



Actualización de la presencia de compuestos de preocupación emergente a los saneamientos españoles

Se estudia la presencia actual de los compuestos de preocupación emergente (CPE), tanto químicos como radiológicos y su contenido microbiológico, en las aguas residuales y lodos de EDAR de los saneamientos españoles. En la actualidad, Zn, Cu y Ni son los CPE mayoritarios. Con respecto a disolventes aromáticos y halogenados (HA y AOX), estos solo se hallan en pocos mg/L. Así mismo, el lavado de equipos para aplicación de fitosanitarios provoca su vertido al medio. Con relación a fármacos y hormonas (solo se hallan las naturales), la azitromicina es mayoritaria en las aguas residuales y lodos de EDAR, mientras que el fluconazol, el diclofenaco y la venlafaxina son mayoritarios en los saneamientos. Además, la anfetamina, la cocaína, la benzoilecgonina (su metabolito) y carboxi-THC son drogas habituales en las aguas urbanas. También se detectan trazas de contenido radiológico en las aguas urbanas. Finalmente, los saneamientos pueden ser un valioso sistema de alerta temprana ante epidemias (SARS-COV-2). Por tanto, la eliminación de los CPE en las EDAR actuales suele ser bastante eficiente en general.

Palabras clave

Compuestos de preocupación emergente (CPE), metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), fitosanitarios, microplásticos (MP), fármacos, materiales radiactivos, drogas, microorganismos patógenos.

UPDATE OF PRESENCE OF POLLUTANT OF EMERGING CONCERN IN SPANISH SANITATION

The presence of pollutant of emerging concern (PEC), chemical, radiological and microbiological content) in wastewater and WWTP sludge from Spanish sanitation have been studied. At present, Zn, Cu and Ni are the heavy metals majority here. With respect to aromatic and halogenated solvents (HA and AOX) they are only found in a few mg/L. On the other hand, the washing of equipment for the application of phytosanitary products causes their discharge into the environment. In relation to drugs and hormones (only natural ones are found), azithromycin is the majority in wastewater and WWTP sludge, while fluconazole, diclofenac and venlafaxine are the majority in sanitation. In addition, amphetamine, cocaine and benzoylecgonine (its metabolite), and carboxy-THC are common drugs in urban waters. Likewise, traces of radiological content are detected in urban waters. Finally, sanitation can be a valuable early warning system for epidemics (SARS-COV-2). So, the elimination of PEC in the Spanish current WWTP is usually quite efficient in general.

Keywords

Pollutant of emerging concern (PEC), heavy metals, PHA, phytosanitary, microplastics, pharmaceuticals, radiological content, drugs, pathogenic microorganisms.

Rafael Marín Galvín

jefe de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (Emacsa)

Agustín Lahora Cano

responsable del Departamento de Control de Vertidos de la Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región Murcia (Esamur)

Miguel Ángel Doval Aguirre

responsable de Inspección de Vertidos de la Empresa Metropolitana de Aguas de Sevilla (Emasesa)

Isabel Martínez-Alcalá

investigadora postdoctoral de la Universidad Católica de Murcia (UCAM)

Íñigo González Canal

responsable del Área de Control de Vertidos del Consorcio de Aguas Bilbao-Bizkaia

Félix Ripollés Pascual

responsable de Licitaciones de Eurofins Iproma

Ernesto Santateresa Forcada

subdirector de Explotaciones de Calidad Ambiental de Facsa

Francisco Escribano Romero

jefe del Departamento de Vertidos Industriales de la Entitat de Sanejament d'Aigües de la Comunitat Valenciana (EPSAR)



1. INTRODUCCIÓN

Los contaminantes de preocupación emergente (CPE) abarcan un gran número de compuestos químicos inorgánicos u orgánicos, naturales o de síntesis, incluyendo biocidas, fármacos, drogas e incluso materiales como microplásticos (MP) o microorganismos patógenos. Tienen un origen muy diverso, pero son potencialmente negativos para la salud o el medio ambiente (Marín Galván, 2017), tratándose de microcontaminantes al encontrarse en concentraciones muy bajas en el agua. En este trabajo se considerarán tanto los CPE detectados recientemente, como otros más conocidos pero que continúan apareciendo con frecuencia en las aguas residuales (domésticas, industriales o integradas).

Así mismo, a medida que se conocen sus efectos negativos, los CPE se van incorporando a autorizaciones ambientales cada vez más exigentes, incluyendo algunas autorizaciones de vertido a cauce. Para su control se establecen convenios y normativas internacionales, como el Reglamento REACH de la Unión Europea (UE) de análisis de riesgos de productos químicos, el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) o el conocido E-PRTR (aguas residuales), así como la propia Directiva de Aguas Residuales, actualmente en curso de revisión, y las respectivas transposiciones a la legislación española (RD 817/2015 y RDL 1/2016).

En cualquier caso, el control de CPE solo será eficaz desde un eficiente control en origen de estos compuestos, puesto que las EDAR convencionales podrían no eliminar de forma eficiente los CPE de las aguas residuales. En este sentido, y como actividades relevantes del Grupo de Trabajo de Vertidos de la Comisión V de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS), ya se publicó un estudio sobre CPE y otros contaminantes más convencionales (Marín Galván *et al.*, 2009) muy valorado por el sector en su momento. Es ahora el momento de evaluar cómo está la situación en la actualidad.

2. REVISIÓN DE DATOS INFORMADOS VÍA E-PRTR

La información relativa al Reglamento E-PRTR es pública y está disponible en la web del PRTR (<https://www.prtr-es.es>). Contiene las emisiones anuales declaradas al medio acuático en los últimos 20 años por más de 8.500 complejos industriales, pudiéndose consultar datos por sustancia contaminante, complejo industrial o actividad. Así, se han declarado más de 11.000 datos en 2020 y más de 50.000 en los últimos 10 años, los cuales han servido para elaborar este estudio.

Según los datos disponibles, el 99,96% de las emisiones al agua se corresponden con parámetros físico-químicos (cloruros, fluoruros, fenoles, cianuros) y nutrientes (DQO,

TOC, nitrógeno, fósforo), el 0,024% con AOX, el 0,016% a metales y tan solo el 0,001% corresponden a contaminantes orgánicos.

Si se analizan las emisiones al agua por actividad industrial, las EDAR, con 179 instalaciones, suponen el 70% del total de las emisiones declaradas y el 53% de las emisiones en el caso de contaminantes orgánicos, destacando plaguicidas y compuestos fenólicos con unas emisiones que superan el 98% del total de las emisiones declaradas en estas sustancias respecto al resto de sectores (**Tabla 1**).

Con respecto a las emisiones al agua durante 2020 por grupos de sustancias, la **Figura 1** reseña aquellas con emisiones más altas para los principales grupos de orgánicos y metales pesados considerados. En el caso de plaguicidas destaca el insecticida clorpirifos y, en menor medida, los herbicidas simazina, atrazina, diurón e isoproturón. Dentro de los compuestos orgánicos volátiles destacan las emisiones de diclorometano, triclorometano, 1,2-dicloroetano, óxido de etileno y cloruro de vinilo.

