



# Contaminación emergente:

sustancias prioritarias y preferentes, productos farmacéuticos, drogas de abuso, disruptores endocrinos, microplásticos y patógenos emergentes

La conocida como contaminación emergente, producto sin duda del actual sistema de vida especialmente en los países occidentales, es objeto de cada vez más atención por su potencial incidencia sobre el medio en general y sobre las aguas en particular. Integrada por compuestos o metabolitos y productos de degradación de los primeros existentes en multitud de productos y preparados de uso industrial, pero fundamentalmente doméstico, puede englobarse en varios grupos generales: sustancias prioritarias (y preferentes en España) que se encuentran reguladas en las conocidas normativas sobre Normas de Calidad Ambiental y en el Reglamento E-PRTR; y productos farmacéuticos y medicamentos, drogas de abuso, disruptores endocrinos (en el que entran muchas tipologías de sustancias diversas), microplásticos y patógenos emergentes, los cuales integran un segundo grupo que aún no cuenta con regulación específica en tema de aguas. El actual trabajo se enfoca en plantear una revisión sobre el tema.

### Palabras clave

Sustancias prioritarias, sustancias preferentes, productos farmacéuticos, drogas, disruptores endocrinos, microplásticos, patógenos emergentes.

### EMERGING POLLUTION: PRIORITY AND PREFERENTIAL SUBSTANCES, PHARMACEUTICAL PRODUCTS, ABUSE DRUGS, ENDOCRINE DISORDERS, MICROPLASTICS, EMERGING PATHOGENS

*The named emerging pollution is especially produced by the life style in the occidental countries. So, it is increasingly being addressed because of its potential impact on the environment in general and on water in particular. Emerging pollution is integrated by chemical compounds and degradation products of above ones which are both in a lot of industrial and especially domestic use formulations. On the other hand, emerging pollutants can be included in the following categories: priority and preferential substances, regulated in Spain by means the normative about Quality Environment Rules (natural waters) and by the normative E-PRTR (emissions to environment, applied to treated wastewaters); pharmaceutical products, abuse drugs, endocrine disorders, microplastics and emerging pathogens which are not to date a clear regulation. To revise the state of the art related to this subject is focused this paper.*

### Keywords

*Priority and preferential substances, pharmaceutical products, abuse drugs, endocrine disorders, microplastics, emerging pathogens.*

### Rafael Marín Galvín

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



## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio ambiental, los cambios en el comportamiento y vulnerabilidad de las personas, así como las nuevas tecnologías y avances científicos, ponen de manifiesto el riesgo de aparición de patógenos y contaminantes emergentes en el mundo del agua. Factores como el incremento de la población, su estado de vida y los fenómenos de globalización pueden contribuir a la aparición de nuevos contaminantes y patógenos y, en definitiva, de nuevas enfermedades de transmisión por el agua.

Tal es así que pequeñas cantidades de productos utilizados en la actividad diaria, desde la cafeína y las hormonas hasta los detergentes, antibióticos y productos farmacéuticos, productos de limpieza, aditivos de la gasolina, drogas, así como productos usados en agricultura y ganadería y disolventes en general, son vertidos diariamente sobrepasando muchos de los procesos de depuración. Como anécdota, hay algunos investigadores que proponen a la cafeína como trazador del carácter doméstico de un agua residual, habida cuenta de su amplia presencia en aguas de saneamientos de todo el mundo y especialmente en países occidentales.

Los contaminantes emergentes son, en muchos casos, contaminantes previamente desconocidos y por ello no regulados que pueden ser candidatos a serlo en el futuro, dependiendo de la investigación de sus potenciales efectos sobre la salud y de los datos disponibles que puedan demostrar su existencia. La 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, lo

cual implica una continua introducción en el sistema.

Haciendo un poco de historia, a principios del siglo XIX 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 (efectos del DDT sobre especies de animales). La evolución de la preocupación por los compuestos emergentes se resume en la **Tabla 1**.

La detección de contaminantes emergentes va de la mano de la técnica, puesto que en pocos años, en apenas 50, se ha pasado de poder cuantificar analitos en un agua en cantidades de g/L a hacerlo en  $\mu\text{g/L}$  ( $10^{-6}$  g/L), ng/L ( $10^{-9}$  g/L) o incluso en pg/L ( $10^{-12}$  g/L) con un factor de amplificación de 12 órdenes de magnitud.

Aunque la clasificación de contaminantes emergentes puede ser muy variada, en general se pueden incluir en dos grandes grupos atendiendo a que estén o no contemplados en las dos normativas sectoriales vigentes, el RD de Normas de Calidad

Ambiental (NCA) y el Reglamento de Emisiones de Contaminantes al Medio, o Reglamento E-PRTR:

- Sustancias prioritarias, prioritarias peligrosas, contaminantes incluidos en el E-PRTR y disruptores endocrinos (si bien esta característica es común a muchos compuestos, la mayoría con algún tipo de regulación al efecto.

- Compuestos orgánicos de síntesis, fármacos, drogas, hormonas, metabolitos, patógenos, metales poco frecuentes e inorgánicos, no regulados hasta la fecha.

Como introducción a esta cuestión, y si bien la variedad de emergentes en general es sumamente amplia, en la **Tabla 2** se presenta un breve resumen sobre las diferentes tipologías de este tipo de sustancias así como algunos ejemplos más representativos de cada clase. A destacar la relevancia que van teniendo los subproductos de desinfección de aguas de consumo, puesto que no debe olvidarse que entre el 60% y el 85% de la primera se convierte en agua residual urbana.

