes de preocupación emergente*) y como bien es sabido, pequeños fragmentos de diferentes polímeros sintéticos encontrados en todo el medio físico (agua, tierra y aire) podrían provocar potenciales efectos negativos de índole medioambiental y aún sanitaria sobre el ser humano a través de su presencia en las aguas de consumo y aún de bebida embotelladas, bien sea directamente como tales, bien como transmisores de problemas toxicológicos asociados a materiales biológicos y químicos que son capaces de adsorber en su superficie.

Así, para valorar los posibles efectos sobre la biota acuática y las personas de los microplásticos hay que contar con metodologías asumidas por la comunidad científica para su análisis y cuantificación en las aguas. A esto ha dado respuesta la Decisión Delegada de la UE de marzo de 2024 en el caso de aguas de consumo humano, no contándose con tal herramienta para aguas residuales, al menos hasta ahora.

Por otro lado, sobre la potencial toxicología ligada a micro y nanoplasticos habrá que evaluar varios aspectos interrelacionados: la posible acción de las partículas de micro y nanoplasticos sobre los sistemas biológicos y aún celulares (en función de tamaño), la actividad o no de los compuestos químicos adsorbidos sobre la superficie de los microplásticos con su potencial toxicidad asociada, así como la de microorganismos que pudieran desarrollarse en su superficie (biofilm).

Micro y nanoplasticos podrían actuar como vectores de compuestos orgánicos nocivos con capacidad de ser adsorbidos sobre su superficie introduciéndose dentro de microorganismos por ingestión, y siendo capaces de alcanzar otros niveles superiores de la cadena trófica

De todos estos aspectos se ha hecho una revisión bibliográfica con los no muy numerosos estudios llevados a cabo en diferentes lugares del mundo, lo que constituye el objeto de este artículo.

### INTERACCIÓN ENTRE COMPUESTOS ORGÁNICOS, METALES Y MICROORGANISMOS Y MICROPLÁSTICOS

En cuanto al potencial toxicológico de micro y nanoplasticos, al tratarse de compuestos poliméricos sintéticos podrían presentar potenciales efectos sobre la salud del ser humano bien sea por ingresar en el organismo por ingestión desde el agua, por consumo de alimentos, o finalmente por inhalación (sin confirmación hasta la fecha este último punto).

Así mismo, podrían actuar como vectores de compuestos orgánicos nocivos con capacidad de ser adsorbidos sobre su superficie (p. e., hidrocarburos aromáticos policíclicos -HAPS-, disolventes orgánicos sintéticos, bifenilos policlorados -PCBS-,

retardantes de llama, PFAs -perfluoro alquilos o perfluoro alquiléteres-, compuestos fitosanitarios y plaguicidas, así como otros diversos compuestos orgánicos), introduciéndose dentro de microorganismos (especialmente en bacterias y protozoos) por ingestión, y siendo capaces de alcanzar otros niveles superiores de la cadena trófica desde estos nichos ecológicos.

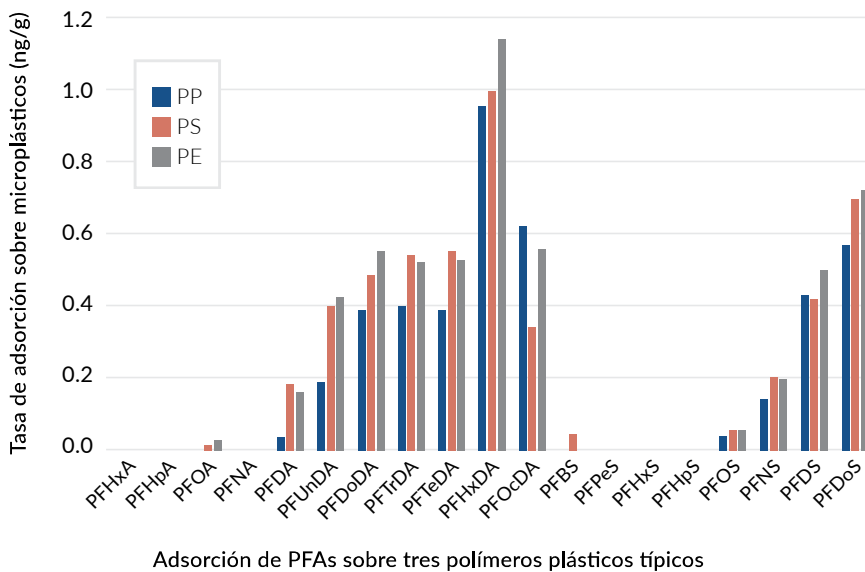
### Compuestos orgánicos y metales y microplásticos