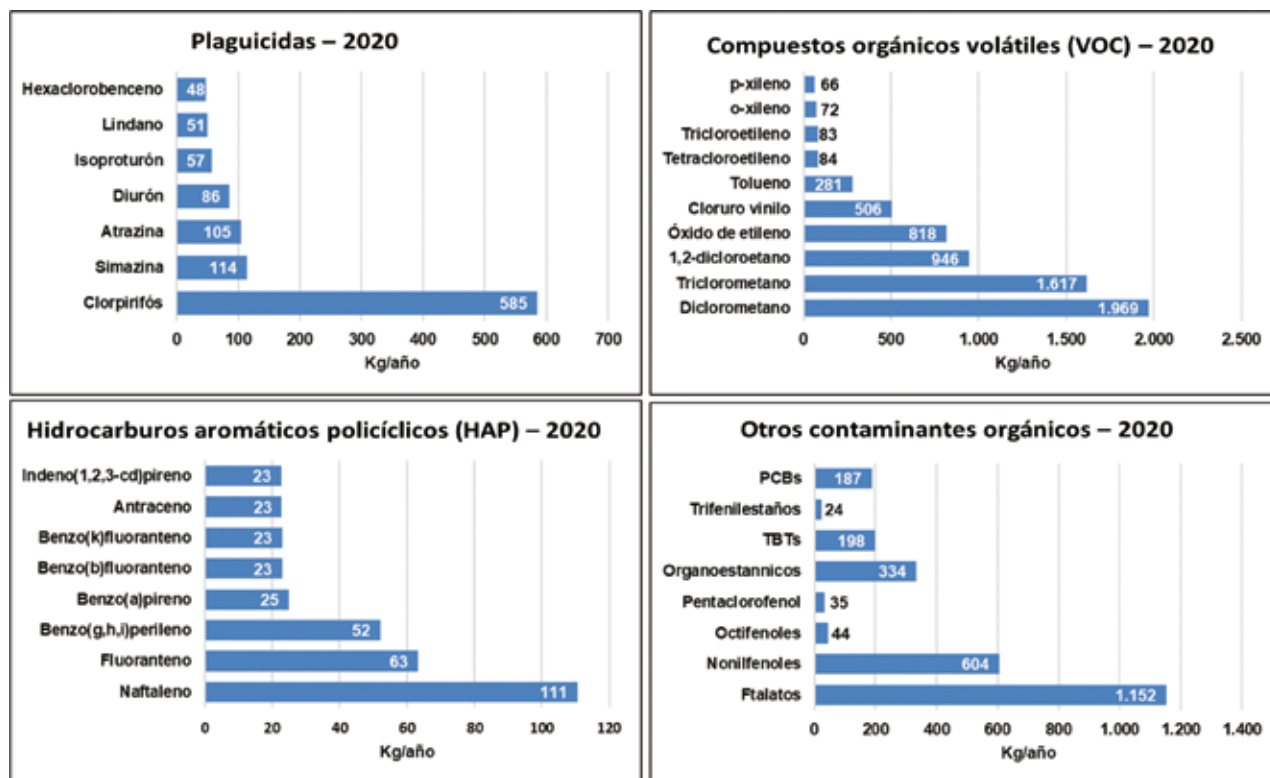
Para los HPA deben citarse las emisiones de naftaleno, fluoranteno y benzo(g,h,i)perileno y, dentro de otros contaminantes orgánicos, las emisiones de ftalato de bis (2-etilhexilo) (plastificante), nonilfenoles (productos de limpieza y detergentes) y compuestos órgano-estánicos (usados en pesticidas, biocidas o pinturas).

TABLA 1

EMISIONES DECLARADAS EN EL AÑO 2020 POR SECTORES (DATOS EN KG/AÑO EMITIDOS AL AGUA).

Sector	FIS-QUIM.	NUTRIEN.	AOX	METAL	VOC	TBT	FTAL.	HPA	PLAG	FENOL	PCB	OTROS
EDAR	595.027.550	161.596.127	140.731	136.399	2.340	428	833	585	1.038	675	111	0
Resto sectores	242.697.148	79.998.603	118.915	41.503	3.754	128	319	454	13	8	76	509
Total año 202	837.724.698	241.594.730	259.647	177.902	6.093	555	1.152	1.039	1.052	684	187	509

FIGURA 1. Emisiones declaradas en el año 2020 al E-PRTR de contaminantes orgánicos.



En el grupo de los metales, destacan los datos correspondientes a las emisiones al agua de Zn (120.990 kg/año), seguidos de Cu (19.697 kg/año), Ni (12.137 kg/año), Cr (10.689 kg/año), Pb (7.315 kg/año), As (5.164 kg/año), Cd (1.482 kg/año) y Hg (427 kg/año), según año 2020.

Analizando los grupos de sustancias emitidas al agua por medios receptores, en el caso de los compuestos orgánicos se reparten como sigue: 42% a medio marino, 39% a cauces continentales y 19% al saneamiento. Para metales, las emisiones son mayoritarias para saneamientos (42%), seguidas de cauces (30%) y medios marinos (28%). A continuación se realiza un análisis más pormenorizado por grupos de sustancias.

3. METALES PESADOS

En el ámbito doméstico existen multitud de productos de uso cotidiano y materiales que pueden justificar la

presencia de los metales recogidos en el RD 817/2015 en aguas residuales urbanas, desde las propias tuberías de conducción de agua, a productos de limpieza, aseo personal, baterías, material electrónico... Las actividades urbanas, principalmente las relacionadas con el tráfico, son importantes fuentes generadoras de metales que, a través de baldeos o escorrentías de lluvias, suelen terminar en las redes de saneamiento.

Evidentemente, los vertidos industriales procedentes de actividades relacionadas con metales presentan unas concentraciones mucho más elevadas y significativas que las generadas en el ámbito doméstico, a resaltar los recogidos en la **Tabla 2** (Caviedes *et al.*, 2015).

Las tecnologías para la eliminación de metales en aguas residuales resultan muy variadas, con distintos costes de implantación y rendimientos de depuración. Los procesos comúnmente utilizados son la coagulación-

floculación, la precipitación química, la filtración con membranas (electrodialisis, ósmosis inversa, ultrafiltración y nanofiltración), la adsorción (carbón activado), el intercambio iónico o la electrocoagulación.

Para analizar la evolución de los metales en las aguas residuales españolas se han utilizado las declaraciones del Registro E-PRTR entre 2010 y 2019 para EDAR > 100.000 habitantes equivalentes (Tabla 3). En el análisis de estos datos cabe resaltar el incremento observado en la emisión de As y Hg en los dos últimos años. También resultan significativas las emisiones declaradas de Ni en el último año. Además, la tendencia creciente de Cu se ha visto atenuada en los dos últimos años a valores anteriores a 2013.

Por otro lado, en el estudio realizado por el Grupo de Trabajo de Vertidos en 2009 (Marín Galván *et al.*, 2009) se detectó la presencia de metales en las muestras urbanas


TABLA 2
PRINCIPALES ACTIVIDADES GENERADORAS DE METALES PESADOS.

Actividad	Metales	Fuente contaminación
Minería extracción metales	As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Drenajes, subproductos en las menas
Fundición	As, Cd, Pb	Procesado obtención metales
Metalúrgica	As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Procesos térmicos
Tratamientos superficiales	Cr, Cu, Ni, Zn	Baños de recubrimientos
Pinturas y barnices	As, Cr, Pb, Zn	Fabricación de productos
Electricidad y electrónica	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb	Procesos de Fabricación y reciclaje
Gestión de residuos	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Lixiviados
Baterías	Cd, Hg, Ni, Pb, Zn	Procesos Fabricación y reciclaje
Agricultura y ganadería	As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn	Escorrentías, aguas subterráneas
Cerámica y vidrios	Zn, Pb, Hg	Elaboración de fritas cerámicas y esmaltes

TABLA 3
PRTR EMISIONES METALES Y SUS COMPUESTOS (KG/AÑO).

