

dos los compuestos con limitaciones de emisión al medio acuático: según su incidencia negativa sobre los ecosistemas acuáticos, las sustancias se clasifican como prioritarias peligrosas, prioritarias y otros contaminantes, con toxicidad en sentido descendente y las concentraciones limitadas más bajas para los más contaminantes.

Además, existe otro grupo de contaminantes específicos para cada estado de la UE en concreto, que se denominan sustancias preferentes, y que en el caso de España contempla las recogidas en la parte inferior de la Tabla 2. En todo caso, metales, plaguicidas, orgánicos de síntesis, disolventes y fármacos y antibióticos son los integrantes de esta normativa.

En cuanto a la consideración de los contaminantes en las aguas residuales depuradas (el principal aporte a los medios acuáticos libres) la normativa genérica aplicable es el RD 509/1996 que limita las emisiones de contaminación biodegradable (DBO5, DQO, sólidos en suspensión, nitrógeno y fósforo).

La normativa aplicable para los CPE, si bien sólo para Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales de más de 100.000 h-e de capacidad de tratamiento, es el Reglamento Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes al Medio o Reglamento E-PRTR (RD 508/2007) que se puede cotejar en la Tabla 3. Obsérvese que aquí la cuantificación de compuestos se hace por carga, y no por concentración. Es decir, se informa sobre las emisiones computadas por kg/año de sustancia no imponiéndose sanciones, sino sólo la obligación de trasladar los datos a la Administración, que a su vez debe enviarlos a la Unión Europea.

Tabla 3: Reglamento E-PRTR de emisiones al medio.

En esta norma se incluyen compuestos contaminantes convencionales, por ejemplo, cloruros, fluoruros, nitrógeno y fósforo, y CPE propiamente dichos tales como metales pesados, disolventes, compuestos orgánicos de síntesis, fitosanitarios y plaguicidas. A destacar que no se consideran fármacos ni antibióticos y que existe mucha coincidencia en compuestos considerados con la normativa reseñada para aguas en cauces libres.

3. UN BREVE RECORRIDO SOBRE LA PRESENCIA DE CPE EN AGUAS NATURALES Y RESIDUALES ESPAÑOLAS

3.1. Metales pesados y compuestos organo-estánicos

La Tabla 4 recoge usos y aplicaciones de los principales metales pesados regulados en las aguas. Compuestos metálicos y organometálicos suelen ser compuestos solubles en agua y de ellos, Ni y Pb acceden al saneamiento tanto por vía industrial y doméstica como, el segundo, por fuentes difusas como el tráfico urbano (gasolinas). Por su parte, los butilestaños asociados al PVC presentan diversas formas de acceso al saneamiento.

GRUPO	SUSTANCIAS	APLICACIONES	CONSERVACIONES
METALES	Argentado	Tratamiento de la madera, termocolectores y aislantes, industria metalúrgica, pigmentos y plásticos, fabricación de cables, plaguicidas (insecticidas)	
	Cadmio	Baterías, Tratamiento de superficies espejadas, pigmentos, estabilizadores PVC, Alambres, Componentes electrónicos, Soldaduras	Aparece como impureza en los componentes del caucho, pigmentos y plásticos del caucho reforzados
	Cobalto	Tratamientos de agua, instalaciones eléctricas, industria automotriz, Maquinaria, Cerámica, Algodón, Textiles (colorantes)	
	Cromo	Fabricación de acero, Colorantes y pinturas, preservación de maderas, Síntesis de amoníaco, Fabricación de materiales refractarios y cerámicas, e hilos de algodón, magnéticos, Análisis de aguas (DQO)	
	Mercurio	Termómetros, Lámparas, Catalizadores, Alambres, Antisépticos, Espectroscopía, Aplicaciones médicas, Interruptores	Puede encontrarse de forma natural desde los volcanes
	Níquel	Aleaciones, Tratamiento de superficies, Pigmentos, Baterías, Joyería, Catalizadores	
	Plomo	Baterías, Tubos de soldadura en circuitos, Pigmentos, Aleaciones, Soldaduras, Marcadores de ácido sulfúrico, soldos en gasolinas, Munición, Plomas, Instrumentos	
COMPUUESTOS ORGANOMETÁLICOS	Butilestaños	Baterías, Industria de la automoción, Joyería, Plomas, Instrumentos	
	Compuestos de cobre	Anti-insectos en embotellados, Muebles y aditivos de PVC, Galvanos, Intercambios de calor, estabilizadores de plásticos (PVC), Algodón, Muebles y Fungicidas	

Tabla 4. Metales pesados y compuestos organometálicos más frecuentes en aguas residuales: aplicaciones y usos.