Profundizando en lo indicado anteriormente, la Figura 1 recoge los resultados de un estudio de adsorción de 19 especies de los conocidos como PFAs sobre tres polímeros plásticos testigo, polipropileno, poliestireno y polietileno: en algún compuesto se supera el ng/g y la adsorción media se sitúa en la franja entre 0,2-0,6 ng/g.

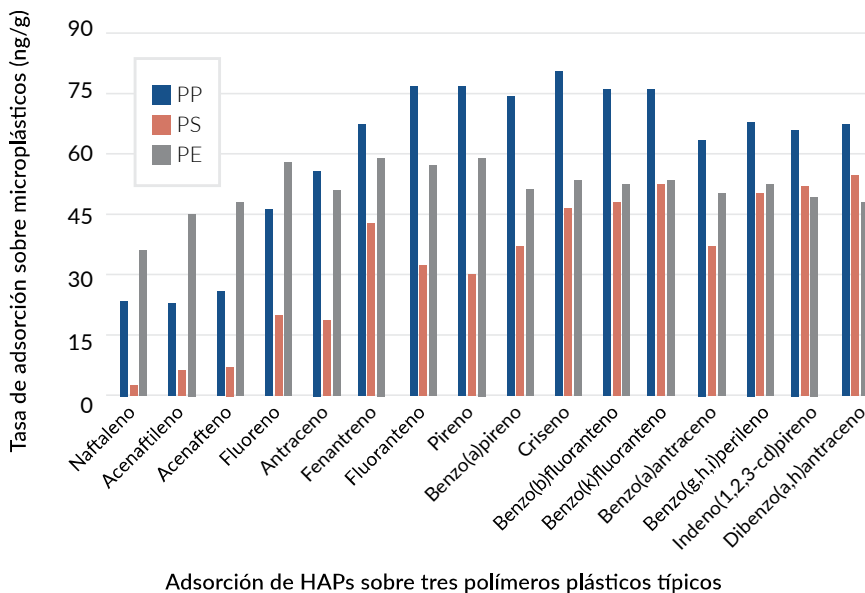
En este sentido, la tasa máxima de adsorción sobre los tres polímeros la presenta el PFHxDA con concentraciones comprendidas entre 0,9 ng/g y 1,1 ng/g y con una tendencia alcista según la secuencia polipropileno, poliestireno y polietileno. En el extremo contrario, las adsorciones más bajas medidas las presentan PFOA, PFBS, mientras que PFHxA, PFHpA, PFNA, PFPeS, PFHxS y PFHpS no mostraban adsorción sobre ninguno de los tres polímeros ensayados.

Obsérvese ahora la adsorción de HAPs sobre los tres polímeros anteriores

Los microplásticos podrían provocar potenciales efectos negativos de índole medioambiental y aún sanitaria sobre el ser humano a través de su presencia en las aguas de consumo y aún de bebida embotelladas



**Figura 1.** Adsorción de varios PFAs (polifluoro alquilfenoles) sobre tres polímeros plásticos típicos: polipropileno (PP), poliestireno (PS) y polietileno (PE). PFHxA, ác. perfluoroheptanoico; PFHpA, ác. perfluoroheptanoico, PFOA, ác., perfluorooctanoico, PFNA, ác. perfluorononanoico, PFDA, ác. perfluorodecanoico, PFUnDA, ác. perfluoroundecanoico, PFDoA, ác. perfluorododecanoico, PFTTrDA, ác. perfluorotridecanoico, PFTeDA, ác. perfluorotetranico, PFHxDA, ác. perfluoroheptadecanoico, PFOcDA, ác. perfluorooctanodecanoico, PFBS, ác. perfluorobutano sulfónico, PFPeS, ác. perfluoropentano sulfónico, PFHxS, ác. perfluoro hexano sulfónico, PFHpS, ác. perfluoroheptano sulfónico, PFOS, ác. perfluorooctano sulfónico, PFNS, ác. perfluorononano sulfónico, PFDS, ác. perfluorododecano sulfónico, PFDoS, ác. perfluorododecano sulfónico (adaptación de [Rodríguez Usón, 2019; Marín Galvín, 2024]).