Año	Cantidad (t/año)							
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
2010	1,338	0,064	8,906	5,136	0,034	19,484	1,298	96,734
2011	0,652	0,064	6,982	0,492	0,036	6,808	0,873	64,229
2012	0,848	0,186	6,286	2,218	0,051	7,008	2,709	49,245
2013	0,441	0,112	16,716	8,447	0,138	9,648	3,289	53,181
2014	0,5	0,059	13,925	2,734	0,069	8,725	2,136	56,873
2015	2,106	0,083	15,333	9,686	0,067	13,304	2,246	54,647
2016	1,119	0,272	17,409	4,091	0,132	10,328	2,226	46,852
2017	1,474	0,143	22,976	7,499	0,049	21,701	1,489	66,373
2018	5,3	1,363	7,754	2,781	0,212	11,716	2,32	44,615
2019	5,338	0,968	7,877	3,888	0,23	256,57	2,742	48,941

TABLA 4
RESULTADOS METALES PESADOS EN SANEAMIENTOS ESPAÑOLES. Nota: ND = no detectado.

Metales pesados según estudio Grupo Vertidos AEAS (2010)								
Colector urbano 2010	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	As	Hg	Cd
% detección	79	79	21	17	10	7	7	0
Máx. (mg/L)	0,640	0,300	0,032	0,100	0,500	0,006	0,009	0
Metales pesados según estudio Emasesa (2020)								
Colector urbano 2020	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	Al	Cd	
Máx. (mg/L)	0,800	0,410	0,110	ND	0,059	3,10	ND	
Medias (mg/L)	0,169	0,029	0,003	ND	0,004	1,00	ND	

TABLA 5

METALES PESADOS (MEDIAS 2005-2015) EMACSA CÓRDOBA. COMPARACIÓN CON EL RESTO DE ESPAÑA.

Metales (mg/L)	As	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Hg	Cr	Se
Influyente residual	0,006	0,025	0,112	0,145	0,013	0,011	0,006	0,008	0,021
Efluente depurado	0,002	0,009	0,046	0,065	0,008	0,006	0,007	0,004	0,008
% rendimiento	66,0	64,9	58,6	55,4	42,5	47,3	-16,7	54,5	61,8
Influyente España	0,001	0,024	0,159	0,465	0,023	0,001	0,001	0,033	-
Agua depurada España	0,002	0,002	0,027	0,107	0,020	< 0,001	< 0,001	0,008	-

analizadas en los siguientes porcentajes, y concentraciones máximas (Tabla 4). Por parte de Emasesa, en 2020 se llevó a cabo un estudio sobre las características actuales de los vertidos de origen doméstico en la ciudad de Sevilla y municipios de su área metropolitana (Doval Aguirre *et al.*, 2021). En la Tabla 4 también se muestran los datos obtenidos de metales de este estudio sobre un total de 70 muestras.

En cuanto al grado de eliminación de metales en las EDAR, se puede tomar como referencia un estudio de Emacsa (Marín Galvín, 2016), en el cual se detalla el rendimiento de depuración de estas sustancias, teniendo en cuenta las concentraciones detectadas en el influente, y a la salida de la EDAR en el periodo de 2005-2015. En el mismo se concluye una tasa de reducción media de metales del 62,3% (Tabla 5). No obstante, la tasa de degradación depende del metal concreto, del estado de los fangos de depuración, de fenómenos de adsorción-desorción por ellos experimentados, así como de procesos de volatilización.

4. CONTAMINACIÓN ORGÁNICA

La contaminación orgánica, la más variada en cuanto a especies químicas presentes en el agua residual, abarca desde sustancias simples y biodegradables (ácidos grasos y alcoholes de cadena corta) hasta com-

puestos de origen fósil o de síntesis de pesos moleculares altos y muy ramificados, de difícil tratamiento o incluso tóxicos para los procesos biológicos de las EDAR. Todo ello junto a sustancias orgánicas procedentes de la biomasa de las aguas residuales sanitarias o asimilables (hidratos de carbono, lípidos y proteínas).

Así, la biodegradabilidad de las sustancias orgánicas depende, además de su peso molecular, de la presencia de determinados grupos funcionales que protegen la molécula de degradación, en especial grupos funcionales conteniendo halógenos o estructuras aromáticas que confieren gran estabilidad química a las moléculas.

En este punto, este artículo se centra en un tipo de contaminación orgánica presente en determinados efluentes, como son los disolventes industriales empleados en multitud de sectores para el mantenimiento de las instalaciones o para determinados procesos industriales. Estos compuestos se pueden clasificar en hidrocarburos halogenados y en hidrocarburos aromáticos, siendo sus propiedades más destacables dos: su insolubilidad en agua por su carácter apolar (se pueden disolver en aceites y las grasas); y su diferente densidad con el agua pudiendo formar emulsiones (los halogenados se hunden en el agua y los aromáticos flotan sobre ella). Los disolventes más comunes se citan en la Tabla 6.

En los saneamientos las regulaciones suelen contemplar hidrocarburos halogenados totales o AOX, mientras que para los aromáticos pueden estar agrupados como BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno). Los niveles fijan valores de 5 mg/L para los BTEX (Ordenanza de Barcelona, 2004) y de 2 mg/L para AOX (Barcelona, 2004; Castellón, 1995), aunque para halógenos algunas normas recogen sustancias concretas. En cuanto a limitaciones de vertido a cauces, debieran aplicarse valores de emisión para que en el medio receptor no se superen las NCA (RD 817/2015) de sustancias preferentes o prioritarias y otros compuestos.

Por otra parte, estos compuestos se hallan en aguas residuales desde trazas hasta unos pocos mg/L, derivadas de su presencia en textiles, fregonas, pinceles y otras herramientas de trabajo cuyos lavados van a los desagües. También pueden formarse en las propias aguas residuales, caso del cloroformo (agua de grifo + materias orgánicas). Cantidades más altas pueden encontrarse en vertidos bien directos o accidentales por derrames de disolventes agotados o contaminados con el uso lo que se detectaría vía visual y olfativa al formar fases en el agua y presentar olores dulces característicos que se tornan molestos con el tiempo.



TABLA 6

DISOLVENTES INDUSTRIALES: HIDROCARBUROS AROMÁTICOS E HIDROCARBUROS HALOGENADOS.

Hidrocarburos aromáticos (BTEX)	
Compuesto	Usos más habituales
Benceno	En el pasado fue ampliamente utilizado como disolvente de grasa, aceites, adhesivos y pinturas. Actualmente, por su toxicidad, ha sido desplazado por otras sustancias y se limita su uso como intermediario en la fabricación de detergentes, explosivos, pinturas y otros productos de síntesis.
Tolueno	Se utiliza como antidetonante en combustibles y como disolvente para pinturas, resinas, lacas, adhesivos y fabricación de explosivos. También es una sustancia de partida para otros productos de síntesis.
Xileno y sus isómeros	Disolvente habitual de taller, utilizado para el desengrasado de piezas metálicas, disolvente de pinturas y limpieza de sustancias grasas en general. También se encuentra como componente en combustibles, disolvente de pegamentos y tintas permanentes.
Etilbenceno	Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de estireno y otros productos químicos. Se presenta de forma natural en el carbón y derivados del petróleo.
Hidrocarburos halogenados (AOX)	
Compuesto	Usos más habituales
1, 2-dicloroetano	Uso mayoritario como precursor del cloruro de vinilo (monómero del PVC). También se ha utilizado como diluyente de plásticos y desengrasante.
Diclorometano (cloruro de metileno)	Se utiliza como disolvente en la industria farmacéutica y para obtención de sustancias de síntesis, en particular en la extracción de la cafeína para obtener café descafeinado. También es un decapante de pinturas y agente desengrasante.
Triclorometano (cloroformo)	Fue utilizado como anestésico y disolvente de grasas en la limpieza en seco. Actualmente estos usos están restringidos y solo se puede utilizar como disolvente de sustancias orgánicas en síntesis o en la fabricación de colorantes y plaguicidas.
Tetraclorometano (tetracloruro de carbono)	Se ha utilizado como refrigerante, como propulsor en aerosoles, agente de limpieza en seco y como pesticida. Actualmente estos usos están prohibidos y solo se permite en determinadas aplicaciones como intermediario o disolvente para la fabricación productos químicos muy concretos.
Tetracloroetileno (percloroetileno)	Ampliamente utilizado para la limpieza en seco de textiles y cueros, así como desengrasante de metales para su tratamiento superficial. Actualmente su uso para estas actividades está restringido debido a su toxicidad.
Tricloroetileno	Se utiliza básicamente como desengrasante de piezas metálicas antes de su tratamiento superficial. Al igual que el percloroetileno, ha sido ampliamente utilizado para limpieza de manchas de grasa en seco y está presente en determinados adhesivos y correctores de tinta.

