

## Microcontaminantes y compuestos de preocupación emergente: La importancia de lo pequeño

Rafael Marín Galvín.

Resumen de la conferencia impartida el día de San Alberto Magno en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Córdoba [www.colegiodequimicos.org](http://www.colegiodequimicos.org) (Ver Publicaciones, Revistas)

### 1. INTRODUCCIÓN

**Los contaminantes emergentes o contaminantes de preocupación emergente (CPE)** son en muchos casos contaminantes previamente desconocidos y, por ello, no regulados pero que pueden ser candidatos a serlo en el futuro, dependiendo de la investigación de sus potenciales efectos sobre la salud y/o sobre el medio ambiente. Su característica fundamental es que no es necesario que persistan en el medio para causar efectos negativos ya que su eliminación o transformación puede ser compensada por su continua introducción en el mismo dada su elevada producción y consumo habituales.

Con respecto a los CPE existentes en las aguas, todos ellos comparten características comunes como son: (i) manifestarse al poder contar con nuevos y más sensibles equipos y métodos de análisis; (ii) especialmente a partir de hace 15-20 años se potencia su investigación; (iii) cada vez están más regulados tanto en aguas de consumo como residuales; (iv) tienen una elevada producción y consumo, siendo introducidos continuamente en el medio ambiente; (v) se usan tanto a escala industrial como doméstica; (vi) pueden ser bien compuestos químicos o bien microorganismos; (vii) no necesitan ser persistentes para ocasionar efectos nocivos; (viii) finalmente, presentan una amplia dispersión desde su lugar de origen. Recuérdese al efecto el vertido de aguas residuales en 1986 que procedente de la fábrica de Sandoz en Alemania llegó al Mar Negro a través del río Danubio 3.000 km después.

Haciendo un poco de historia, a principios del siglo XX ya aparecen los primeros síntomas de este tipo de contaminantes y es desde 1960 cuando salen a

la luz las primeras evidencias científicas y a su vez las primeras publicaciones: Silent Spring de Raquel Carson<sup>TM</sup> (efectos del DDT sobre especies de animales). La evolución en los últimos sesenta años de la preocupación por los diferentes compuestos emergentes se resume en la Figura 1.



Figura 1. Evolución histórica de la preocupación por compuestos de preocupación emergente desde el último tercio del siglo pasado.

Tabla de compuestos alternativos	Productos farmacéuticos
Antibióticos	Entrenadores, ergonómicos, diuréticos, colestílicos, paracetamol, aspirina, salicilato, salicilato
Analgésicos	
Drogas legales	Cocaína, café, etc.
Productos naturales	Edulcorantes y azúcares
Productos químicos	Productos químicos sintéticos, pesticidas, herbicidas
Productos sintéticos	N,N-dimetilformamida
Insecticidas	Clorpirifos
Anticancerígenos	Docetaxel, Docetaxina
Disruptores endocrinos	Alfentanilo
Subproductos de la desinfección	Trihalometanos
Subproductos de transformación	PFAS, ácidos halocarbónicos

Tabla 1: Algunos CPE típicos y productos habituales en donde se encuentran.

Por otro lado, la tipología de los CPE es muy variada encontrándose en muchos productos de uso habitual en nuestra sociedad, como se puede comprobar en la Tabla 1. Así, si nos fijamos en los CPE de empleo cotidiano podemos adscribirlos a varios grupos genéricos: compuestos inorgánicos, metales

pesados, plaguicidas y fitosanitarios, disolventes orgánicos y afines, fármacos, drogas, disruptores endocrinos, subproductos de tratamiento de aguas y patógenos emergentes. A este grupo de compuestos y microorganismos potencialmente presentes en las aguas y con potencial afección al medio ambiente y al propio ser humano es a los que hemos englobado bajo el calificativo de «la importancia de lo pequeño».

### 2. ASPECTOS NORMATIVOS DE LOS CPE EN AGUAS

Microcontaminantes, CPE y patógenos emergentes se encuentran regulados en varios ámbitos acuáticos: aguas naturales, aguas residuales depuradas (un contribuyente mayoritario a estos medios) y aguas de consumo.