**Figura 2.** Adsorción de varios HAPs (hidrocarburos aromáticos policíclicos) sobre tres polímeros plásticos típicos (adaptación de [Rodríguez Usón, 2019; Marín Galvín, 2024]).

(Figura 2): la cantidad de sustancias adsorbidas por g de polímeros plásticos se multiplica del orden de cien veces con respecto a los PFAs. Fluoranteno, pireno, criseno, benzo(a)pireno, venzo(b)fluoranteno y benzo(k)

fluoranteno son adsorbidos del orden de 75 ng/g por el polipropileno, mientras que fluoreno, fenantreno y pireno son los más adsorbidos por polietileno, con tasas del orden de 55 ng/g. Finalmente, con del orden de 50 ng/g son

adsorbidos sobre poliestireno dibenzo(a,h)antraceno, benzo(k)fluoranteno y benzo(g,h,i)perileno.

En otro estudio de adsorción de cuatro HAPs, en concreto naftaleno, acenaftileno, acenafteno y fluoreno sobre microplásticos de polietileno (tamaño entre 4 y 1 mm) y en una matriz de agua de mar sintética, se obtuvo que la adsorción máxima se dio para naftaleno (2,60 a 2,51 mg/g), seguido de acenafteno (1,34 a 1,55 mg/g), fluoreno (1,16 a 1,35 mg/g), siendo la más baja la medida sobre acenaftileno (0,25 a 0,23 mg/g). Para este tipo de compuestos no existía una clara secuencia de las tasas de adsorción por los polímeros, si bien siempre polipropileno y polietileno eran los que presentaron mayor adsorptividad para la mayoría de los HAPs objeto del estudio.

Como más información al respecto, la Figura 3 recoge la adsorción de diversos compuestos orgánicos (fármacos, antibióticos y colorantes orgánicos) sobre microesferas de polietileno blanco. La interacción suele estar regida por su carácter más o menos hidrofóbico. Se aprecia que la tasa de adsorción para los colorantes testados, con marcada hidrofilia, es notablemente más baja que la de compuestos más hidrofóbicos tales como fármacos y antibióticos. En cualquier caso, la adsorción máxima se suele dar entre las 24 y 48 h de contacto.

Con relación a la posibilidad de adsorción de metales pesados sobre elementos microplásticos, la Figura 4 recoge la cantidad del metal residual que queda en agua de mar y agua desionizada (como contraste) tras poner en contacto disoluciones de 20 mg/L de Cu con microplásticos de polietileno de alta y baja densidad, polipropileno y policloruro de vinilo, de entre 1 y 2 mm de tamaño, y en una concentración final equivalente de 1 g de microplásticos/L. En todos los casos, después de 168 horas de contacto (1 semana) la con-