De todos los metales reseñados, en los saneamientos españoles el cadmio no suele detectarse habitualmente, mientras cobre y zinc suelen ser los mayoritarios: valores en torno a 0,100-0,200 mg/L para el primero y en torno

a 0,200-0,400 mg/L para el segundo. Por su parte, níquel, cromo y plomo se encuentran en niveles de 0,020-0,040 mg/L, mientras finalmente, mercurio y arsénico no suelen superar los 0,010 mg/L en aguas residuales urbanas españolas. En cuanto a los compuestos organoestánicos, los más habituales suelen ser mono-, di- y tributilestaño, con niveles que pueden superar los 0,100 µg/L, e incluso en algún caso, los 0,300 µg/L. Con respecto a los fenilestaños su detección suele ser mínima (< 0,005 µg/L).

3.2. Plaguicidas organoclorados, organofosforados y organonitrogenados

La detección de plaguicidas en saneamientos suele ser habitual aunque en concentraciones normalmente bajas (≤1-5 µg/L). Dicho esto, en los saneamientos españoles las concentraciones más altas de plaguicidas suelen corresponder a pentaclorofenol y β-HCH (≈0,07 µg/L en ambos) midiéndose por encima de 0,015 µg/L simazina, endosulfán-2 y α-HCH. También se han detectado en ocasiones concentraciones de atrazina, endosulfán-2, pentaclorofenol, α-HCH y δ-HCH >0,050 µg/L, así como puntas de heptacloro (>1,00 µg/L), clorpirifós y β-HCH (≈0,070 µg/L), y >15 µg/L en diurón, endosulfán-1, atrazina, clorfenvinfos, endosulfán-2, alacloro, DDE e isoproterurón. Para finalizar, estos compuestos son una clara fuente de contaminación difusa al saneamiento (hogares, comercios, parques) de muy difícil control en la actualidad (para más información al respecto, ver Tabla 5).

GRUPO	SUSTANCIAS	APLICACIONES	CONSERVACIONES
PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS	Endosulfán	Insecticida, acaricida	Autorizado en España y en el resto de Europa
	Heptacloro	Insecticida	No autorizado en el resto de Europa
	Alacloro	Fungicida	No autorizado en el resto de Europa
	β-HCH	Fungicida	No autorizado en el resto de Europa
	α-HCH	Fungicida	No autorizado en el resto de Europa
	δ-HCH	Fungicida	No autorizado en el resto de Europa
	Simazina	Fungicida	No autorizado en el resto de Europa
	Endosulfán-1	Fungicida	No autorizado en el resto de Europa
	Endosulfán-2	Fungicida	No autorizado en el resto de Europa
	Atrazina	Fungicida	No autorizado en el resto de Europa
PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS	Clorpirifós	Insecticida	Autorizado en España y en el resto de Europa
	Clorfenvinfos	Insecticida	Autorizado en España y en el resto de Europa
	Isoproterurón	Insecticida	Autorizado en España y en el resto de Europa
	DDE	Insecticida	Autorizado en España y en el resto de Europa
PLAGUICIDAS ORGANONITROGENADOS	Diurón	Insecticida	Autorizado en España y en el resto de Europa
	Clorfenoxifós	Insecticida	Autorizado en España y en el resto de Europa

Tabla 5. Plaguicidas y fitosanitarios: aplicaciones y usos.