Tabla de compuestos alternativos	Productos farmacéuticos
Antibióticos	Entrenadores, ergonómicos, diuréticos, colestílicos, paracetamol, aspirina, salicilato, salicilato
Analgésicos	
Drogas legales	Cocaína, café, etc.
Productos naturales	Edulcorantes y azúcares
Productos químicos	Productos químicos sintéticos, pesticidas, herbicidas
Productos sintéticos	N,N-dimetilformamida
Insecticidas	Clorpirifos
Anticancerígenos	Docetaxel, Docetaxina
Disruptores endocrinos	Alfentanilo
Subproductos de la desinfección	Trihalometanos
Subproductos de transformación	PFAS, ácidos halocarbónicos

Tabla 2: CPE regulados en las normas de calidad ambiental (RD 817/2015).

En el primer apartado, es decir las aguas naturales, la normativa aplicable es actualmente el RD 817/2015 sobre Normas de Calidad Ambiental, que a su vez traslada al cuerpo legislativo español la correspondiente Directiva Europea 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. En la Tabla 2 se recogen to-

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 refractario
	Cobalto	Tratamientos de agua, instalaciones eléctricas, industria automotriz, Maquinaria, Cerámica, Algodón, Textiles (colorantes)	
	Cromo	Fabricación de acero, Colorantes y pigmentos, preservación de maderas, Síntesis de amoníaco, Fabricación de materiales refractarios y cerámicos, e hilos de algodón, magnéticos, Análisis de aguas (DQO)	
	Mercurio	Termómetros, Lámparas, Catalizadores, Alambres, Amalgamas, 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 electrónica, Pigmentos, Aleaciones, Soldaduras, Marcadores de ácido sulfúrico, Aditivos en gasolinas, Munición, Plásticos, Plásticos	
COMPUUESTOS ORGANOMETÁLICOS	Butilestaños	Baterías, Industria de la automoción, Joyería, Plásticos, Industrias	
	Compuestos de cobre	Anti-insectos en embalses, Mosquitos y aversivos de PVC, Galinas, Intercambios de calor, Emulsiones de pinturas (PVC), Algodón, Maderas 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 isoproturón. 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 Y FITOSANITARIOS	Endosulfán	Insecticida, acaricida	Autorizado en España y en el resto de Europa
	Heptacloro	Insecticida	No autorizado en el resto de Europa
	Permetrina	Fungicida, acaricida y insecticida	No autorizado en el resto de Europa
	Simazina	Activo en gases inertes	Substancia de notificación de interés urbano
	Endosulfán-2	Activo en tratamientos de maderas	Presencia del paracetamol
	Endosulfán-1	Insecticida, acaricida	No autorizado en el resto de Europa
	Clorpirifós	Fungicida	Substancia de notificación de interés urbano
	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
OTROS COMPUUESTOS ORGANOMETÁLICOS	Butilestaños	Baterías	Autorizado en España y en el resto de Europa
	Aluminio	Insecticida	
	Estadío	Insecticida	
	Diurón	Insecticida	
OTROS COMPUUESTOS ORGANOMETÁLICOS	Isoproturón	Insecticida	Autorizado en el resto de Europa
	Clorfenvinfos	Insecticida	No autorizado en el resto de Europa
OTROS COMPUUESTOS ORGANOMETÁLICOS	Clorpirifós	Insecticida	Autorizado en España y en el resto de Europa
	Simazina	Insecticida	Autorizado en España y en el resto de Europa

Tabla 5. Plaguicidas y fitosanitarios: aplicaciones y usos.

### 3.3. Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Suelen ser sustancias muy volátiles y algunas de ellas presentan incidencia en la capa de ozono (CCL<sub>4</sub>). Asimismo, están muy ligados al consumo doméstico al entrar en preparados de disolventes, pegamentos y colas, detergentes, refrigerantes, desengrasantes y otros productos de amplio uso en los hogares (Tabla 6).