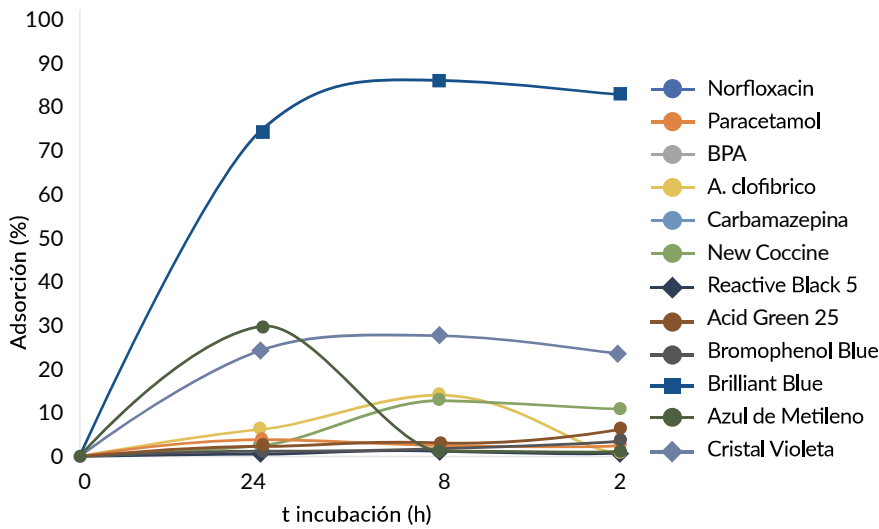


Figura 3. Adsorción de diversos compuestos orgánicos sobre perlas de microplásticos de polietileno, en función del tiempo de contacto contaminante-microplásticos (adaptación de [Blázquez Hernández, 2021]).

Como complemento a lo anterior, el contenido medio de aditivos añadidos en origen a los polímeros que constituyen los microplásticos pueden cifrarse en un 4%. Según informes de la EFSA la investigación de una porción de mejillones (225 g) resultó que podría contener hasta 7 mg de microplásticos, y caso de suponer que estos microplásticos contuviesen PCBs o BPA (bisfenol A), estas ingestas contribuirían de forma residual a la exposición general a estas sustancias de los organismos: del orden de menos del 0,01% para PCBs y del orden de menos del 2% para BPA. Estas cantidades no inducen a pensar que la toxicidad de los microplásticos por se pueda ser relevante.

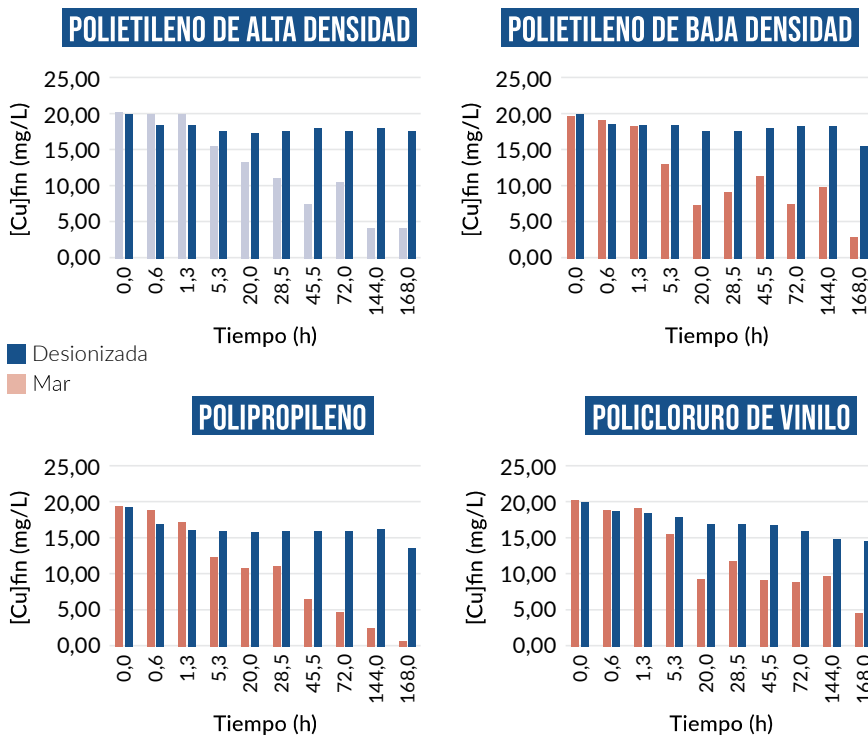


Figura 4. Adsorción de cobre sobre varios polímeros microplásticos en función del tiempo: ordenadas mg/L de Cu en disolución; abcisas, tiempo en horas (h) (adaptación de [Granero Mazón, 2022]).

centración de Cu en agua de mar sintética se rebaja desde la inicial hasta menos de 5 mg/L, es decir entre de un 80% y un 90% con lo cual, y descontando la precipitación de sales de cobre poco solubles, se puede inferir que la adsorción de metal sobre los microplásticos puede superar los 15 mg

de Cu/g de microplástico. Además, la más alta adsorción se adscribía a polietileno de baja densidad y polipropileno. Como conclusión, y dado que el proceso adsortivo es reversible, se podría colegir que la desorción de Cu desde el material microplástico a la cadena trófica puede ser totalmente viable.