VIRUS (44%)	BACTERIAS (30%)	PROTOZOOS (11%)	HONGOS (9%)	HELMINTOS (6%)
Enterovirus Calicivirus Virus hepatitis A y E Echovirus Adenovirus Astrovirus Parvovirus Coronavirus Polyomavirus Picornavirus Circovirus Flavivirus (Zika) SARS-COV-2	Mycobacterium avium Escherichia coli Helicobacter pylori Campylobacter jejuni Aeromonas Legionella	Ciclospora cayatanensis Microsporidia Acanthamoeba Balantidium coli Toxoplasma Cryptosporidium Entamoeba histolytica Giardia Isospora belli Naegleria fowleri	Cándida Cryptococcus Malassezia Aspergillus Fusarium Penicillium Paecilomyces Trichosporon	Dracunculus medinensis Fasciola spp.

Tabla 11: Patógenos emergentes.

7 Arsénico.	10 µg/L	24 Microcistina -LR.	1.0 µg/L
8 Benceno (CAS 71-43-2).	1.0 µg/L	25 Niquel.	20 µg/L
9 Benzo(a)pireno (CAS 50-32-8).	0.010 µg/L	26 Nitrato.	50 mg/L
10 Bisfenol A (CAS 80-05-7).	2.5 µg/L	27 Nitrato.	0.50 mg/L
11 Boro.	1.5 mg/L	28 Plaguicida individual.	0.10 µg/L
12 Bromato.	10 µg/L	29 Plomo.	5.0 µg/L
13 Cadmio.	5.0 µg/L	30 Selenio.	20 µg/L
14 Cianuro total.	50 µg/L	31 Uranio.	30 µg/L
15 Clorato.	0.25 mg/L	Parámetros sumatorios (Nota 19):	
16 Clorito.	0.25 mg/L	32 Σ5 Ácidos Halocéticos (HAH).	60 µg/L
17 Cloruro de Vinilo (CAS 75-01-4).	0.50 µg/L	33 Σ4 Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA).	0.10 µg/L
18 Cobre.	2.0 mg/L	34 Σ20 PFAS.	0.10 µg/L
19 Cromo total.	25 µg/L	35 Σn Plaguicidas totales.	0.50 µg/L
20 1,2-Dicloroetano (CAS 107-06-2).	3.0 µg/L	36 Σ2 Tricloroetano + Tetracloroetano.	10 µg/L
21 Epiclorhidrina (CAS 106-89-8).	0.10 µg/L	37 Σ4 Trihalometanos (THM).	100 µg/L

Tabla 12: CPE en aguas de consumo humano (RD 3/2023).

UE 2021/472) para ayudar a combatir la pandemia, lo que también se incluirá en la nueva directiva de aguas residuales urbanas.

Los patógenos emergentes suelen provocar distintas enfermedades en el ser humano tales como gastroenteritis, disenterías e infecciones de distinta gravedad, expandiéndose por varias razones: (i) cambios en el comportamiento y vulnerabilidad humanos, con gran movimiento de población; (ii) cambio ambiental; (iii) cambios climáticos que entrañan deforestación de entornos; (iv) desarrollo de proyectos de nuevos recursos (embalses, riego); (v) inapropiado y excesivo uso de antibióticos, antiparasitarios e insecticidas; (vi) cambio en las prácticas agrícolas e industriales; (vii) mejora en los métodos de detección y análisis.

4. COMPUESTOS DE PREOCUPACIÓN EMERGENTE EN AGUAS DE CONSUMO

Podemos abordar ahora las cuestiones del interés y la presencia de CPE en las aguas de consumo por la trascendencia sanitaria de esta cuestión sobre el ser humano. En este sentido, la normativa apli-

cable en nuestro país es el RD 3/2023, que a su vez procede de la Directiva Europea de 2184/2020 (UE). Los CPE considerados son metales pesados, disolventes orgánicos, plaguicidas, disolventes, plastificantes y subproductos de potabilización fundamentalmente (Tabla 12). En cuanto a patógenos, destáquense colifagos somáticos y legionella, aparte de los microorganismos convencionales.