Compuesto	Aplicaciones y usos	Uso
Benceno	Disolvente que se usaba en industria. Residuos de otros compuestos.	
Oxibenceno	En perfumes, jabones, ceras y plásticos. Fabricación de derivados, aceites, ceras, plásticos y resinas.	
Isobutanol	Fabricación de derivados, aceites, ceras, plásticos y resinas. Solventes para pinturas y adhesivos.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Etanol	Disolvente para pinturas y resinas. Solventes químicos. Fabricación de detergentes.	Muchísimo soluble en agua.
Hexano	Disolvente. Fabricación de plásticos y otros plásticos. Repetidores y ceras.	
Octano	Residuos de otros compuestos. Fabricación de derivados, aceites, ceras, plásticos y resinas. Disolvente para pinturas y adhesivos.	Soluble en la mayoría de los líquidos orgánicos.
1,2-Dicloroetano	Fabricación de PVC. Disolvente para pinturas y adhesivos.	
Diclorometano	Disolvente. Desengrase de metales. Desengrase industrial de pintura. Fabricación de productos farmacéuticos. Industria de productos químicos. Procesado textil. Procesos de saneamiento industrial.	
Sesquiterpenos y derivados	Repelente de plagas. Repelente de plagas. Repelente de plagas.	Sus productos de degradación elevan el olor de cocina.
Alcinos y derivados	Disolvente y derivados. Fabricación de plásticos y otros plásticos.	
Hexafluoroacetona	Fabricación de materiales de caucho. Disolvente para pinturas y adhesivos. Cera. Solvente para plásticos y resinas.	

Tabla 6: Diversos compuestos orgánicos volátiles: aplicaciones y usos.

De todos los compuestos investigados, CHCl<sub>3</sub> y diclorometano fueron los mayoritarios en aguas urbanas españolas superando 1 µg/L el primero y 10 µg/L el segundo, en algún caso. Por su parte, dicloroetano, naftaleno, etilbenceno, CCL<sub>4</sub>, hexaclorobutadieno, y los tres triclorobencenos isómeros no aparecieron en niveles cuantificables de forma habitual. Finalmente, benceno, tetracloroetileno y tolueno superaron 0,100 µg/L, mientras xilenos, tolueno y tricloroetileno superaban 0,500 µg/L en aguas residuales urbanas.

### 3.4. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Los HAP se detectaron en todas las aguas residuales españolas (Tabla 7, amarillo). Asociados a procesos de combustión, su presencia en aguas residuales urbanas se debe en gran medida a las emisiones del tráfico, o por la combustión de fuel o gasóleos en calderas. En todo caso, los niveles medios de estas sustancias suelen ser muy bajos, no su-

perando el total de HAP los 0,010 µg/L. Por especies concretas, de los HAP clásicos, indeno-pireno, benzo(k)fluoranteno y benzo-pireno podían alcanzar los 0,005 µg/L mientras el resto apenas pasaban de 0,001 µg/L o no eran detectables. Con respecto a naftaleno y antraceno, cuando eran detectables no solían superar los 0,005 µg/L en ningún saneamiento.

### 3.5. Alquifenoles y otros compuestos orgánicos

La presencia de alquifenoles en aguas residuales urbanas se debe principalmente a la degradación de otros compuestos, como los polietoxilatos de alquifenoles, utilizados en detergentes, así como a su presencia en productos retardantes de llama, plastificantes de amplia difusión e incluso en algunos productos cosméticos (Tabla 7, azul). En concreto, nonilfenoles así como octilfenoles suelen responder a mezclas de varios isómeros. El contenido medio del total de nonilfenoles en saneamientos españoles suele superar 3 µg/L mientras que el total de octilfenoles se sitúa en 0,3 µg/L.

Compuesto	Aplicaciones y usos	Uso
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.
Alquifenoles	Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama. Retardantes de llama.	Existe en petróleo. Muy poco soluble en agua.

Tabla 7: Hidrocarburos aromáticos policíclicos, alquifenoles y otros compuestos orgánicos: aplicaciones y usos.

Con respecto a los compuestos orgánicos recogidos en la Tabla 7, gris, no suelen detectarse en los saneamientos nacionales, a excepción del di(2-etilhexil) ftalato que puede superar a veces los 5 µg/L lo que está justificado por su amplia utilización en tuberías de PVC y diversos artículos como cosméticos, ropa y juguetes, especialmente.