En cuanto a sus efectos, bajas cantidades de aromáticos pueden ser degradadas por los procesos biológicos aclimatados, aunque en concentraciones más altas pueden producir dificultad en la transferencia de O₂ con los microorganismos, atravesar la membrana celular y provocar su muerte. Por lo que respecta a los halogenados, estos presentan mayor refractariedad y toxicidad a los tratamientos biológicos, suelen acumularse en las grasas y por este motivo y su mayor densidad que la del agua es más habitual encontrarlos en los lodos de depuración que en los propios efluentes depurados de las EDAR.

5. FITOSANITARIOS Y PLAGUICIDAS

La **Tabla 7** recoge los fitosanitarios y plaguicidas incluidos en el RD 817/2015, algunos de los cuales, aún ya prohibidos, pueden hallarse tanto en aguas naturales como en aguas residuales. Suelen presentar un origen difuso al aplicarse sobre los cultivos o terreno, si bien existen focos de contaminación localizados donde la aplicación se realiza directamente sobre los productos del campo (cooperativas y plantas de procesamiento de productos agrícolas). En ambos casos se han encontrado focos procedentes de limpiezas y baldeos de los equipos

de aplicación de estos productos por vaciado directo sobre redes de saneamiento o cauces libres.

De entre todos los fitosanitarios estudiados destacan los fungicidas postcosecha (imazalil, tiabendazol, ortofenil-fenol y acetato de guazatina, prohibido desde 2016) como los más nocivos para las aguas residuales, ya que son químicamente muy agresivos sobre los microorganismos depuradores de las EDAR (Santateresa Forcada, en Marín Galvín, 2021). Estos afectan especialmente a la nitrificación-desnitrificación, donde la presencia de muy bajas concentraciones da lugar a su total inhibición por secuestro de N del medio.

TABLA 7

FITOSANITARIOS Y PLAGUICIDAS REGULADOS EN EL RD 817/2015.

Compuesto	Uso	Compuesto	Uso	Compuesto	Uso
Alacloro	Herbicida	Endusolfán	Insecticida	Quinoxifeno	Fungicida
Atrazina	Herbicida	Hexaclorobenceno	Fungicida	Aclonifeno	Herbicida
Clorfenvinfós	Insecticida	Hexaclorociclohexano	Insecticida	Bifenox	Herbicida
Clorpirifós	Insecticida	Isoproturón	Herbicida	Cibutrina	Insecticida
Aldrín	Insecticida	Pentaclorobenceno	Herbicida	Cipermetrina	Insecticida
Dieldrín	Insecticida	Pentaclorofenol	Herbicida	Diclorvós	Insecticida
Endrín	Plaguicida	Simazina	Herbicida	Heptacloro	Plaguicida
Isodrín	Insecticida	Compuestos de tributilestaño	Pesticida	Terbutrina	Herbicida
DDT	Insecticida	Triclorometano	Insecticida	Terbutilazina	Herbicida
p.p'-DDT	Insecticida	Trifluralina	Herbicida	Diclorobenceno	Insecticida
Diurón	Herbicida	Dicofol	Insecticida	Metolacloro	Herbicida

Como ejemplo, la reglamentación en la Comunidad Valenciana, que fija un valor máximo de pesticidas en aguas residuales de 0,1 mg/L. Así, entre 2016 y 2019 se inspeccionaron 112 establecimientos y se realizaron 383 muestreos, comprobándose que el 66% de los establecimientos tenían incumplimientos en imazalil, tiabendazol, ortofenil-fenol, y pesticidas totales, con concentraciones máximas medidas de, respectivamente, 48 mg/L, 255 mg/L, 60,7 mg/L y 400,8 mg/L.

De los datos obtenidos en estas inspecciones, se deduce lo siguiente:

- Ha existido un 50% de las muestras analizadas con incumplimiento de uno o varios fungicidas.

- A pesar de las campañas informativas se siguen produciendo puntualmente vaciado de los sistemas de ducha de la fruta (Drencher), que pueden llegar a contener hasta 400-600 mg/L de fungicidas.

- Los programas de reducción de fitosanitarios usando ozono generan efluentes de <0,1 mg/L de compuestos.

- La persistencia de estos fungicidas es alta (3-4 años) tras abandono de su uso al quedar retenidos en las

paredes de colectores y equipos junto a ceras y grasas con los que se usan.

- La sustitución de productos por otros no es, en principio, ambientalmente segura, como ocurre con propiconazol, pirimetanil, foseetil-Al, tebuconazol, procloraz y fludioxonilo.

- Es significativo que pesticidas prohibidos hace años aún se sigan detectando en las aguas, dada su gran persistencia, como es el caso del DDT y el lindano (HCH).

6. ANTIMICROBIANOS, FÁRMACOS Y HORMONAS

Se trata de compuestos de origen

TABLA 8

ANTIBIÓTICOS, ANTIMICÓTICOS, FÁRMACOS Y HORMONAS, LISTAS DE OBSERVACIÓN AÑOS 2015, 2018 Y 2020.

Actividad	Compuestos	Lista de observación
Antibióticos	Amoxicilina y Ciprofloxacina	2018
	Macrólidos (Azitromicina, Claritromicina y Eritromicina)	2015 y 2018
	Sulfametoxazol y Trimetoprim	2020
Antimicóticos	Clotrimazol, Fluconazol y Miconazol	2020
Fármacos	Diclofenaco	2015
	Venlafaxina y O'desmetilvenlafaxina	2020
Hormonas	Estrógenos (17- α -Ethinilestradiol (EE2), 17- β -Estradiol (E2) y Estrona (E1))	2015 y 2018



TABLA 9

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ANTIBIÓTICOS, ANTIMICÓTICOS, FÁRMACOS Y HORMONAS PRESENTES EN AGUAS ESPAÑOLAS (CONCENTRACIONES MEDIAS, MÁXIMAS Y PORCENTAJES DE ELIMINACIÓN) RECOPIADOS DESDE 2016. Nota: ND = no detectado; NA = no analizado; y SD = sin datos.

Compuestos	Influyente (ng/L)		Efluente (ng/L)		Lodos (ng/g PS)		Eliminación (%)	
	Media	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.
Amoxicilina	1.070	3.140	3.488	13.100	ND	ND	NA	NA
Azitromicina	1.126	2.899	922	19.460	314	923	59	100
Ciprofloxacina	14.698	149.700	519	3.640	SD	3.100	75	83
Claritromicina	159	1.500	102	630	5	9	59	97
Eritromicina	39	138	71	657	17	165	73	100
Sulfametoxazol	423	5.706	171	2.256	57	137	65	69
Trimetoprim	299	5.000	112	1.993	3	7	75	90
Fluconazol	NA	NA	20.930	109.480	NA	NA	NA	NA
Diclofenaco	596	3.749	553	4.684	146	401	38	53
Venlafaxina y O'desmetilvenlafaxina	556	1.462	442	1.280	38	50	16	20
17-β-Estradiol (E2)	26	26	n.d.	n.d.	ND	ND	NA	NA
Estrona (E1)	24	70	26	231	NA	NA	50	100

natural o sintético cuyo objetivo es tratar de paliar y eliminar enfermedades. Dado que existe aún cierto desconocimiento sobre la repercusión de su presencia en el medio ambiente, algunos de ellos se están incluyendo en las listas de observación derivadas de la Directiva 2008/105/CEE para su estudio, tal y como se observa en la **Tabla 8**.