**TABLA 1**

### HISTORIOGRAFÍA DE LA PREOCUPACIÓN MUNDIAL SOBRE LA CONTAMINACIÓN EMERGENTE.

Años	Explicación
1970-1980	Metales y compuestos organometálicos, trihalometanos, PHA (hidrocarburos aromáticos policíclicos), plaguicidas (DDT y metabolitos).
1980-1990	Dioxanos, metabolitos de los detergentes, plaguicidas, fitosanitarios.
1990-2000	Fármacos, disruptores endocrinos, polibromo difenil éteres, derivados del ácido perfluorooctanóico (teflón).
2000-2010	Subproductos de la desinfección de aguas (THMs), nuevos fármacos y sus metabolitos, drogas de abuso, productos de higiene personal, cosméticos.
2010-2013	Microplásticos y nuevos medicamentos.
2013-...	Nuevos disruptores endocrinos, nuevos medicamentos y fármacos, nuevos subproductos de desinfección de aguas (ácidos haloacéticos, halonitrilos), patógenos microbianos ligados a fenómenos migratorios.

Para finalizar, el problema de los emergentes es global: como ejemplos la dispersión a través de toda Europa de una sustancia que contamine el curso del río Danubio (**Figura 1**) o el vertido procedente de la fábrica de Sandoz (Alemania, 1986) que accedió desde el Rin al Mar del Norte.

Además, hay que incidir en que la gran mayoría de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) convencionales biológicas pueden tener problemas a la hora de reducir este tipo de compuestos si están presentes en las aguas residuales urbanas, puesto que no están diseñadas para esto ni cuentan de forma generalizada con las tecnologías adecuadas al efecto.

## 2. COMPUESTOS EMERGENTES REGULADOS: USOS E INCIDENCIA EN LOS SANEAMIENTOS

Con respecto a los contaminantes emergentes regulados, se refiere a los recogidos en las conocidas NCA (RD 817/2015 que traslada al ordenamiento nacional la correspondiente Directiva Europea) y al conocido Reglamento E-PRTR, también con origen en la Unión Europea (UE).

Ambas normativas comparten muchos compuestos y la diferencia entre ellas radica en que las NCA se aplican a cauces públicos (no a aguas depuradas en las EDAR, recuérdese, si bien estas tendrán influencia en los primeros) y el segundo sí se aplica directamente a las aguas depuradas. Además, las NCA suelen contemplar a grandes rasgos concentraciones de contaminantes (si bien no en exclusiva) y ser de responsabilidad estatal vía autorizaciones de vertido a vertedores a cauce, a su vez otorgadas y controladas por los organismos de cuenca (aunque para cuencas interiores de una co-

TABLA 2	
ALGUNOS EJEMPLOS DE COMPUESTOS EMERGENTES TÍPICOS.	
Clases de compuestos emergentes	
Productos farmacéuticos, antibióticos y analgésicos	Eritromicina, aspirina, ibuprofeno, diclofenaco y aceclofenaco, diazepam,propranolol, codeína, paracetamol, amoxicilina, hidroclorotiazida
Drogas ilegales	Cocaina, éxtasis, etc.
Hormonas sexuales	
Anticonceptivos	Estrona, estriol, estradiol, dietilbestrol
Productos personales Perfumes Protección solar Insecticidas	Hidrocarburos aromáticos policíclicos Benzofenona N,N-dietil-toluamida Cipermetrina
Antisépticos	Triclosan, clorofeno
Detergentes y metabolitos	Alquilfenoles
Retardantes de llama	Difeniletil éteres polibromados, bisfenol-A, tris(2-cloroetil)fosfato
Aditivos de la gasolina	Metil-t-butil éter
Aditivos y productos industriales	AEDT, sulfonatos aromáticos
Desinfección	Yodo, bromatos
Supproductos desinfección aguas	THM, cloritos-cloratos, ácidos haloacéticos, halo nitrilos, bromoaldehídos, NDMA

munidad autónoma son de competencia autonómica).

Por su parte, el E-PRTR es de ámbito autonómico y se gestiona atendiendo a las cargas contaminantes vertidas por las EDAR: kg/año, es

decir, producto de concentración del contaminante por caudal vertido al año.

En las **Tablas 3, 4, 5 y 6** se resumen, a partir de datos bibliográficos y diversos estudios sobre varias de

**FIGURA 1.** La movilidad transnacional de la contaminación emergente o el enemigo silencioso que no entiende de fronteras.





las sustancias prioritarias reguladas en las NCA y declaraciones de E-PRTR, las aplicaciones domésticas e industriales más frecuentes de dichos compuestos (tejidos, plásticos, maderas, pinturas, estampados, detergentes, etc.). También se recogen algunas observaciones particularizadas de cada una.

## 2.1. METALES PESADOS Y ORGANOESTÁNNICOS

La **Tabla 3** recoge los usos y otras características de metales pesados y compuestos orgánicos de estaño (butilestaños, en general). En relación a metales y organometálicos, suelen ser compuestos solubles en agua y, de ellos, níquel y plomo 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.

De todos los metales reseñados, en los saneamientos españoles el cadmio no suele detectarse habitualmente, mientras que el cobre y el 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, el níquel, el cromo y el plomo se encuentran en niveles de 0,020-0,040 mg/L, mientras que finalmente el mercurio y el arsénico no suelen superar los 0,010 mg/L en las aguas residuales urbanas españolas.

En cuanto a los compuestos organoestánnicos, 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).