### 3.6. Sustancias farmacéuticas y medicamentos

En la Tabla 8 se recogen las prin-

CLASE	Genéricos/marcas
Antiflogísticos	Aspirina, ibuprofeno, paracetamol, diclofenaco, dexibuprofeno
Antibióticos	Amoxicilina, sulfametoxazol
Antidiabéticos	Metformina, Troglitazone
Antiepilepticos	Carbamazepina, Valproato
Beta-bloqueantes	Atenolol, Metoprolol
Antihistamínicos	Ranitidina, cimetidina, prometazina, desloratadina
Antagonistas del calcio	Diltiazem, verapamil
Psicotrpicos	Bupropión, Setralina
Relajantes musculares	Carisprodo, ciclobenzaprima
Diuréticos	Furosemida, Hidroclorotiazida
Descongestionantes	Pseudoefedrina

Tabla 8: Aproximación a tipos de productos farmacéuticos y principios activos.

cipales clases de fármacos disponibles en el mercado cuyo empleo deriva en su aparición en aguas residuales y naturales. Así, en España se consumen entre 2 y 6 ppb de ibuprofeno por hab/día (más de 46 millones de recetas/año) habiéndose emitido en 2016 más de 900 millones de recetas para medicamentos. Esto significa que somos el país de la UE con un acceso más fácil a los medicamentos y fármacos, lo que debe alertarnos hacia un uso más racional de los medicamentos y afines. Además, del orden del 48% de los antibióticos usados en España lo son en usos veterinarios, mientras que entre Francia, Italia, España y Alemania se consumen 600 T/año de antibióticos y en Alemania y Reino Unido entre 200 y 300 T de ibuprofeno y aspirina (de cada producto) al año.

Por otro lado, se han detectado trazas de ibuprofeno en ríos de Galicia, antibióticos y esteroides en ríos de Cataluña y ansiolíticos en la cuenca del Tajo. A escala mundial, los fármacos más empleados son analgésicos, antihipertensivos y antibióticos. En cuanto a los analgésicos se ha datado la presencia de trazas de diclofenaco, naproxeno, ibuprofeno y acetaminofén en aguas residuales hospitalarias. Con respecto al grupo de calcio-antagonistas y los β-bloqueantes (atenolol, metoprolol y propranolol) se han medido en niveles de 0,017 µg/L en aguas residuales urbanas. Finalmente, antibióticos, tetraciclinas, aminoglicósidos, macrólidos, betalactámicos y vancomicina han sido detectados en niveles inferiores a décimas de µg/L en algunas aguas residuales.

Por otro lado, la presencia de fármacos en las aguas residuales urbanas podría provocar su acumulación en los

lodos de depuración de las EDAR biológicas restringiendo su uso agrícola: como ejemplo, algunos datos bibliográficos informan de niveles de 1,4-3,1 mg/kg m.s. de ciprofloxacina, de 86-118 mg/kg m.s. de tetraciclina y de 0,031 mg/kg m.s. de sulfametoxazol.

### 3.7. Drogas ilegales o de abuso

**Desde 2005 algunos estudios revelan la presencia** de pequeños niveles de diversas drogas ilícitas en aguas superficiales de ríos en Italia, España, Alemania, Reino Unido, EEUU, Austria y Bélgica entre otros. Según la OMS las más utilizadas actualmente pueden ser: Marihuana, cannabis, cocaína, inhalantes (pegamentos), heroína, crack, estimulantes (ritalina), polvo de ángel (fenciclidina), depresores... Así, las cinco ciudades europeas con un más alto nivel de cannabis en sus aguas residuales son, en mg/L cada 1.000 personas/día (2016): Amsterdam, 469; Barcelona, 166; Amberes, 126; París, 121 y Londres, 117.

**Según estudios llevados a cabo** a escala mundial sobre las drogas más comunes, como anfetamina, cocaína y sus metabolitos, metanfetamina, heroína y morfina, (ver Figura 2) los niveles detectados se encuentran en el rango de ng/L, con incidencia ambiental mínima. Además, y relacionado con otras «drogas sociales» como café, té y tabaco, se han detectado trazas de edulcorantes (sacarina, ciclamato y sucralosa) en aguas urbanas, así como de ng/L de cafeína, nicotina y teobromina, teofilina y paraxantina (tés) en Canarias y Cataluña.