El caso de los antibióticos merece una mención especial, ya que con pequeñas dosis pueden llegar a generar la aparición de resistencias a su efecto. Con respecto a los productos farmacéuticos son muy variados, teniendo algunos de ellos propiedades que les confieren cierta resistencia a la degradación, como pueda ser el caso de diclofenaco y venlafaxina. En la **Tabla 9** se ha realizado una revisión bibliográfica sobre la frecuencia y concentraciones a las que se suelen encontrar en las EDAR, así como sobre sus porcentajes de eliminación. Se aprecia que las concen-

traciones en influentes y efluentes son dispares, con una enorme variabilidad. En los influentes las variaciones son principalmente debidas a la estacionalidad de su consumo, mientras que en los efluentes se deben además a los distintos sistemas de tratamiento de las EDAR.

De la **Tabla 9** se deduce que el antibiótico detectado con mayor frecuencia en aguas (100%) es el sulfametoxazol, mientras que en lodos también se detecta azitromicina (100%). Sin embargo, las concentraciones máximas más altas que se han encontrado en las aguas analizadas se deben a ciprofloxacina (149,7 mg/L). Mientras que, en el caso de los lodos, las concentraciones máximas más elevadas han sido medidas para ciprofloxacina, no indicándose la detección de otros antibióticos como amoxicilina. Por su parte, los porcentajes de eliminación obtenidos en las depuradoras suelen ser altos (> 50%) en comparación

con los obtenidos para otro tipo de compuestos.

En relación con los antimicóticos, solo se han obtenido datos para fluconazol, que se emplea para el tratamiento de diversos tipos de infecciones como candidiasis, tiña y onicomicosis entre otras. En las aguas de efluentes de depuradora se han llegado a encontrar concentraciones de hasta 109.480 ng/L, siendo paradójico el hecho de que no se haya encontrado en el influente que accede a las EDAR.

Con respecto a fármacos, diclofenaco (antiinflamatorio) y venlafaxina (antidepresivo), se detectan en las muestras con bastante frecuencia, especialmente el diclofenaco (> 83%). Ambos se encuentran en las aguas en el mismo orden de magnitud, aunque en lodos es el diclofenaco el que tiene mayores concentraciones llegando a detectar hasta 401 ng/g. Para ambos compuestos los porcentajes de eliminación sue-

len ser bajos, indicando que se trata de compuestos muy biorefractarios y difíciles de eliminar.

Finalmente, las hormonas presentes en las listas tienen una baja frecuencia de detección, habiéndose solo encontrado las naturales 17- β -Estradiol (E2) y estrona (E1), si bien a bajas concentraciones. No se informó de detecciones de 17- α -Ethinilestradiol (EE2), que se encuentra en las píldoras anticonceptivas y en algunos tratamientos hormonales. Este tipo de sustancias también suelen ser difíciles de degradar en las EDAR, encontrándose a veces en los efluentes. Algunas referencias recientes no exhaustivas sobre estos temas se pueden encontrar en Lahora y Llorca, 2017; Marín Galvín, 2017; Martínez-Alcalá *et al.*, 2017 y en prensa; Moles *et al.*, 2020; Bijlsma *et al.*, 2021; Gallardo-Altamirano, 2021; Gómez-Canela *et al.*, 2021; López-Herguedas *et al.*, 2021 y Serra-Compte *et al.*, 2021.

7. MICROPLÁSTICOS

Partículas de tamaño < 5 mm (o < 1 mm, según la nueva definición de ISO), se trata de un problema creciente especialmente por su acumulación en mares y océanos (hasta 4.000 partículas/m³ de MP en aguas marinas superficiales y abisales). Muchos MP se usan en variados productos de cuidado personal, y la fragmentación de plásticos por tiempo de exposición al medio, temperatura o irradiación UV genera nuevos MP.

Su tipología corresponde sobre todo a: tereftalato de polietileno, polietileno de alta y baja densidad, polícloruro de vinilo, polipropileno, policarbonato, poliuretano, poliamidas y poliestireno (Marín Galvín *et al.*, 2019b; Sol Sánchez *et al.*, 2020). Por su parte, bolsas domésticas, prendas de vestir, cepillos dentales, pinturas

y brochas, neumáticos, botellas plásticas y microperlas de cosméticos suelen ser fuentes de su emisión al medio de las que neumáticos y textiles son las mayoritarias. Así mismo, los MP contienen aditivos químicos para mejorar sus prestaciones, que son potenciales absorbentes de contaminantes orgánicos apolares como pesticidas y PCB, comprobados disruptores endocrinos, con capacidad mutagénica y carcinogénica.

Si bien los estudios de presencia de MP a nivel internacional son relativamente numerosos, no ocurre así en nuestro país. En primer lugar, ha de citarse un estudio llevado a cabo en 2016-2017 en la EDAR de Cartagena (Olmos Espinar, 2017) que halló concentraciones de 3,20 MP/L a la entrada de la EDAR, tras desbaste, y de 0,31 MP/L a la salida de la EDAR con una reducción del 90% del contenido inicial. De todas las partículas < 5 mm analizadas en el agua, el 47% fueron MP y el 10% aditivos de MP, de los cuales los estabilizantes de PVC, el dióxido de titanio, EDTA (surfactante), MTM (estabilizador térmico) y el MEWN (industria automovilística) fueron los predominantes. Los análisis se llevaron a cabo mediante espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR), tras clarificación y filtración de las aguas, concluyendo que la cantidad de MP en diferentes zonas de la EDAR osciló entre 15% y 71% del total de fibras presentes en las aguas residuales.

Un segundo estudio llevado a cabo en la EDAR de Alcalá (Madrid) (Cuesta, 2021), con resultados también obtenidos mediante espectroscopía FTIR, identificó polipropileno, poliéster y acrílicos como los MP mayoritarios, lográndose una reducción en la EDAR del 94% sobre contenido original, el cual podría cifrarse en

213 MP/L en agua residual urbana influente.

Por último, otro estudio realizado entre 2018 y 2020 en 4 depuradoras de la Región de Murcia (López Castellanos *et al.*, 2020), usando también FTIR, concluyó que entre el 47% y el 77% de las micropartículas detectadas en las aguas residuales urbanas (< 5 mm) fueron MP, y que las concentraciones en aguas residuales brutas oscilaron entre 12,43 MP/L y 2,85 MP/L. Al mismo tiempo entre el 2% y el 4% de las micropartículas eran aditivos de MP. Además, se identificaron varias familias de polímeros: acrilatos, biopolímeros, PE alta y baja densidad y tereftalato, melamina, metacrilato, nylon, poliéster, polipropileno, poli-isobutileno, polipropileno, poliestireno, poliuretano, polivinilo, goma, teflón y otros sin identificar. Finalmente, los MP retirados en las líneas de depuración se acumulan fundamentalmente en los lodos de depuración generados en las EDAR y en los sistemas terciarios de filtración sobre arena.