### Microorganismos, biofilm y microplásticos

Los microplásticos son un sustrato ideal para la fijación de microorganismos, dando lugar a lo que algunos investigadores han calificado como «plastiesfera» que puede flotar durante meses o años y acumularse en ambientes bentónicos, facilitando su colonización por microorganismos plánticos. Así mismo, los microplásticos podrían actuar como vectores para el transporte de patógenos o especies nocivas en ecosistemas naturales. Como ejemplo, la presencia de microplásticos promovía la supervivencia de bacterias asociadas a la flora presente en aguas residuales urbanas depuradas.

Las biopelículas generadas sobre microplásticos pueden modificar las propiedades de estos en cuanto a adsorción, degradación de compuestos asociados o liberación al medio de productos metabólicos más o menos nocivos. Además, pueden actuar movilizando contaminantes, así como en la transferencia de genes de resistencia a antibióticos entre bacterias, tanto en medios acuáticos, como terrestres y aún atmosféricos.

En este sentido, las superficies expuestas al agua y entre ellas las de los microplásticos, pueden adsorber grandes cantidades de nutrientes orgánicos y en pocas horas ser colonizadas por microorganismos. Así, acerca del desarrollo de biofilms sobre microplásticos puede citarse un estudio llevado a cabo usando *Pseudomonas aeruginosa* (mayoritaria en fangos activos de EDAR) sobre microesferas de polietileno blanco. Aquí el desarrollo del biofilm se testó midiendo la densidad óptica de la suspensión de bacterias puesta en contacto con los microplásticos.

Como conclusión, un incremento de la concentración de microplásticos añadidos a la suspensión implicaba una disminución de densidad óptica de aquella, y consiguientemente, un aumento del biofilm formado. Este resultado además era consistente con el aumento de la cantidad de células viables con la concentración de microplásticos así como de la concentración de proteínas en la biopelícula. Como extrapolación derivada, el aumento de la cantidad de microplásticos en medios acuáticos propiciaría el desarrollo más robusto de biofilm sobre los mismos.

Para terminar este apartado, la Figura 5 recoge la adsorción de algunos colorantes orgánicos con y sin presencia de una biopelícula generada sobre

microesferas de polietileno: en los tres casos presentados la adsorción sobre biopelículas es notoriamente más alta. Además, en el caso del azul de metileno, la adsorción era nula en ausencia de biopelícula.

### EFECTOS EN LA SALUD Y EN EL MEDIO ACUÁTICO DE MICRO Y NANOPLÁSTICOS. ESTUDIOS TOXICOLÓGICOS

Por analogía con las nanopartículas y en función de 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, micro y nanoplásticos podrían interactuar con los componentes de la sangre u otros órganos internos y generar potencialmente diversas patologías en el ser humano.

Para valorar realmente todos los efectos sobre la salud de micro y nanoplásticos se requiere conocer varios apartados relevantes: (i) tipología, forma y polímero concreto, con los compuestos químicos o microorganismos sobre ellos adsorbidos; (ii) los niveles ambientales existentes; (iii) los niveles en el propio ser humano, sus pautas de internalización, traslocación y localización; y (iv) las respuestas biológicas

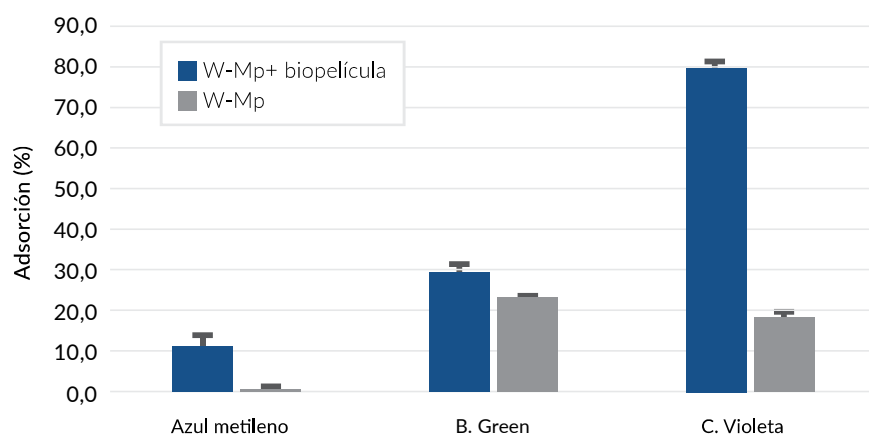


Figura 5. Adsorción de tres colorantes orgánicos sobre sobre microesferas de polietileno con y sin biofilm (adaptación de [Blázquez Hernández, 2021]).