Grupo	Sustancias	Aplicaciones	Observaciones
Metales	Arsénico	Preservante de la madera, semiconductores y láseres, industria metalúrgica, pigmento y pirotecnia, fabricación vidrios, plaguicidas (muy en desuso)	
	Cadmio	Baterías, tratamientos de superficie especiales, pigmentos, estabilizadores PVC, aleaciones, componentes electrónicos, soldaduras	Aparece como impureza en fertilizantes del fosfato, detergentes y productos del petróleo refinados
	Cobre	Instalaciones de agua, instalaciones eléctricas industria automoción, monedas, cerámica, algicida, explotaciones porcinas	
	Cromo	Fabricación de aceros, colorantes y pinturas, preservación maderas, síntesis de amoníaco, fabricación materiales refractarios y cerámicos, y láseres, cintas magnéticas, análisis de aguas (DQO)	
	Mercurio	Termómetros, lámparas, catalizadores, aleaciones, amalgamas, explosivos, aplicaciones médicas, interruptores	Puede movilizarse de forma natural desde sus yacimientos
	Níquel	Aleaciones, tratamientos de superficie, pigmentos, baterías, joyería, catalizadores	
	Plomo	Baterías, tuberías, fundente en vidrios, pigmentos, aleaciones, soldaduras, fabricación de ácido sulfúrico, aditivo en gasolinas, munición, pinturas, insecticidas	
	Zinc	Baterías, industria automoción, joyería, pinturas industriales	
Compuestos butilestaño	Compuestos de tributilestaños	Anti-incrustante en embarcaciones, moquetas y pavimentos de PVC, calderas, intercambiadores de calor, estabilizadores de plásticos (PVC), acaricida, bactericida y fungida	

## 2.2. PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS, ORGANOFOSFORADOS Y ORGANONITROGENADOS

Esta información se recoge en la **Tabla 4**. Como introducción, la detección de plaguicidas en saneamientos suele ser habitual, si bien en concentraciones normalmente bajas (< 0,005 mg/L).

No obstante, en saneamientos españoles, las concentraciones más altas de productos plaguicidas suelen corresponder a pentaclorofenol

y beta-HCH ( $\approx$  0,07 µg/L en ambos) midiéndose por encima de 0,015 µg/L simazina, endosulfán-2 y alfa-HCH. También se han detectado en ocasiones concentraciones de atrazina, endosulfán-2, pentaclorofenol, alfa-HCH y delta-HCH por encima de 0,050 µg/L, así como puntas de heptacloro (> 1,00 µg/L), clorpirifós y beta-HCH ( $\approx$  0,070 µg/L) y por encima de 15 µg/L en diurón, endosulfán-1, atrazina, clorfenvinfos, endosulfán-2, alacloro, DDE e isoproturón. Para finalizar, este tipo de

TABLA 4		
USOS DE LOS PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS, ORGANONITROGENADOS Y FOSFORADOS.		
Plaguicidas organoclorados		
Endosulfán	Insecticida, acaricida	Autorizado uso fitosanitario
Hexaclorobenceno	Fungicida, fuegos artificiales y munición, aditivo en goma sintética, aditivo en protectores de madera	No autorizado ni en uso fitosanitario ni en salud pública; subproducto de incineración de basuras urbanas; precursor del pentaclorofenol
Hexaclorociclohexano (lindano)	Insecticida, acaricida	No autorizado ni en uso fitosanitario ni en salud pública; subproducto incineración basuras urbanas
Pentaclorobenceno	Fluido dieléctrico; fungicida; piroretardante	
Pentaclorofenol	Biocida; protección madera	No autorizado ni en uso fitosanitario ni en salud pública
Trifluoralina	Herbicida	Autorizado su uso fitosanitario
Plaguicidas organonitrogenados		
Alacloro	Herbicida	Autorizado su uso fitosanitario
Atrazina	Herbicida	
Simazina	Herbicida	
Diurón	Herbicida	
Isoproturón	Herbicida	
Plaguicidas fosforados		
Clorfenvinfós	Herbicida	No autorizado uso fitosanitario ni salud pública
Clorpirifos	Herbicida	Autorizado uso fitosanitario y salud pública

compuestos son una clara fuente de contaminación difusa al saneamiento (hogares, administraciones...) de muy difícil control en la actualidad.

### 2.3. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)

La **Tabla 5** ofrece información a este respecto. Como pauta de comportamiento general suelen ser muy volátiles y algunos de ellos con incidencia en la capa de ozono (tetracloruro de carbono). Además, están muy ligados al consumo doméstico al entrar en preparados de disolventes, pegamentos y colas y desengrasantes de amplio uso en los hogares.

De todos los compuestos investigados, cloroformo y diclorometano fueron los más detectados en las aguas urbanas españolas, superando 1 µg/L el primero y los 10 µg/L el segundo en algún caso. Por su parte, dicloroetano, naftaleno, etilbenceno, tetracloruro de carbono, hexaclorobutadieno, y los tres triclorobencenos no aparecieron en concentraciones cuantificables de forma habitual. Finalmente, benceno, tetracloroetileno y tolueno superaron los 0,100 µg/L, mientras xilenos, tolueno y tricloroetileno superaban los 0,500 µg/L en aguas residuales urbanas.

### 2.4. HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAP)

Las aplicaciones generales de los HAP se presentan en la **Tabla 6**. En este grupo se han incluido naftaleno y antraceno, que además podrían haberse comentado en el apartado anterior como COV. Dicho esto, los HAP se detectaron en todas las aguas residuales del Estado. 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 superando 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.

### 2.5. ALQUILFENOLES Y OTROS COMPUESTOS ORGÁNICOS

La información relativa a este tipo de compuestos se presenta en la **Tabla 7**. Con respecto a los alquilfenoles, su presencia en aguas residuales urbanas se debe principalmente a la degradación de otros compuestos, como los polietoxilatos de alquilfenol, utilizados en detergentes, así como a su presencia en productos retardantes de la llama, plastificantes de amplia difusión e incluso en algunos productos cosméticos.