4.1. Compuestos químicos más relevantes

Comenzamos el recorrido con el bisfenol-A (2,2-bis-(4-hidroxifenil)propano, compuesto empleado para fabricación de resinas epoxi y plásticos del tipo policarbonatos, empleándose en latas y botellas para líquidos, e incluso biberones infantiles. También se usa en construcción y sector naval, siendo considerado por la UE como disruptor endocrino.

Con respecto a los PFAs o perfluoroalquilos o perfluoroalquiléteres con 4 o más C, se fabrican desde 1940, empleándose en utensilios de cocina (teflón), envases alimentarios, antiadherentes, repelentes de manchas, ceras, pinturas, limpieza y espumas contra incendios.

Ac. perfluorobutanico (PFBA)	Ac. perfluoropentanoico (PFPA)
Ac. perfluoroheptanoico (PFHpA)	Ac. perfluoroctanoico (PFCA)
Ac. perfluorodecanoico (PFDA)	Ac. perfluoroundecanoico (PFUnA)
Ac. perfluorotridecanoico (PFTrDA)	Ac. perfluorobutano sulfónico (PFBS)
Ac. perfluorohexano sulfónico (PFHxS)	Ac. perfluoroheptano sulfónico (PFHpS)
Ac. perfluorooctano sulfónico (PFOS)	Ac. perfluorodecano sulfónico (PFDS)
Ac. perfluorododecano sulfónico (PFDoS)	Ac. perfluorotridecano sulfónico (PFTrDS)
Ac. perfluorohexanoico (PFHxA)	
Ac. perfluoroheptanoico (PFHpA)	
Ac. perfluorododecanoico (PFDoA)	
Ac. perfluoropentano sulfónico (PFPeS)	
Ac. perfluoroctano sulfónico (PFOS)	
Ac. perfluoroundecanoico sulfónico (PFUnS)	

Tabla 13: PFAs en aguas de consumo humano (RD 3/2023).

Son muy persistentes en el medio (los químicos eternos) y se bioacumulan en peces, animales y humanos. Pueden provocar en animales, y probablemente humanos, afecciones sobre la reproducción, desarrollo embrionario, hígado, riñón, sistema inmune y tiroides (Tabla 13).

Los ácidos haloacéticos son subproductos de la cloración de las aguas derivados del ácido acético por sustitución de H del grupo metilo por cloro o bromo fundamentalmente. Son muy volátiles y se generan en mayor medida a pH ácido y en aguas con mucha materia orgánica, y especialmente en primavera-verano con aguas a potabilizar ricas en fitoplancton.

En cuanto al fluoranteno, es el hidrocarburo aromático policíclico 1,2-(1,8-naftilén)benceno. Se trata de un compuesto fluorescente a la luz UV. Se emplea en fabricación de colorantes, generándose también durante la combustión de petróleo, gas, madera y carbón, y presentando carcinogenicidad.

Todos estos compuestos están incluidos para determinación periódica en aguas de consumo. Además, existe una lista de observación, sin límites de cumplimiento y que comenzará a aplicarse en 2024, que contempla 17-β-estradiol y nonilfenoles, ya comentados en el apartado 3, así como microplásticos, azitromicina y diclofenaco.

Sobre MP en aguas de consumo, no existen métodos analíticos generales consensuados hasta la fecha. No obstante, las espectroscopías IR y Raman parecen ser las metodologías más adecuadas