a exposiciones a corto plazo y a largo plazo, con sus dinámicas de acumulación asociadas, si existieran.

En cualquier caso, y conscientes de la escasa información disponible sobre toxicidad de microplásticos y sustancias adsorbidas sobre los mismos, parece pertinente ahora comentar una las revisiones bibliográficas sobre el tema llevadas a cabo en los últimos años. Así, hay una serie de investigaciones que



asocian efectos negativos de partículas de PVC del orden de 1 mm sobre microalgas a concentraciones elevadas, de unos 50 mg/L, interviniendo en el proceso tanto aspectos de adsorción como de agregación de materiales.

Por otra parte, también parecen encontrarse efectos derivados de la exposición de nanoplasticos sobre microalgas planctónicas, tales como inhibición de la fotosíntesis, generación

indeseable de especies reactivas de  $O_2$  con el citoplasma, problemas de crecimiento y reducción de la tasa de generación de clorofila en aquellas.

No obstante, los efectos negativos no se adscriben a mecanismos directos o indirectos de acción de los microplásticos y sus aditivos plásticos sobre los organismos (retardantes de llama, plastificantes y compuestos orgánicos hidrofóbicos asociados en general) lo

cual ha podido ser comprobado en diversos estudios de laboratorio. Con respecto a la influencia de los adsorbatos sobre el biofilm generado sobre micro y nanoplasticos (apartado 2.2) hay que prestar atención a su capacidad de actuar como transportadores de microorganismos patógenos.

En este sentido, las denominadas como «partículas transparentes exopoliméricas» las cuáles están ligadas



a los microplásticos o se constituyen ellas mismas como microplásticos muy delgados, facilitan el acceso de patógenos a la biota como ha sido comprobado en el caso de algunas bacterias del tipo *vibrio* para microplásticos con capacidad de flotación en el medio acuático.

Otra circunstancia recientemente investigada es la de actuar como vectores de bacterias resistentes a antibióticos. En este campo existen evidencias de que *Aeromonas salmonicida* (una bacteria patógena de salmónidos) colonizaba microplásticos acumulándose en el biofilm. En el mismo sentido se ha

comprobado la acumulación de bacterias resistentes a múltiples antibióticos en sistemas de cultivos marinos ubicados en secciones cerradas en mar abierto: aquí el 75% de las muestras de microplásticos eran de tereftalato de polietileno, los antibióticos testados fueron tetraciclina, sulfonamida, ciprofloxacina, cloranfenicol, penicilina, gentamicina y eritromicina, y la cantidad de bacterias resistentes a ellos sobre el biofilm de microplásticos era entre 100 y 500 veces más alta que en el agua circundante.

En otro estudio similar en una planta de acuicultura en China se encontra-

ron entre 58 y 72 partículas de microplásticos/m<sup>3</sup> en muestras de agua procedentes del biofiltro de un estanque, detectándose mediante la PCR valores de 10 genes resistentes a los antibióticos en el agua libre, mientras que en los microplásticos se alcanzaban del orden de 10<sup>9</sup> copias/g.

No obstante, se han publicado otros estudios con resultados contradictorios. Así en otro reciente sobre presencia de *E. coli* con resistencia a antibióticos b-lactámicos sobre partículas de polietileno de alta densidad, en agua de varios tramos de un río hasta su desembocadura a lo largo

de más de 1 mes, no se comprobó la presencia de la bacteria, mientras sí existía en el agua circundante.