En concreto, los nonilfenoles y los octilfenoles suelen responder a mezclas de varios isómeros. El contenido medio del total de nonilfenoles en los saneamientos españoles suele



TABLA 5		
APLICACIONES HABITUALES DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.		
Compuestos orgánicos volátiles (COV)		
Benceno	Disolvente apolar usado en industria; precursor de otros compuestos	
Etilbenceno	En productos naturales, carbón y petróleo; fabricación de tinturas, insecticidas, pinturas y estiereno	
Triclorobencenos	Producción de herbicidas, dieléctricos, PCB, agentes esengrasantes y lubricantes	Existentes en petróleos; muy poco solubles en agua
Tolueno	Antidetonante para combustibles; disolvente para pinturas y lacas; síntesis química (TNT); fabricación detergentes	Moderadamente soluble en agua
Xilenos	Disolventes; fabricación f-talatos y otros plásticos; pegamentos y colas	
Cloroformo	Precursor de otros compuestos; fabricación de colorantes, productos farmacéuticos y pesticidas; disolvente apolar; anestésico	Subproducto de la cloración del agua en presencia de la materia orgánica
1,2-dicloroetano	Fabricación de PVC; disolvente apolar; aditivo en gasolina con plomo	
Diclorometano	Limpieza y desengrase de metales; decapado industrial de pintura; fabricación de productos farmacéuticos; industria de proceso químico; procesado textil; procesos de revestimiento industriales	
Tetracloruro de carbono	Refrigerante y desengrasante; plaguicida y fungicida; pinturas; extinción incendios	Sus productos de degradación atacan la capa de ozono
Tricloro y tetracloroetileno	Disolventes y limpiezas textiles y metálicas; fabricación adhesivos; quitamanchas	
Hexaclorobutadieno	Fabricación de materiales de caucho; disolvente apolar; fabricación de lubricante; como fluido intercambiador de calor; como fluido dieléctrico	

TABLA 6		
USOS GENERALES E INCIDENCIA DE LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS.		
Hidrocarburos aromáticos policíclicos(HPA)		
Benzo(a)pireno	Sustancias no intencionadas Subproductos de combustión incompleta de materia orgánica Presentes en combustibles fósiles	
Benzo(b)fluoranteno		
Benzo(g,h,i)perileno		
Benzo(k)fluoranteno		
Indeno(1,2,3-cd) Pireno		
Fluoranteno	Uso en colorantes fluorescentes y a la tina	
Antraceno	Subproductos de combustión incompleta de materia orgánica	
Naftaleno	Repelente de polillas Fácil evaporación Industria química	En combustibles fósiles Degradación solar y microbiana

superar los 3 µg/L mientras que el total de octilfenoles se sitúa en la décima parte, unos 0,3 µg/L.

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

### 3. SUSTANCIAS FARMACÉUTICAS Y MEDICAMENTOS

Se trata de una amplia variedad de compuestos farmacéuticos que se emplean tanto en el hogar como en el ámbito hospitalario, e incluso en el veterinario, para luchar contra enfermedades agudas o crónicas y cuyos restos o metabolitos de los mismos acceden al saneamiento englobados en desechos fisiológicos humanos o animales.

la **Tabla 8** recoge las principales clases de fármacos disponibles en el mercado. Si bien la buena práctica hospitalaria y domiciliaria marca que los restos de medicamentos sin usar deben llevar una gestión diferenciada y sostenible, los restos de los mismos vía fisiológica sí pueden llegar al medio en cantidades muy bajas.

Sin duda el abuso de fármacos y medicamentos es clave en su acceso al medio. Así, en España se consumen entre 2 y 6 ppb de ibuprofeno por habitante y día (más de 46 millones de recetas/año) habiéndose emitido en 2016 más de 900 millones de recetas para medicamentos, a razón de unas 20 por habitante.

Esto significa que somos el país de la UE con un acceso más fácil a los medicamentos y fármacos, con lo cual su incorporación al medio será proporcional, debiendo aler-

tarnos 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. También 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 los analgésicos, los antihipertensivos y los 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 segundo grupo, el calcio-antagonista, los  $\beta$ -bloqueantes (atenolol, metoprolol y propranolol) se han medido en niveles de 0,017  $\mu\text{g/l}$  en aguas residuales urbanas. Finalmente, con respecto a los antibióticos, tetraciclinas, aminoglicósidos, macrólidos, betalactámicos y vancomicina han sido detectados en niveles inferiores a décimas de  $\mu\text{g/l}$  en algunas aguas residuales.

No obstante, apenas existen estudios de la toxicidad ambiental derivada de estas pequeñas cantidades, con lo cual la aplicación de niveles paramétricos y sustancias concretas a incluir en la legislación se hace sumamente difícil sin llevar a cabo estudios más exhaustivos.

Así mismo, la presencia de fármacos en las aguas residuales urbanas podría provocar su acumulación en los lodos de depuración de las EDAR biológicas con la posibilidad de restricción para su uso agrícola o en compostaje.

TABLA 7		
USOS E INCIDENCIA DE ALQUILFENOLES Y OTROS COMPUESTOS ORGÁNICOS.		
Alquilfenoles		
Nonilfenoles Etoxilatos de nonilfenol	Detergentes industriales; acabado de tejidos y cuero; pinturas al agua; subproducto de la descomposición del nonoxinol-9 utilizado en espermicidas y en higiene personal; aditivo en pesticidas	Surfactantes no iónicos (emulsionante, dispersante y humectante); los productos habituales son los etoxilatos que se hidrolizan a octilfenoles alquilfenoles
Octilfenoles Etoxilatos de octilfenol		
Otros compuestos orgánicos		
C <sub>10-13</sub> Cloroalcanos	Pirorretardante, refrigerante; componente en aceite de corte para mecanizado de metales; aditivo en cauchos, pinturas y selladores; se utilizó como sustituto de PCBs	
Di(-etilhexil)ftalato (DEHP)	Flexibilizantes de PVC; aditivo en cosméticos; suelos, papeles de pared, muebles, ropa, juguetes; cremas, perfumes, etc.	
Difeniléteres bromados	Pirorretardante en tejidos, plásticos, espumas, componentes eléctricos y electrónicos	