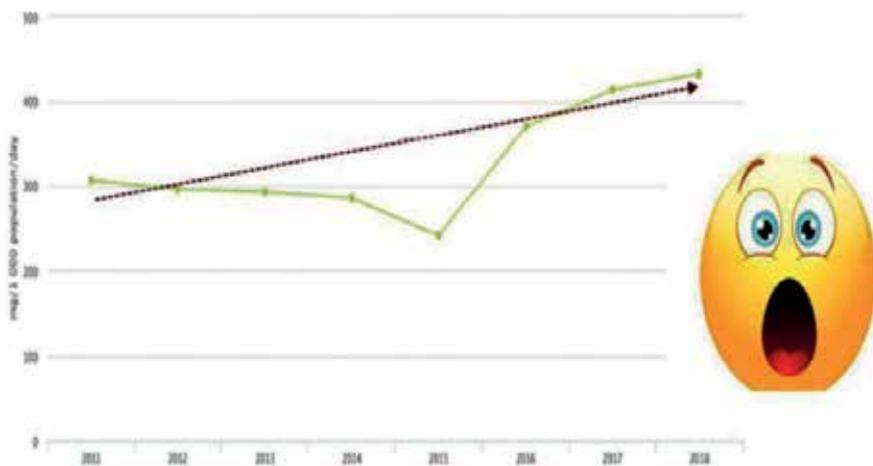


Figura2: Evolución del contenido en residuos de cocaína en ciudades europeas de Bélgica, España, Francia, Croacia, Italia, Países Bajos y Noruega, entre 2011 y 2018.

De la conocida legionella, comentar que la vía infectiva es la aérea desde aparatos de aire acondicionado y torres de refrigeración, no por consumo de agua, y que generan brotes de legionelosis con afección respiratoria de forma periódica en España.

Con respecto a pseudomonas aeruginosa se trata de un patógeno oportunista, ligado a la presencia de coliformes y asociada a materiales no metálicos de tuberías de aguas.

Finalmente, los colifagos somáticos (myoviriade, styloviriade, podoviriade y microviriade) son virus ADN e infectan bacterias entéricas, informando su presencia de contaminación fecal del agua bruta de captación para potabilización, y provocando gastroenteritis en humanos.

5. BIBLIOGRAFÍA DE INTERÉS

- AWWA (2012). *Water Treatment Plant Design, 5th ed.*, New York.
- Barceló, D. y López, M^a. J. (2007). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes*. En: *Panel Científico-Técnico de seguimiento de la política de aguas*. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC. Barcelona.
- Marín Galvín, R. (2017). *Contaminación emergente: sustancias prioritarias y preferentes, productos farmacéuticos, drogas de abuso, disruptores endocrinos, microplásticos y patógenos emergentes*. *TecnoAqua*, 24, 66-77.
- Marín Galvín, R. (2018). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*, 2^a edición. Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- Marín Galvín, R. et al. (2019). *Microplásticos en aguas: presencia, investigación y potencial incidencia sanitaria sobre el ser humano*. *TecnoAqua*, 36, 76-86.
- Marín Galvín, R. et al. (2022). *Actualización de la presencia de compuestos de preocupación emergente a los saneamientos españoles*. *Tecnoaqua*, 57, 44-56.
- Metcalfe and Eddy Inc. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, (4th ed.) Ed. McGraw Hill, New York.
- Nemerow, N. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- Unión Europea (2021). *Recomendación UE 2021/472 de 17-3-2021, sobre enfoque común para vigilancia sistemática de SARS-COV-2 en aguas residuales de la UE.* 🌱

para monitorizar con un enfoque sanitario los MP en aguas de consumo. En el caso de España se han utilizado tanto técnicas de CG-EM como de FTIR y Raman, identificándose polímeros de PVC, PS, PA, PE, PET, PP y PU, con concentraciones en aguas de consumo de pocos $\mu\text{g/L}$ como masa, y de pocas fibras de MP/L como cuantificación, siendo la eliminación de MP en las ETAP convencionales sumamente eficiente. Finalmente, en un estudio sobre MP en aguas de salida de una ETAP y en varios puntos de la red de distribución alejados hasta 12 km de la