### 3.8. Disruptores endocrinos

**Como introducción,** la UE ha elaborado una lista de 680 sustancias que se conoce o sospecha que puedan ser DE. Además, tanto la UE y EEUU han puesto en marcha un programa para evaluar unas 100.000 sustancias comercializadas en Europa. Dicho esto, existen dos grandes grupos de DE: naturales y artificiales. Los naturales son las hormonas esteroideas, bien masculinas o femeninas. Las masculinas se denominan andrógenos, y comprenden testosterona, aldosterona, cortisol y dehidroepiandrosterona. Entre las femeninas o estrógenos están estradiol, 17-diona, 17-β-estradiol, progesterona y estriol. En cuanto a hormonas esteroideas artificiales podemos citar 17-β-etinilestradiol y 4-androsteno-3

SUSTANCIAS QUÍMICAS	SECTORES DE PROCEDENCIA
Plaguicidas y herbicidas	Química, agricultura, Silvicultura
Sales y colorantes	Derivados de agricultura
Alérgenos	Química, plásticos, coloración y más
Colorantes / tintas	Química, papel, textiles y más
Colorantes, tintas, pigmentos, etc.	Química, textil, textil y más
Colorantes, tintas, pigmentos, etc.	Química y plásticos
Trazas (MP, POP, etc.)	Plásticos, metales, aceites, productos y más
MP (microplásticos de origen)	Plásticos y derivados
MP (microplásticos de origen)	Coloración y coloración
MP (microplásticos de origen)	Plásticos, metales y más
MP (microplásticos de origen)	Alimentación, química
MP (microplásticos de origen)	Química y textil
MP (microplásticos de origen)	Coloración

**Tabla 9: Sustancias químicas disruptores endocrinos y actividades de procedencia.**

(femeninos), y oxandrolona y nandrolona (masculinos).

**En realidad, hay una amplia** variedad de sustancias, de diferente tipología química, que son capaces de actuar como disruptores endocrinos y modificar la función hormonal (ver Tabla 9) donde llegan vía excretas humanas u otros aportes, encontrándose habitualmente en niveles ≤1 ng/L.

### 3.9. Actualización normativa del seguimiento de CPE en aguas naturales europeas

**La Tabla 10 recoge nuevos compuestos** incluidos en los seguimientos aplicables progresivamente desde 2015 en medios acuáticos naturales, dentro de las denominadas «listas de observación». Además, estudios del MITECO de 2019 tanto en aguas depuradas como en aguas de ríos españoles indicaron que los CPE más encontrados fueron: pesticidas neonicotinoides (imidacloprid, acetamiprid, thiacloprid), antibióticos (ciprofloxacina, amoxicilina), antiinflamatorios (eritromicina, azitromicina, claritromicina, diclofenaco) y disruptores endocrinos (estrona, 17-beta-estradiol, y 17-alfa-etinilestradiol).

Actividad	Compuestos	Lista de observación
Antibióticos	Amoxicilina y Clavulánico	2019
	Meropenem, Imipenem, Daptomicina y Daptomicina	2019 y 2019
	Sulfametoxazol y Trimetoprim	2019
Anticancerígenos	Doxetaxol, Paclitaxel, Mitomycin	2019
Esteroides	Dexametasona	2019
	Hydrocortisone y Dexametasona	2019
Hormonas	Estrogenos (17-α-Ethinilestradiol, 17-β-Estradiol (E2) y Estradiol (E1))	2019 y 2019

Actividad	Compuestos	Lista de observación
Anticancerígenos	Imatinib, Ipoxato, Metformina, Paracetamol, Proclonaz, Toluconazol, Tetracizolol, Dexametasona, Aspirina, Fenacetina	2022
Plaguicidas	Diuron, Piridoxil	2022
Productos químicos	Bisfenol-A, Benzofenona, Clorfenol, Benzofenona	2022
Antibiótico	Clindamicina, Ofloxacina, Mefenamina, Quinolona	2022

**Tabla 10: CPE incluidos en las listas de observación de la UE periódicamente.**

### 3.10. Microplásticos en aguas naturales y residuales

**Son restos plásticos** <5 mm de tamaño (<1 mm según nueva definición de

ISO) y se trata de partículas primarias de origen, o secundarias procedentes de la desintegración de elementos plásticos más grandes vía física, UV, térmica, química o microbiana. Se han encontrado tanto en aguas oceánicas libres (Ártico y Antártida) como en profundidades abisales y aguas dulces, flotando en superficie, en suspensión o sedimentados en el fondo en función de su densidad.