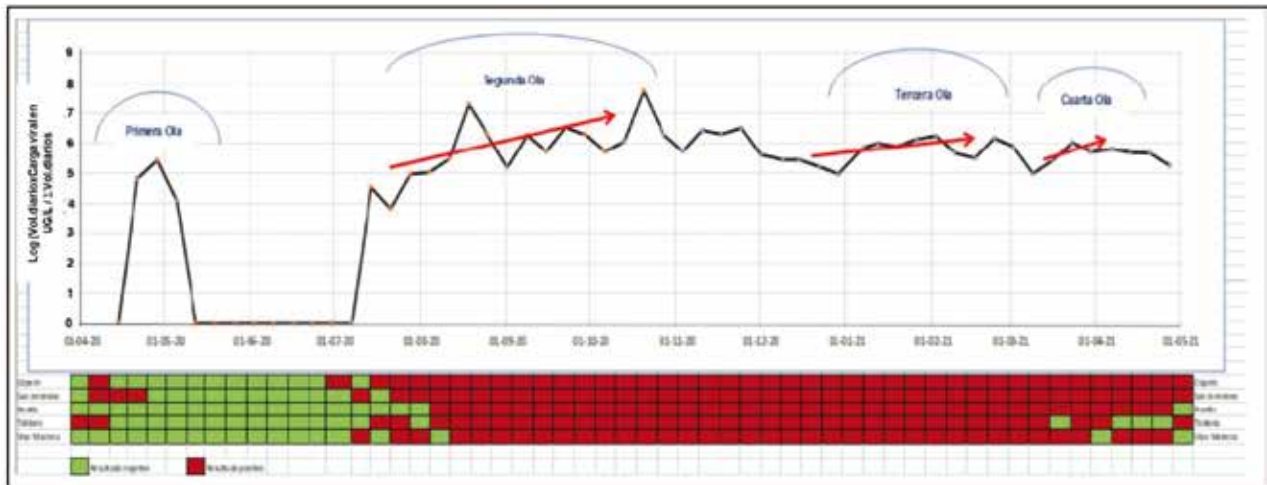
Como conclusión final, los datos reportados sobre ocurrencia de MP en las aguas residuales españolas en los últimos años (2016-2020) no son muy diferentes de los obtenidos en otros países de nuestro entorno.

8. PATÓGENOS EMERGENTES

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) existen 195 patógenos pertenecientes a 96 géneros distintos que pueden calificarse como patógenos emergentes que se distribuyen entre virus, bacterias, protozoos, hongos y helmintos. La mayoría son virus (44%) y bacterias (30%) que pueden encontrarse en las aguas residuales de nuestras poblaciones. En todo caso, los patógenos emergentes tienen una serie de características propias: aparecen ante nuevas



FIGURA 2. Correlación entre contenido genómico en aguas residuales de las EDAR de Emasesa (expresado en log Unidades Genómicas/L) y aparición de olas de pandemia comprobadas (Enasesa, 2021).



condiciones demográficas y ambientales, tienen habilidad para adaptarse a entornos cambiantes, no son necesariamente organismos nuevos y su actividad se potencia debido a su resistencia a los antibióticos y medicamentos. Así, puede hablarse de patógenos emergentes como de organismos o que han aumentado su incidencia o que se han expandido en zonas donde antes no vivían; y de patógenos re-emergentes como de aquellos cuya incidencia está aumentando como resultado de los cambios de su epidemiología y virulencia (Marín Galvín *et al.*, 2019a).

La mayoría de estudios sobre la presencia de patógenos emergentes en aguas residuales de España están enfocados a la seguridad sanitaria ligada al uso de aguas regeneradas para riego agrícola. Aquí se suelen investigar *E. coli*, *Legionella*, *Giardia lamblia*, *Listeria monocytogenes*, nemátodos, colifagos, *Clostridium perfringens* y *Campylobacter* (Esamur, 2021). En todo caso, las aguas residuales urbanas que recogen los desechos microbianos que el ser humano excreta a las mismas, contienen del orden de 10^6 a 10^9 UFC/L de coliformes totales y entre 10^5 a 10^8 UFC/L de coliformes fecales.

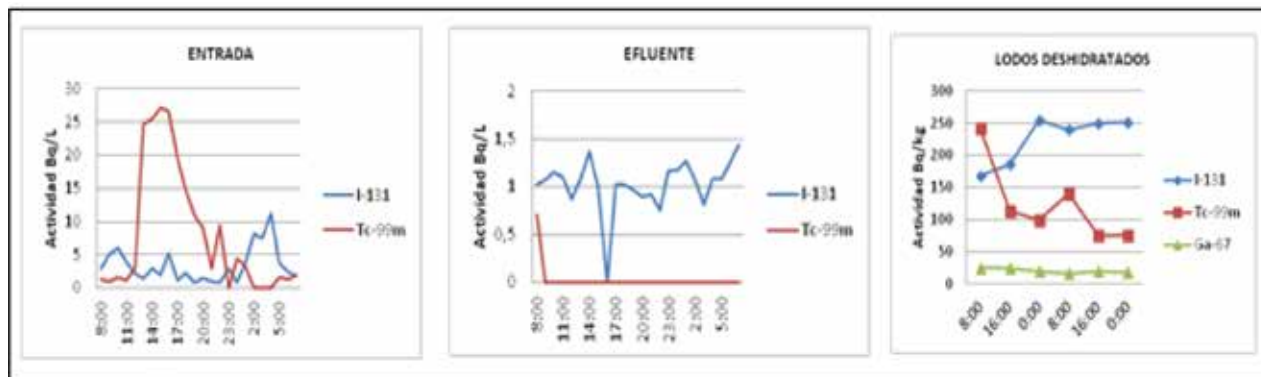
Dicho lo anterior, en un primer estudio de 2019 en una EDAR de Cataluña, se detectó la presencia de *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus* en el influente. Por otro lado, investigaciones más recientes (2021) sobre varias EDAR españolas demuestran la detección de virus de la hepatitis y algunos poliomavirus, así como de *Cryptosporidium* y *Giardia lamblia* (protozoos) en el agua residual bruta. Adicionalmente, otro estudio reciente de una EDAR de Valencia identificó la presencia de amebas de vida libre conteniendo bacterias patógenas en el 87,5% de las aguas residuales tras tratamiento secundario: *Mycobacterium*, *Helicobacter*, *Pseudomonas* y *Salmonella* solían encontrarse en las amebas.

No obstante, el patógeno emergente más estudiado en los últimos dos años sin duda ha sido el SARS-COV-2, agente causante de la pandemia de coronavirus padecida desde 2019 a escala mundial. Tanto es así que su seguimiento en aguas residuales como sistema de alerta temprana de picos de la enfermedad en nuestras poblaciones se ha puesto en marcha desde 2020 en varias EDAR de nuestro país. Además, ha

sido objeto de la Recomendación UE 2021/472 de la Comisión Europea de marzo de 2021 que se enfoca a potenciar este tipo de seguimientos las aguas residuales de los países miembros.

En el caso de España, desde los Ministerios de Transición Ecológica y de Sanidad se puso en marcha la red VATAR COVID-19 en julio de 2020 para realizar el seguimiento sistemático de la presencia de trazas de coronavirus en aguas residuales de 30 EDAR españolas. En este sentido, recientes estudios de la Universidad de Granada (2021) certifican que estos restos no son material biológicamente infectivo para el ser humano. Así mismo, el seguimiento está siendo semanal y trabaja con la secuenciación del material genético no infectivo encontrado en las aguas residuales chequeadas medido mediante PCR. Como ejemplo práctico, en la **Figura 2** se observa la correlación entre contenido viral (expresada en UG/L -unidades genómicas-, cifra que pueden alcanzar hasta 10^9 unidades/L o superior) de las aguas residuales de las EDAR de Emasesa y la ocurrencia de olas de pandemia registradas entre la población.