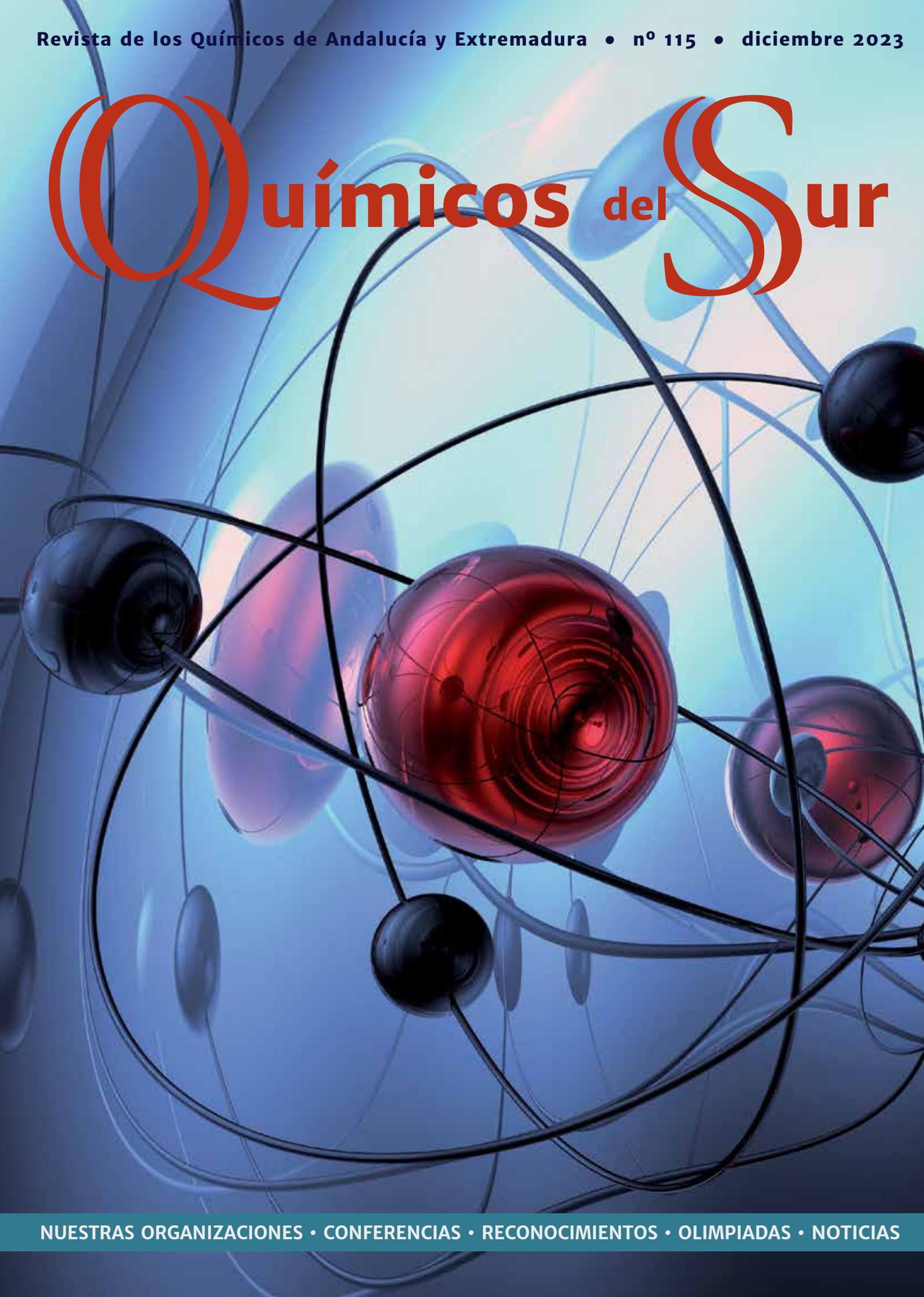
planta, no se pudo concluir que existiese incremento de MP con el % de PE en tuberías ni con el aumento de la distancia desde la potabilizadora.

Por su parte, la azitromicina es un antibiótico macrólido usado para tratar bronquitis, neumonía, enfermedades de transmisión sexual, y de oídos, pulmones, nariz, piel y garganta. También para el tratamiento de enfermos de Covid-19. Sobre el diclofenaco, coméntese que es un fármaco antiinflamatorio y analgésico de amplio uso actualmente.

4.2. Patógenos en aguas de consumo



Químicos del Sur

The background of the cover is an abstract, artistic representation of atomic or molecular structures. It features several glowing spheres in shades of red, orange, and blue, connected by thin, dark lines that form complex, overlapping orbital paths. The overall color palette is cool, dominated by blues and purples, with the glowing spheres providing a warm contrast.