Como más información sobre los potenciales efectos toxicológicos de micro y nanoplasticos podemos citar el caso de los PFAS. Existe evidencia de que la exposición a los PFAS puede provocar efectos adversos en animales y por extrapolación, sobre la salud humana: afección sobre la reproducción y desarrollo embrionario, problemas hepáticos y renales, efectos sobre el sistema inmunitario y alteración de la hormona tiroidea.

Puede citarse ahora un trabajo que revisó un total de 133 artículos para indagar sobre la carcinogenicidad de micro y nanoplasticos. De ellos se extrae que diferentes tipos celulares tratados con nanoplasticos o microplásticos de poliestireno (PS) mostraron inducción de inflamación y proliferación celular, así como algunos marcadores asociados al proceso de carcinogénesis. Así mismo, en algunas células más propensas a experimentar procesos de transformación celular que fueron expuestas a nanoplasticos de PS durante 6 meses, se identificaron marcadores directamente asociados al proceso de carcinogénesis mientras que en otros estudios realizados con modelos de roedores en contacto con micro y nanoplasticos de PS, poliácido láctico-co-glicólico y PE (polietileno), se encontraron marcadores de inflamación y de fibrosis, acumulación de nano y microplásticos en tejidos, y otros marcadores asociados al proceso de carcinogénesis (crecimiento tumoral, o cambios en la expresión de genes asociados a enfermedades del aparato digestivo y cáncer). También se encontró daño en el ADN de roedores tras ser tratados con nanoplasticos de PS.

Por otro lado, un reciente estudio del CSIC parece demostrar que la ingestión de microplásticos de polietile-

no altera la microbiota del colon, disminuyendo la abundancia de bacterias beneficiosas para la salud e incrementando otros grupos microbianos relacionados con actividades patógenas. De todos modos, no hay suficientes trabajos que investiguen claramente el potencial carcinogénico de los microplásticos especialmente en cuanto se refiere al ser humano.

Por último, no está claro si la potencial capacidad toxicológica de los microplásticos pueda ser distinta o no de la de las partículas de similar tipología existentes en medios libres, o incluso en el agua de consumo. En todo caso, podría presumirse que las incidencias toxicológicas de los microplásticos seguirían en cierto modo el patrón de la de los polímeros base de los mismos, si bien en este caso el tamaño de las partículas debe jugar un papel relevante por su posibilidad de acceso con mayor o menor facilidad a las células.

Para finalizar este apartado y este artículo, puede referirse una completa revisión llevada a cabo por la Generalitat de Catalunya en 2019, acerca de la incidencia y evolución de micro y nanoplasticos en la cadena alimentaria.

**Se debe potenciar la investigación de compuestos potencialmente adsorbidos sobre microplásticos y sobre el biofilm generado sobre aquellos, los cuáles podrían aumentar su incidencia tanto ambiental como sanitaria**

## REFERENCIAS

Blázquez Hernández, S. Interacciones de microplásticos de polietileno con microorganismos y con otros contaminantes ambientales: papel como vectores de contaminación. Tesis Fin de Grado, Universidad de Alcalá (Madrid), 2021.

De Almeida, M. P., Gaylarde, Ch. C., Baptista Neto, J. A., De F. Delgado, J., Da S. Sima, L., Neves, Ch. V., De O. Pompermayer, L. L., Viera, K. and Da Fonseca, E. The prevalence of microplastics on the earth and resulting increased imbalances in biogeochemical cycling. *Water Emerging Contaminants and Nanoplastics*, (2023) 2 (7), 1-23.

Doménech, J., Annangi, B., Marcos, R., Hernández, A., and Catalán, J. Insights into the potential carcinogenicity of micro- and nano-plastics. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, (2023) 791, 108453.

Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de Seguretat Alimentària, (2019).

Granero Mazón, G. Adsorción de cobre sobre microplásticos presentes en medios marinos. Tesis Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia, (2022).

Marín Galvín, R. Microplásticos en aguas de consumo: estado del arte en Europa. Ed. Generis-Publishing, Moldavia (2024) (b).

Martínez-Campos, S., González-Pleiter, M., Fernández-Piñas, F., Rosal, R. y Leganés, F. Early and differential bacterial colonization on microplastics deployed into the effluents of wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, (2021) 757, 143832.