**Los MP son usados** en productos de cuidado personal (pasta dentífrica, cremas faciales y exfoliantes), textiles sintéticos, tintas de impresión, sprays, molduras de inyección y abrasivos. Las fuentes más comunes de basuras plásticas son el transporte naval, pesca, acuicultura, plataformas petrolíferas y cruceros (origen marino), y las aguas residuales, agricultura y horticultura y vertederos ilegales (origen terrestre). Una vez en el océano, son ingeridos por organismos marinos filtradores (ostras y mejillones) dificultando su digestión y progresando en la cadena trófica (ballenas, tortugas...). Los MP más frecuentes son polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET), PVC, polipropileno (PP), poliestireno (PS), poliuretano (PU) y policarbonatos (PC). Los MP también contienen aditivos para mejorar sus prestaciones, y pueden absorber contaminantes orgánicos (DDT, PCB, HAP) más o menos tóxicos.

**En cuanto a las aguas residuales,** del orden del 95% se eliminan en las EDAR como lodos de depuración presentándose concentraciones en aguas urbanas entre 2 y 300 fibras de MP/L.

### 3.11. Patógenos emergentes

**Se califican así a aquellos organismos o microorganismos** que no habían aparecido en la población humana anteriormente, que han aumentado su incidencia o que se han expandido en zonas donde no se tenía constancia en los últimos veinte años. Los patógenos reemergentes son aquellos cuya incidencia está aumentando como resultado de los cambios de su epidemiología. Según este criterio la OMS establece 175 agentes infecciosos de 96 géneros como patógenos emergentes (Tabla 11). Debe comentarse el SARS-COV-2 (pandemia de coronavirus de 2020) cuyo seguimiento de trazas no infectivas en aguas residuales fue establecido por la UE (Recomendación

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 cayentanensis 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 18):	
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 (PFH6S)	Ac. perfluoroheptano sulfónico (PFH7S)
Ac. perfluorooctano sulfónico (PFOS)	Ac. perfluorodecano sulfónico (PFDS)
Ac. perfluorododecano sulfónico (PFDDoS)	Ac. perfluorotridecano sulfónico (PFTrDS)
Ac. perfluorohexanoico (PFH6A)	
Ac. perfluoroheptanoico (PFH7A)	
Ac. perfluorodecanoico (PFDA)	
Ac. perfluoropentano sulfónico (PFPS)	
Ac. perfluoroctano sulfónico (PFOS)	
Ac. perfluoroundecanoico sulfónico (PFUnS)	

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

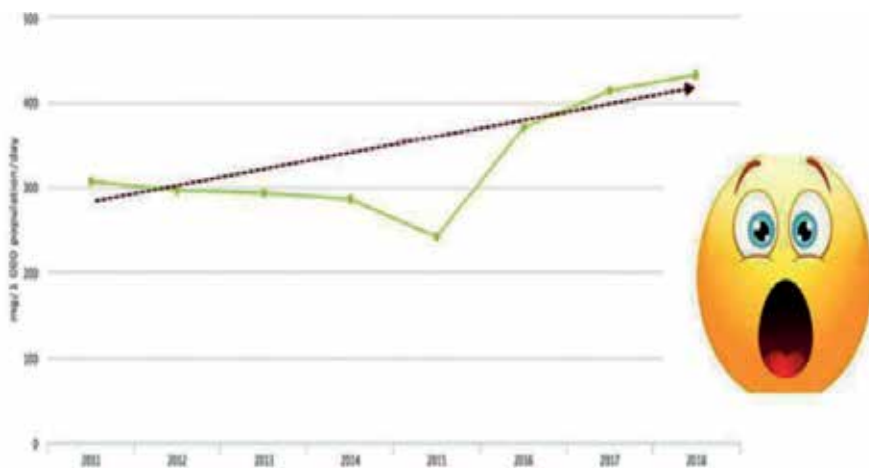
Son muy persistentes en el medio (los químicos eternos) y se bioacumulan en peces, animales y humanos. Pueden provocar en animales, y probablemente humanos, afecciones sobre la reproducción, desarrollo embrionario, hígado, riñón, sistema inmune y tiroides (Tabla 13).

**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<sup>a</sup>. 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<sup>a</sup> 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 focal point of warmer colors.