TABLA 8	
COMPUESTOS FARMACÉUTICOS DE CONSUMO HABITUAL.	
Clase	Genérico/marcas
Antiflogísticos	Aspirina, ibuprofeno, paracetamol
Antibióticos	Amoxicilina, sulfametoxazol
Antidiabéticos	Metilformina, Troglitzaona
Antiepilépticos	Carbamazepina, Valproato
Beta-bloqueantes	Atenolol, Metoprolol
Antihistamínicos	Rentidina, cimetidina, prometazina, desloratadina
Antagonistas del calcio	Diltiazem, verapamil
Psicotróficos	Bupropión, Setralina
Relajantes musculares	Carisprodol, ciclobenzaprinas
Diuréticos	Furosemida, Hydroclorothiazida
Descongestionantes	Pseudoefedrina

Algunos datos extraídos de la bibliografía informan de niveles de detección de antibióticos con alta capacidad adsorbente sobre lodos de depuración, 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. Es previsible que otros compuestos se detecten en cantidades mucho más bajas, como lo corrobora el hecho

de un reciente estudio llevado a cabo en lodos de EDAR de Castilla y León (2012), que indicaba niveles de detección inferiores al límite en el caso de los anteriores tres antibióticos de alta adsorción sobre lodos: < 0,6 mg/kg m.s. para tetraciclina y ciprofloxacina y < 0,003 mg/kg m.s. para sulfametoxazol.

Desde el punto de vista de la legislación europea, con arreglo al ar-



» La reducción o eliminación de las drogas de abuso en los procesos de depuración, caso necesario, comportaría la implantación de tecnologías no convencionales como oxidación avanzada, ozonización, ósmosis inversa, de alto coste de implantación y mantenimiento

título 16, apartado 9, de la Directiva 2000/60/CE, y cuando proceda en función del resultado del estudio que debía estar disponible en 2013 de la propia Comisión Europea, relativo a los riesgos medioambientales de los medicamentos, y de otros estudios e informes pertinentes, la Comisión desarrollaría, en la medida de lo posible, en el plazo de dos años a partir del 13 de septiembre de 2013 un enfoque estratégico para la contaminación del agua por sustancias farmacéuticas.

Ese enfoque estratégico incluiría eventualmente propuestas a fin de que, en la medida de lo necesario, los impactos medioambientales de los medicamentos sean tenidos más eficazmente en cuenta en el procedimiento de comercialización de estos. En el marco de ese enfoque estratégico, la Comisión, en su caso, antes del 14 de septiembre de 2017 pondrá medidas a escala de la Unión y/o de los Estados miembros. La última noticia es que la CE publicará su estrategia en diciembre 2016 con un gran retraso debido a la complejidad del asunto. Como caso singular, el diclofenaco tiene NCA en Suecia desde mayo 2015, existiendo una necesidad de reducir el flujo de esta sustancia en las aguas receptoras para poder alcanzar las NCA.

Para terminar, hay negociaciones con la Agencia Española del Medicamento para hacer obligatoria la receta a fin de limitar consumos, y reducir los riesgos derivados para el medio.

#### 4. DROGAS ILEGALES O DE ABUSO

Las drogas, una vez consumidas por el ser humano y en virtud del metabolismo y de la excreción, revierten al entorno y pueden afectar en especial al medio acuoso. Las vías de ingreso de las drogas ilícitas y sus metabolitos en el medio son las típicas fisiológicas humanas, saliva, sudor, así como la eliminación accidental o deliberada por laboratorios clandestinos y traficantes.

Desde 2005 algunos estudios revelan la presencia pequeños niveles de diversas drogas ilícitas en las aguas. Estos estudios han reportado la presencia de diferentes drogas en aguas superficiales de ríos en Italia, España, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Austria y Bélgica entre otros. La detección de estos compuestos en ríos y aguas residuales urbanas puede generar alarmas sin fundamento a la ciudadanía, ya que su repercusión mediática es muy importante, y en muchas ocasiones no se procede a evaluar qué significan ambiental y toxicológicamente los niveles que en su caso puedan informarse.

En cualquier caso, la Organización Mundial de la Salud (OMS) califica a las drogas como cualquier sustancia que en el interior de un organismo puede modificar su percepción, estado de ánimo, cognición, conducta o funciones motoras.

Como las más utilizadas actualmente se pueden citar: marihuana,

cannabis, cocaína, inhalantes (pegamentos), heroína, crack, estimulantes (ritalina), polvo de ángel (fenciclidina) y depresores.

España, junto con Reino Unido y Francia, son los países de la UE con el consumo más alto de cocaína y cannabis entre los jóvenes europeos de entre 15 y 34 años. Además, en nuestro país, el 3,6% de los jóvenes consumieron cocaína el último año, más del doble que la media comunitaria. En este sentido, las cinco ciudades con un más alto nivel de cannabis en sus aguas residuales, expresado como mg/L cada 1.000 personas/día, son: Amsterdam, 469,4; Barcelona, 165,7; Amberes, 126,1; París, 121,3; y Londres, 116,7.

Según los estudios llevados a cabo a escala mundial sobre las drogas más comunes, como anfetamina, cocaína y sus metabolitos, metanfetamina, heroína y morfina, los niveles varían con los días y las horas, siendo más bajas en la noche y sensiblemente más elevadas en los fines de semana. Asimismo, los niveles detectados se encuentran en el rango de ng/L, es decir, de < 0,100 µg/L, por lo que se puede deducir que su incidencia ambiental debe ser mínima. Por contra, la reducción o eliminación de estos compuestos en los procesos de depuración, caso necesario, comportaría la implantación de tecnologías no convencionales como oxidación avanzada, ozonización, ósmosis inversa, de alto coste de implantación y mantenimiento.