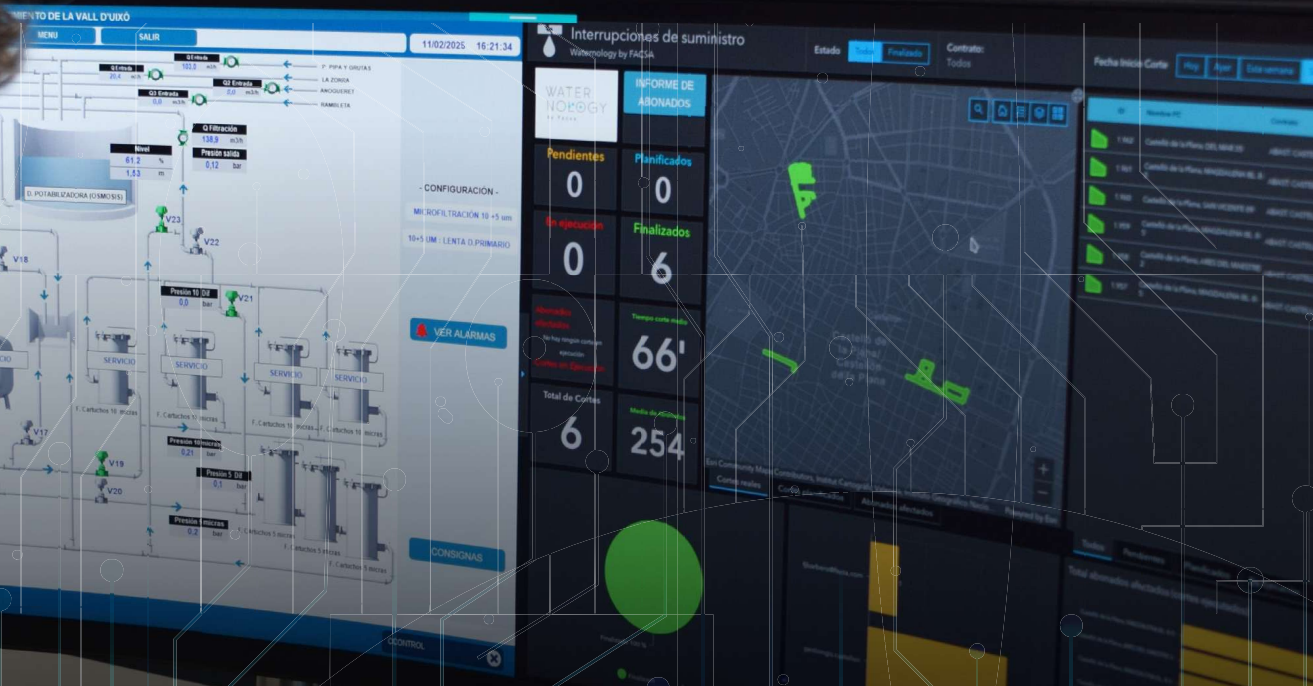
Ortuño, R. Los 10 riesgos alimentarios con mayor impacto en los próximos años (V). Presencia de microplásticos (MP) en alimentos. Más allá de ser un potencial riesgo emergente, un gran desconocido. AINIA, Newsletter, (2023), 11-7-2023 (on line).

Peñate Peña, A. J. Adsorción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) en microplásticos en agua de mar. Tesis Fin de Grado, Universidad de Córdoba (Argentina), 2023.

Rodríguez Usón, I. En Jornadas Interempresas.Net, La lucha contra los microplásticos, ponencia Análisis de MP: Técnicas para cuantificar presencia de MPs de muestras. Soluciones cromatográficas, (2021) Webinar: 27-5-2021. ●



# RETEMA



REPORTAJE

## CASTELLÓN: INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y EDUCACIÓN CIUDADANA PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD HÍDRICA

ENTREVISTA GARI VILLA-LANDA, EUREAU - REPORTAJE ESPAÑA ANTE LA FALTA DE INVERSIÓN EN AGUA

ENTREVISTA JUAN SÁNCHEZ, CANAL DE ISABEL II - ENTREVISTA JUAN M. LEMA, CRETUS (USC)

REPORTAJE UN RECORRIDO POR LOS MAYORES PROYECTOS DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LATINOAMÉRICA