FIGURA 3. Actividad específica (Bq/L) de radionucleidos en agua de entrada y salida, y en lodos deshidratados.



Como conclusión, el seguimiento sistemático de organismos productores de epidemias a través de su detección en aguas residuales puede ser un mecanismo eficaz para luchar contra las pandemias, potenciando a su vez la utilidad de los controles aplicados en nuestras aguas residuales urbanas.

9. RADIATIVIDAD EN SISTEMAS DE SANEAMIENTO

Como muestra de la situación actual se recurre a la EDAR de Galindo (Sestao, Bizkaia), gestionada por el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia (CABB), que trata las aguas residuales urbanas del Gran Bilbao y aledaños (28 municipios con una población del orden de 900.000 habitantes y una población de 1,3 millones de he) que, además, recibe los vertidos de 4 centros hospitalarios con medicina nuclear. Estos realizan vertidos radiactivos a la red de saneamiento, procedentes de las excretas de los pacientes sometidos a terapias o diagnósticos de medicina nuclear.

En prácticas de diagnóstico se emplean emisores gamma con periodos de semidesintegración relativamente cortos, como el ^{99m}Tc . Además, en terapia se administran radionucleidos de periodos de semidesintegración más altos, como es el caso del

^{131}I . Estas prácticas se realizan siguiendo protocolos recogidos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica publicados en 2014.

El material radiactivo suministrado a los pacientes, el radiofármaco, se elimina por vía de la orina mientras que en el caso de los radionucleidos empleados en diagnóstico y terapia ambulatoria, se realizan descargas directas de las excretas a la red de saneamiento. En el caso de que el paciente tenga una alta actividad retenida en su organismo, tal y como lo establecen las medidas de protección radiológica, se procede a la hospitalización con aislamiento y recogida de excretas.

Con el objetivo de controlar el vertido radiactivo, en países como Alemania, Francia y España se emplean sistemas de retención o decaimiento. De este modo, las excretas radiactivas se recogen en tanques aislados y decaen. Cuando la actividad de las excretas almacenadas está por debajo del límite de concentración de actividad, se realiza la descarga a la red de saneamiento.

En el caso de la EDAR de Galindo (Sestao, Bizkaia), para monitorizar los niveles de radiactividad en influente, efluente y lodos de la EDAR de Galindo, el CABB en colaboración con la Escuela de Ingeniería de Bilbao (Universidad del País Vasco)

realizó un estudio en 2019 (Tellaetxe *et al.*, 2021). Se recogieron muestras los días 12, 13 y 14 de febrero de 2019 y mediante espectrometría gamma, se determinaron las concentraciones de los cinco radionucleidos más utilizados en medicina nuclear, ^{131}I , ^{123}I , ^{99m}Tc , ^{67}Ga y ^{111}In . Los principales resultados se muestran en la **Figura 3**. En el caso del agua de entrada, se detectó ^{131}I y ^{99m}Tc , con valores que oscilan entre 0,87 Bq/L y 11,19 Bq/L para el ^{131}I y entre 0 Bq/L y 27,19 Bq/L para el ^{99m}Tc . En ambos casos, las concentraciones están muy alejadas de las limitaciones que se reflejan en la **Tabla 10** establecidas en 75 Bq/L y $7,5 \times 10^4$ Bq/L respectivamente.

En los lodos se detectó ^{131}I , ^{99m}Tc y ^{67}Ga , con actividades entre 177,4 Bq/kg y 251,5 Bq/kg, 75,77 Bq/kg y 177,2 Bq/kg y 18,49 Bq/kg y 24,92 Bq/kg, respectivamente. Al igual que en el agua, las concentraciones están muy por debajo de las limitaciones de la **Tabla 10**.

En conclusión, los resultados de los estudios de radiactividad en la EDAR de Galindo mostraron la presencia de ^{99m}Tc y ^{131}I en aguas residuales y ^{99m}Tc , ^{131}I y ^{67}Ga en los lodos de depuración, aunque a niveles muy alejados de las limitaciones. Estos resultados son extensivos a los del resto de saneamientos estudiados.



TABLA 10

LÍMITE DE VERTIDO PARA LAS INSTALACIONES RADIACTIVAS.

Radionucléido	Límite de Vertido (Bq/L)	Límite en base seca (Bq/kg)
¹³¹ I	7,5 x 10 ¹	1,0 x 10 ⁵
¹²³ I	7,9 x 10 ³	1,0 x 10 ⁵
¹¹¹ In	5,7 x 10 ³	1,0 x 10 ⁵
^{99m} Tc	7,5 x 10 ⁴	1,0 x 10 ⁴
⁶⁷ Ga	2,5 x 10 ⁴	1,0 x 10 ⁵

10. DROGAS

El Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia colabora desde 2018 con la Red Española de Análisis de Aguas Residuales con Fines Epidemiológicos (ESAR-Net, www.esarnet.es), al igual que otras plantas de tratamiento de aguas residuales de ciudades como: Barcelona, Castellón, Madrid, Valencia, o Galicia. ESAR-Net es una red de 14 grupos de investigación españoles con el fin de contribuir al avance científico en el campo de la epidemiología de las aguas residuales en España, y difundir el potencial de esta herramienta a las autoridades y entidades potencialmente interesadas y a la sociedad en general. Esta red realizó en 2018 una campaña de muestreo en varias EDAR españolas que duró una semana y consistió en recoger muestras compuestas diarias de 24 h en el influente de las plantas, con el objetivo de realizar una estimación del consumo de drogas ilícitas, mediante análisis de aquellas en las aguas residuales (Bijlsma *et al.*, 2021). Actualmente ESAR-Net sigue trabajando en este campo gracias a la financiación del Plan Nacional Sobre Drogas.

Antes de la publicación de los resultados, el CABB decidió realizar en 2019 una campaña similar de muestreo y análisis de drogas ilícitas en el influente y complementen-

tarlo con análisis del efluente del tratamiento biológico de la EDAR de Galindo, con el objetivo de ver el rendimiento de eliminación. Las muestras compuestas del efluente se tomaron también sobre muestras compuestas de un día, pero con un retraso de 24 h, para tener en cuenta el tiempo de retención del agua en la EDAR. En la **Tabla 11** se muestran los resultados del influente y efluente respectivamente (CABB, 2020).

Comparando los resultados de la tabla se concluye que la EDAR tiene muy buenos rendimientos de eliminación (próximos al 100%) para: anfetamina, benzoilecgonina (metabolito de la cocaína), cocaína y carboxi-THC. En el caso del MDMA (éxtasis), donde los valores del influente y el efluente son muy bajos (pocos ng/L), el rendimiento de eliminación es muy variable, pero rondaría el 60% usando el promedio semanal. Estos datos no son muy distintos de los del resto de España.

11. CONCLUSIONES

Las aguas residuales reflejan nuestra sociedad. Así, el uso acaso desmedido de productos que contienen o generan CPE es una característica actual de las mismas, lo que dificulta su control analítico justificando sin duda la necesidad de su eliminación en origen.

Así, los datos del E-PRTR de 2020 indican que los metales pesados más frecuentes en los saneamientos son Zn, Cu y Ni, así como que los metales son mayoritariamente emitidos a los saneamientos (42% sobre total), mientras los compuestos orgánicos a los medios marinos (42% sobre total).

En cuanto a compuestos orgánicos, los más relevantes son los disolventes, divididos entre BTEX y AOX. Sus niveles no suelen pasar de pocos mg/L, en ambos casos.