Considerando en cierto modo a cafeína y nicotina como sustancias más o menos adictivas (drogas blandas) también se han encontrado, como no podía ser de otra forma, en las aguas residuales. Ligados a ellas se ha informado sobre detección de niveles traza de edulcorantes como sacarina, ciclamato y sucralosa en



aguas urbanas. En España (Canarias y Cataluña) se han detectado cafeína y nicotina en más del 70% de las muestras de aguas libres tomadas en estudios llevados a cabo: los componentes ligados al consumo de té (teobromina, teofilina y paraxantina) estaban presentes en un menor número de muestras, en niveles del orden de pocos ng/L. Aquí cabe señalar a los vertidos de fosas sépticas como unos importantes focos de aporte de contaminación de este tipo de compuestos habitualmente usados por la ciudadanía.

Como conclusión de lo dicho, el problema de la aparición de trazas de drogas en aguas residuales urbanas y en ríos de todo el mundo es un problema claramente ligado a la ciudadanía, y el control en el consumo de sustancias ilegales ha de potenciarse necesariamente para limitar esta cuestión, para la que tampoco se cuenta con una base de datos lo suficientemente contrastada a la hora de pensar en imponer controles y niveles paramétricos exigibles en aguas libres.

## 5. DISRUPTORES ENDOCRINOS

El sistema endocrino coordina y regula, mediante unas sustancias químicas llamadas hormonas, numerosas actividades vitales: metabolismo, la reproducción o el desarrollo embrionario y fetal. Las hormonas actúan a dosis muy bajas (ppb o ng/L) y una alteración de la cantidad o del momento en el que actúan durante el desarrollo embrionario puede causar graves daños en la descendencia. Dicho esto, los compuestos disruptores endocrinos son sustancias exógenas que causan efectos adversos en la salud de los organismos, incluyendo la raza humana, propiciando cambios en el funcionamiento de su sistema endocrino. Suelen actuar:

<b>Sustancias químicas</b>	<b>Sectores afectados</b>
Plaguicidas y herbicidas	Química, agricultura, fumigación
Nonil y octil-fenoles	Detergentes y agricultura
Bisfenol-A	Química, plásticos, construcción y metal
Dioxinas y furanos	Química, papel, residuos y metal
Disolventes, triclorobenceno, percloroetileno	Química, metal, textil y limpieza
Estirenos, octacloroestireno	Química y plásticos
Ftalatos (BBP, DBP, DEHP)	Plásticos, metal, limpieza, cosméticos y textil
PBB (polibromuros de bifenilo)	Eléctrico y electrónico Cableado y construcción
PCB	Eléctrico, metal y residuos
PBDE (polibromodifeniléter) y otros retardantes de llama	Armamento, química
Tributilestaño	Química y naval
Resorcinol	Colorantes

- Mimetizando y bloqueando la acción de hormonas sexuales.
- Alterando la producción y el metabolismo de las hormonas naturales.
- Modificando la formación y el funcionamiento de los receptores hormonales.
- Generando anormales niveles hormonales en sangre.
- Reduciendo la fertilidad y alterando el comportamiento sexual.
- Provocando la masculinización de hembras y la feminización de machos.
- Modificando el sistema inmunológico.
- Originando procesos cancerígenos en órganos reproductores.
- Generando malformaciones en las trompas de Falopio, útero y sistema reproductor.
- Originando diversas alteraciones de la estructura ósea.

Dado que no se conoce la capacidad de alterar el sistema endocrino de la mayoría de las sustancias co-

mercializadas, la UE ha elaborado una lista de 680 sustancias que se conoce o sospecha que puedan ser disruptores endocrinos. Además, la UE y Estados Unidos han puesto en marcha un programa para evaluar unas 100.000 sustancias comercializadas en Europa.

En todo caso, la preocupación por este tipo de sustancias arranca a mediados del siglo pasado con la comprobación de diversos acontecimientos ligados a la presencia de disruptores endocrinos detectados en niveles importantes en las aguas naturales de determinados entornos y que provocaban, como ejemplos:

- La desaparición de la nutria en Reino Unido (pesticidas, 1950).
- Una tasa del 80% de esterilidad en águilas calvas de Florida (pesticidas, 1950).
- Caída de la fertilidad en hembras de visón en el lago Michigan (Estados Unidos) por acumulación de PCB y malformación en polluelos de gaviota (1969-70).



- Masculinización de aves en California (pesticidas, 1970).
- Deformaciones en aparato reproductor en caimanes en Florida (pesticidas, 1980).
- Mortandad de delfines en el Mediterráneo (PCB, 1990).
- Registrados altos contenidos en PCB en organismos abisales (2016).

### 5.1. PRINCIPALES DISRUPTORES ENDOCRINOS

Existen dos grandes grupos: los de procedencia natural y los artificiales. Los primeros disruptores endocrinos naturales son las hormonas esteroideas. Entre estas, se distinguen entre masculinas y femeninas. Las masculinas se denominan andrógenos, y comprenden testosterona, aldosterona, cortisol y dehidroepiandrosterona. Entre las femeninas o estrógenos están el estradiol, la 4-androsteno-3, 17-diona, el 17- $\beta$ -estradiol, la progesterona y el estriol. En cuanto a hormonas esteroideas artificiales, están 3-17- $\alpha$ -etinilestradiol (femenino) y androstenoide, oxandrolona y nandrolona (masculinos). Todos ellos pueden encontrarse en aguas residuales urbanas, por excretas humanas, en niveles del orden de ng/L e inferiores.