Por otra parte, los fitosanitarios acceden a las aguas residuales vía limpieza de equipos de aplicación y depósitos de almacenamiento de los establecimientos que los emplean, presentando alta persistencia y niveles máximos preocupantes y, si bien el efecto dilución en redes de saneamiento es muy importante, podrían generar un significativo impacto sobre los procesos biológicos de las depuradoras.

Con respecto a antimicrobianos, fármacos y hormonas, sulfametoxazol es el mayoritario en saneamientos y azitromicina en lodos de depuración y la ciprofloxacina presenta los niveles más altos en aguas y lodos. Además, el antimicótico fluconazol (tratamiento de candidiasis) ha sido el más detectado en aguas residuales. También cabe citar la ocurrencia de diclofenaco (0,4 mg/L) y venlafaxina (antidepresivo). Finalmente, las hormonas naturales suelen estar presentes en las aguas residuales, pero en bajas concentraciones (17-β-Estradiol) y estrona.

Como patógenos emergentes citemos al SARS-COV-2, el seguimiento de cuyas trazas no infectivas en aguas residuales se intenta aprovechar como sistema de alerta temprana de la incidencia de la pandemia asociada, abriendo la

TABLA 11

RESULTADOS ANALÍTICOS (NG/L) DE DROGAS ILÍCITAS EN LA EDAR DE GALINDO.

Influente de la EDAR de Galindo							
Fecha	Día semana	Anfetamina	Metanfetamina	MDMA (éxtasis)	Benzoilecgonina	Cocaína	Carboxi-THC
11-jun-19	Martes	423	<LOQ	23	561	371	130
12-jun-19	Miércoles	604	<LOQ	20	694	250	114
13-jun-19	Jueves	1.293	<LOQ	40	3.918	653	221
14-jun-19	Viernes	1.521	<LOQ	43	3.620	950	172
15-jun-19	Sábado	1.962	<LOQ	76	5.760	666	250
16-jun-19	Domingo	3.624	<LOQ	302	6.375	2.467	191
17-jun-19	Lunes	2.699	<LOQ	169	6.293	1.219	218
Efluente de la EDAR de Galindo							
Fecha	Día semana	Anfetamina	Metanfetamina	MDMA (éxtasis)	Benzoilecgonina	Cocaína	Carboxi-THC
12-jun-19	Miércoles	<LOQ	<LOQ	59	16	5	<LOQ
13-jun-19	Jueves	<LOQ	<LOQ	35	5	3	<LOQ
14-jun-19	Viernes	<LOQ	<LOQ	31	4	3	<LOQ
15-jun-19	Sábado	<LOQ	<LOQ	28	6	3	<LOQ
16-jun-19	Domingo	<LOQ	<LOQ	59	9	4	<LOQ
17-jun-19	Lunes	<LOQ	<LOQ	99	7	<LOQ	<LOQ
18-jun-19	Martes	<LOQ	<LOQ	95	5	3	<LOQ

puerta a otros seguimientos similares. Por su parte, los MP con niveles entre 3 y 213 MP/L son eliminados en las EDAR convencionales en más del 90%.

Por último, se detectan bajos niveles de ^{99m}Tc y ^{131}I en aguas residuales y ^{99m}Tc , ^{131}I y ^{67}Ga en los lodos de depuración, mientras que la presencia de amfetamina, éxtasis, benzoilecgonina y cocaína y metabolitos (< 1 mg/L) en aguas residuales puede ser reducida casi totalmente en las EDAR convencionales.

Bibliografía

[1] Bijlsma, L.; Picó, Y.; Andreu, V.; Celma, A.; Estévez-Danta, A.; González-Mariño, I.; Hernández, F.; López de Alda, M.; López-García, E.; Marcé, R.M.; Miró, M.; Montes, R.; Pérez de San Román-Landa, U.; Pitarch, E.; Pocurull, E.; Postigo, C.; Prieto, A.; Rico, A.; Rodil, R.; Valcárcel, Y.; Ventura, M.; Benito Quintana, J. (2021). *Science of the Total Environment*, 772, y referencias citadas allí.

[2] Caviedes Rubio, D.I.; Muñoz Calderón, R.A.; Perdomo Gualtero, A.; Rodríguez Acosta, D.;

Sandoval Rojas I.J. (2015). *Revista Ingeniería y Región*, núm. 13(1), págs. 73-90.

[3] Consorcio Aguas Bilbao-Bizkaia (2020). *Libro Resúmenes de los TFM Aula del Agua 'CABB' 2019/2020*.

[4] Doval Aguirre, M.A.; Rasero del Real, P.; González Carballo, J.A. (2021). *Tecnoaqua*, núm. 47, págs. 74-80.

[5] Edo Cuesta, C. (2021). *¡Agua Magazine*, núm. 34.

[6] Gallardo-Altamirano, M.J.; et al. (2021) *Sci. Total Environ.*, núm. 789, págs. 147-869.

[7] Gómez-Canela, C., et al. (2021). *Chemosensors*, núm. 9(10), pág. 273.

[8] Lahora, A.; Llorca, J. (2017). *Tecnoaqua*, núm. 24, págs. 40-47.

[9] López-Castellanos, J.; Olmos Espinar, S.; Bayo Bernal, J. (2020). *Tecnoaqua*, núm. 45, págs. 60-70 y referencias citadas allí.

[10] López-Herguedas, N., et al. (2021). *Sci. Total Environ.*, pág. 151.262.

[11] Marín Galvín, R. (2016). *Reterna*, núm. 69, págs. 68-74.

[12] Marín Galvín, R. (2017). *Tecnoaqua*, núm. 24, págs. 66-77.

[13] Marín Galvín, R. et al. (2019a). *Actas del XXXV Congreso de AEAS, Valencia*, págs. 156-166.

[14] Marín Galvín, R. et al. (2019b). *Actas del XXXV Congreso de AEAS, Valencia*, págs. 513-520.

[15] Marín Galvín, R. (2021). *Tecnoaqua*, núm. 49, págs. 88-99.

[16] Marín Galvín, R.; Pérez de Siles, L.A. (2019). *Ingeniería Municipal*, julio, págs. 48-51.

[17] Marín Galvín, R.; Ripollés Pascual, F.; Santateresa Forcada, E.; Lahora Cano, A.; González Canal, I.; Mantecón Pascual, R.; Rodríguez Amaro, R. (2009). *Tecnología del Agua*, núm. 313, págs. 40-54.

[18] Martínez-Alcalá, I.; Lahora, A. (2022). *Tecnoaqua* (en prensa).

[19] Martínez-Alcalá, I. et al., (2017). *Tecnoaqua*, núm. 23, págs. 58-63.

[20] Moles, S., et al. (2020). *Water*, núm.12(5), págs. 1.453.

[21] Olmos Espinar, S. (2017). *Tesis de Fin de Máster, Universidad Politécnica de Cartagena*.

[22] Ordenanza municipal reguladora de vertidos líquidos residuales. Castellón. BOP, nº 9, de 21-1-1995.

[23] Rasero del Real, P. (2021). Sistema de alerta temprana para la detección de material genético de SARS-COV-2 en la red de saneamiento de Emasesa. Informe suministrado por Emasesa a los autores.

[24] Reglamento Metropolitano de vertidos de aguas residuales. Barcelona. BOP, nº 142, de 14-6-2004.

[25] Serra-Compte, A., et al. (2021). *Environ. Pollut.*

[26] Sol Sánchez, D.; Laca Pérez, A.; Díaz Fernández, M.; Simón Andreu, P.; Abellán Soler, M.; Pérez Sánchez, P.; Rancoño Pérez, A. (2020). *Tecnoaqua*, núm. 41, págs. 50-56 y referencias citadas allí.

[27] Tellaetxe, S.; González, I.; Legarda, F. (2021). www.aguasresiduales.info (11/5).