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. En la **Tabla 9** se recopilan las principales sustancias artificiales con capacidad de alternación endocrina que pueden acceder a las aguas. Los niveles detectados habitualmente en las mismas están en el entorno del ng/L e inferiores.

Por su parte, la UE catalogó como disruptores endocrinos comprobados a las siguientes sustancias: estireno, hexaclorobenceno, nonil y oc-

**FIGURA 2.** Plásticos y microplásticos.



til-fenoles, f-talatos, Bisfenol-A, PCB, PBB, dioxinas, furanos TBT, 3,4-dicloranilina, 4-nitrotolueno y resorcinol. No obstante, en la actualidad se está en proceso de definición clara del disruptor endocrino para pasar a elaborar una normativa particular al respecto, con inclusión de sustancias y niveles paramétricos exigibles. En este sentido, uno de los principales problemas al efecto es la falta de estudios toxicológicos de campo suficientemente contrastados.

### 6. MICROPLÁSTICOS

La detección de restos de plásticos

finamente divididos, lo que usualmente se denominan microplásticos, es un problema creciente a escala, especialmente de acumulación en ambientes marinos (**Figura 2**). En general se aplican a restos inferiores a 5 mm de tamaño y se trata de partículas primarias o secundarias como desintegración de elementos plásticos más grandes. Se han encontrado tanto en aguas oceánicas libres (Ártico y Antártida) como en profundidades abisales (> 5.000 m): hasta 4.000 micropartículas/m<sup>3</sup> en algunos ambientes marinos según algunos datos.

Los microplásticos son usados en

**TABLA 10**

**MICROPLÁSTICOS, APLICACIONES Y DENSIDAD ESPECÍFICA (FUENTE ANDRADY, 2011). NOTA: (\*) PLÁSTICOS CON DENSIDAD <1,02 SON FLOTANTES; DENSIDAD >1,02 SON SEDIMENTABLES.**

Categorías o tipos	Aplicaciones usuales	Densidad específica (g/cc)
Poliétileno	Bolsas plástico, anillos six-pack cerveza	0,91 - 0,94
Polipropileno	Cuerdas, tapas botella	0,90 - 0,92
Poliestireno expandido	Boyas, copas	0,01 - 1,05
Agua de mar		1,02
Poliestireno	Utensilios, embalajes	1,04 - 1,09
Policloruro de vinilo flexible	Bolsas, tubos	1,16 - 1,30
Poliamida o nylon	Cuerdas	1,13 - 1,15
Poliétilen tereftalato	Botellas	1,34 - 1,39
Resina de poliéster+fibra de vidrio	Textiles	>1,35
Acetato de celulosa	Filtros de cigarrillos	1,22 - 1,24

productos de cuidado personal como pasta dentrífica, cremas faciales y exfoliantes habiendo sustituido a los elementos naturales como semillas, conchas de piedra pómez o arcillas. Se encuentran, asimismo, en textiles sintéticos, por lo que los lavados de estas prendas arrojan hasta 100 fibras por litro de agua.

Así mismo, los pellets plásticos de pocos mm de diámetro se emplean en tintas de impresión, sprays, molduras de inyección y abrasivos. Finalmente, la fragmentación de plásticos por causas de tiempo de exposición al medio, de temperatura o irradiación UV genera nuevos microplásticos. En este sentido, las fuentes más comunes de basuras plásticas son el transporte marino, pesca, acuicultura, plataformas petrolíferas y cruceros, con origen marino, y las aguas residuales, agricultura y horticultura y vertederos ilegales, con origen terrestre. Como resumen, la **Tabla 10** presenta las aplicaciones más comunes y densidad específica de algunos microplásticos encontrados en medios marinos.

Una vez en el océano, son ingeridos por organismos marinos filtradores (ostras y mejillones) dificultando su digestión. En el caso de las ballenas, que también se alimentan

vía filtración, serían ingeridos provocando problemas estomacales, y además de estrés adicional por obstrucción del sistemas filtro-alimentador de su boca. Desde el punto de vista químico, los plásticos también contienen aditivos para mejorar sus prestaciones y, en todo caso, son capaces de absorber contaminantes orgánicos del tipo de pesticidas (DDT y otros) y PCB, reconocidos como disruptores endocrinos y con capacidad mutagénica y carcinogénica, compuestos que en el interior de los organismos superiores pueden irse liberando más o menos rápidamente.

Por todo lo dicho, la UE pretende alcanzar el buen estado ecológico de las aguas marinas en 2020, reduciendo la basura marina en un 30%. Para ello habrá que incidir en la legislación de cosméticos y detergentes que emplean microperlas que generan estos residuos.

Además, existen programas de la ONU (PNUMA) para combatir la contaminación por microplásticos, programas europeos para mitigar el impacto de las microfibras procedentes del lavado doméstico de ropa, y un proyecto alemán para cuantificar los microplásticos ligados a las aguas residuales urbanas.

## 7. PATÓGENOS EMERGENTES

Desde los años 90 del siglo pasado se ha ido constatando que las nuevas condiciones demográficas y ambientales, así como la habilidad de los microorganismo a adaptarse, favorecen la aparición y actuación de nuevos patógenos. El papel de los virus, parásitos protozoos y algunas bacterias en particular o determinadas características como su mayor resistencia a los antibióticos, está comenzando a ser preocupante.

Así, se califican como patógenos emergentes a aquellos organismos o microorganismos que han aparecido en la población humana anteriormente, pero que han aumentado su incidencia o se han expandido en zonas donde no se tenía constancia en los últimos veinte años. Los patógenos re-emergentes son aquellos cuya incidencia está aumentando como resultado de los cambios de su epidemiología. Según este criterio, 175 agentes infecciosos de 96 géneros estaban clasificados como patógenos emergentes por la OMS hasta 2003. La **Tabla 11** presenta una síntesis de los principales patógenos emergentes divididos por su tipología: virus y bacterias son los más numerosos, mientras los helmintos son los menos.

TABLA 11

**PATÓGENOS EMERGENTES MÁS FRECUENTES Y SU % DE INCIDENCIA SOBRE EL TOTAL.**

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)	Mycobacterium avium Escherichia coli Helicobacter pylori Campylobacter jejuni Aeromonas hydrophila Legionella	Cyclospora cayentanensis Microsporidia Acanthamoeba Balantidium coli Toxoplasma Cryptosporidium Entamoeba histolytica Giardia Isospora belli Naegleria fowleri	Cándida Cryptococcus Malassezia Aspergillus Fusarium Penicillium marneffeii Paecilomyces Trichosporon	Draculiculus medinensis Fasciola spp.



## 8. CONCLUSIONES: ¿POR QUÉ EMERGEN LOS PATÓGENOS?

Varias razones justifican el incremento de los patógenos emergentes:

- Cambios en el comportamiento y vulnerabilidad humanos, debido a: circulación, accesibilidad y rapidez en el transporte; cambios demográficos; aumento en el tamaño de las poblaciones con alto riesgo; aumento accidental o deliberado de los patógenos; y aumento de emergencias humanas.

- Cambio ambiental, producidos por: cambios climáticos que entrañan deforestación de entornos; desarrollo de proyectos de nuevos recursos (embalses, riegos); sistemas de refrigeración que posibiliten nichos vitales para ciertos microorganismos; cambio en prácticas agrícolas e industriales; diseños y explotación de sistemas de transporte de agua no idóneos; y extensión de piscifactorías en ambientes hídricos vulnerables.

- Nuevas tecnologías, como: desarrollo de proyectos de nuevos recursos que afecten ecosistemas sensibles; sistemas de refrigeración con diferentes prestaciones; cambio

de prácticas agrícolas e industriales (intensificación de explotaciones); y tratamiento de aguas y aplicación de nuevas tecnologías o productos de tratamiento.

- Avances científicos, que implica: inapropiado y excesivo uso de antibióticos, antiparásitos e insecticidas; cambio en las prácticas agrícolas e industriales (modificación de productos de lucha contra plagas); mejora en los métodos de detección y análisis; y uso inapropiado de insecticidas de última generación.

Este, sin duda, es otro reto más en los saneamientos y EDAR y que se hará más sostenible en los próximos años con los importantes flujos migratorios a que está sometida la Unión Europea.

### Bibliografía

- [1] Aguayo Balsas, S.; Herrera León, S.; Méndez González, J.; Corpa Santos, C. (2012). Repercusión sanitaria en el medio ambiente del consumo de antibióticos. *Seguridad y Medio Ambiente*, núm. 127, págs. 34-43.
- [2] Andrady, A.L. (2011). Microplastic on Shorelines Worldwide: sources and sinks. *Environm. Sci. and Technol.*, núm. 45, págs. 9.175-9.179.
- [3] Barceló, D.; López, M.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.

[4] De Luca, A. (2007). Harmful fungi in both Agriculture and Medicine. *Rev. Iberoam. Micol.*, núm. 24, págs. 3-13.

[5] EU (2009). Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants (ScorePP) Sixth Framework Programme, Sub-Priority 1.1.6.3, Global Change and Ecosystems Project no. 037036, [www.scorepp.eu](http://www.scorepp.eu), Duration: 1 October 2006-30 September 2009.

[6] Gil, M.J.; Soto, A.M.; Usma, J.I.; Gutiérrez, O.D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+Limpia*, vol. 7, núm. 2, págs. 52-73.

[7] González Canal, I. (2015). Contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas y efluentes hospitalarios: caracterización, rendimientos de eliminación en EDAR y tecnologías de oxidación. Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia-Fundación IK4 TEKNIKER.


[8] Marín Galván, R. (2012). Procesos físicoquímicos en depuración de aguas. Ed. Díaz de Santos, Madrid.

[9] Marín Galván, R.; Ripollés Pascual, F.; Santateresa Forcada, E.; Lahora Cano, A.; González Canal, I.; Mantecón Pascual, R.; Rodríguez Amaro, R. (2009). Contaminación convencional, sustancias prioritarias y contaminantes emergentes en saneamientos públicos españoles. *Tecnología del Agua*, núm. 313, págs. 40-54.

[10] Matía, L. (2005). Contaminantes y patógenos emergentes. Nuevas necesidades de control. *Actas XXV Jornadas AEAS*. Palma de Mallorca.

[11] PNUMA (2017). Microplásticos. [http://www.unep.org/yearbook2013/pdf/Microplastic\\_spanish.pdf](http://www.unep.org/yearbook2013/pdf/Microplastic_spanish.pdf) y referencias citadas allí.

[12] Reemtsma, T.; Weiss, S.; Mueller, J.; Petrovic, M.; González, S.; Barceló, D.; Ventura, F.; Knepper, T.P. (2006). Polar pollutants entry into the water cycle by municipal wastewater: a European perspective. *Environ. Sci. Technol.*, núm. 40, págs. 5.451-5.458.

[13] Simón Andreu, P.J.; Lardín Mifsut, C.; González Herrero, R.; Sánchez Beltrán, A.V.; Vicente González, J.A. (2015). Estudio de la presencia de contaminantes emergentes en las distintas etapas de las depuradoras. *Retema*, núm. 186, págs. 84-91. 

MÁS ARTÍCULOS  
TÉCNICOS Y OTRAS  
INFOMACIONES EN:  
[WWW.TECNOAQUA.ES](http://WWW.TECNOAQUA.ES)