



Revista VIRTUALPRO

ISSN 1900-6241

Bogotá, Colombia.

revista@virtualpro.co

www.virtualpro.co

2019

Rafael Marín Galvín

El estado químico de las aguas continentales españolas y la contribución de las
EDAR en su consecución

Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (EMACSA)

Córdoba, España

El estado químico en las aguas continentales españolas y la contribución de las EDAR en su consecución

(Chemical State in Spanish continental waters and contribution of the WWTPs on this subject)

Rafael Marín Galvín

Coordinador GT Inspección Vertidos y Laboratorio-Comisión VAEAS. Jefe de Control de Calidad

Empresa Municipal Aguas Córdoba, S.A. (EMACSA), Córdoba, España

Correo: rmargal@emacsa.es

Resumen

Las denominadas normas de calidad ambiental (NCA, derivadas de la normativa sectorial europea) ayudan a testar el estado ecológico y químico de las aguas españolas y las estrategias adecuadas, en su caso, para su recuperación. En ellas se tipifican diferentes tipos de compuestos clasificados como: sustancias prioritarias, prioritarias peligrosas, sustancias preferentes y otros contaminantes. Hoy en día la procedencia de las sustancias que ingresan en un saneamiento público es múltiple: el tradicional ámbito industrial (los típicos vertidos), las aguas residuales domiciliarias, la contaminación difusa y los vertidos residuales ocasionales. Todo esto llega a una EDAR con pautas y concentraciones muy variables y con poco o ningún control coercitivo, salvo en el caso de las aguas industriales. En general, las NCA se aplican directamente en España a las aguas depuradas (sin seguir los criterios de la Comisión Europea), así, el escenario puede tornarse inquietante: ¿Por qué si las NCA son criterios diseñados para aguas libres? ¿Son las EDAR capaces de depurar toda la contaminación recibida? ¿Hay mecanismos eficaces para trasladar de las NCA a los saneamientos para preservar el entorno acuático? ¿Se puede conseguir la sostenibilidad sin involucrar a toda la ciudadanía? Las consideraciones en este texto pueden ayudar a abordar el problema del medio ambiente acuático de una forma global y no mediante compartimentos estancos de cuestionable validez.

Palabras clave: estado químico; estado y potencial ecológico; normas de calidad ambiental; EDAR; vertido.

Abstract

The environmental quality rules (EQR, derived from the European normative) help to test the ecology and chemical state of the Spanish water, and also, to planify strategies focused to their remediation. Therein are considered several types of pollutant compounds such as: priority substances, preferential substances and other pollutants. Today, substances present in public sanitation emanate from: industries (the typical effluents), domestic sanitation and occasional effluents. All these substances come to WWTPs according to different sequences, concentrations with high variability and very few controls with exception of industrial wastewaters. By considering that the environmental quality rules are applied in Spain on treated wastewaters and not on aquatic medium (contrary to that indicated by the European Commission) the situation could become inquietant: Why this practice if the EQR were elaborated for continental waters? Can Spanish WWTPs treat all this emerging pollution? Could have efficient mechanisms to translate the EQR to treated wastewaters in order to favour aquatic medium preservation? Can we reach the environmental sustainability without involving the general citizen? Considerations here presented can be help to solve the *environmental problem* of continental waters in global form and not by means partial deposits with very few possibilities of exit.

Keywords: Chemical state of water; potential and environmental state; environmental quality rules; WWTP; effluent.

El estado ecológico y químico en las masas de agua (DMA-UE y RD 817/2015 España)

La Directiva Marco del Agua de la UE, complementada en aspectos concretos desde su publicación en el 2000, priorizó los aspectos biológicos e hidromorfológicos de las masas de agua en Europa; una de sus principales finalidades es la consecución y el mantenimiento del buen estado-potencial ecológico y químico de las aguas superficiales y de las masas de agua declaradas fuertemente modificadas, para preservar el medio ambiente de la mejor manera posible. En España gran parte de los principios de esta directiva, así como el control de calidad asociado, ha sido recogido en el RD 817/2015. En el apartado químico se desarrollaron las normas de calidad ambiental que se tratarán en un apartado posterior. Estas son sistemas para evaluar el estado de los cauces públicos, se arbitraron los denominados programas de control de la calidad de agua los cuáles deberían aportar información suficiente para:

- Evaluar la desviación en las condiciones observadas en un agua libre respecto a las de referencia.
- Conocer las variaciones naturales y artificiales del medio físico.
- Tener en cuenta la variabilidad natural o provocada por el hombre en las masas de agua.
- Considerar la interacción entre aguas superficiales y subterráneas.
- Detectar el conjunto global de impactos potenciales para permitir la clasificación del estado ecológico y los mecanismos eficaces para la mejora del mismo.

En todo caso, el desarrollo de programas de control para comprobar el cumplimiento de los objetivos establecidos en la DMA requeriría conocer previamente el estado químico y ecológico de las masas de agua bajo las condiciones de referencia, con niveles de presión nulos o muy bajos, por urbanización, industrialización, agricultura, entre otros factores externos (algo no exento de complejidad). También habría de investigarse el tipo y la magnitud de las presiones antropogénicas significativas a las que está expuesta una masa de agua, incluyendo la contaminación por fuentes difusas y puntuales, extracción y regulación de caudales, alteraciones hidromorfológicas, usos del suelo y otras actividades significativas de la actividad humana con repercusión sobre el medio acuático.

Las masas de agua superficial se definían como partes diferenciadas y significativas del entorno acuático y comprendían lagos, embalses, corrientes, ríos o canales, o partes de los mismos. Asimismo, se estableció la demarcación hidrográfica como unidad de gestión, integrando la zona terrestre y marina compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras asociadas. También se exigía a los EEMM un análisis de las características de cada demarcación, así como un estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales y subterráneas. Todos estos apartados han sido desarrollados en España en el RD 817/2015 (derivada de la Directiva 2014/101/UE) sobre normas de calidad ambiental que son relevantes desde la óptica de la calidad de las aguas, como se reseña a continuación.

Programas de seguimiento

Se dedican a establecer pautas para valorar el estado de las masas de agua para obtener una visión general coherente y completa del estado de cada demarcación hidrográfica. Los niveles de control establecidos (Título III) tienen cuatro apartados:

Control de vigilancia (art. 5). Debe haber un conocimiento general y completo de las masas de agua, facilitando la elaboración de nuevos programas de control y evaluando los cambios previsibles de las condiciones de las aguas superficiales a largo plazo. También se contemplan parámetros de calidad biológicos, hidromorfológicos y químicos-fisicoquímicos, así como de sustancias individuales concretas en su caso, los cuales se muestrean en función de cada elemento de calidad aplicado (ver tabla 1). Por ejemplo, el control de vigilancia operativo para ríos determina en cuanto a los elementos de calidad biológicos, un muestreo anual para diatomeas, macrófitos, macroinvertebrados y peces, y dos para fitoplancton, así como otras frecuencias para el resto de elementos de calidad (ver anexo I, apartado A).

Tabla 1: Elementos de calidad biológicos, hidromorfológicos y fisicoquímicos de las aguas españolas (RD 817/2015).

<i>Elementos de calidad</i>	
Biológicos	Fitoplancton
	Otra flora acuática: diatomeas
	Otra flora acuática: macrófitos
	Macroinvertebrados
	Peces
Hidromorfológicos	Continuidad del curso de agua
	Régimen hidrológico
	Morfología
	Régimen de mareas (cuando se aplique)
	Condiciones térmicas
	Oxigenación

ISSN 1900-6241 No 208 Mayo 2019 :: Manejo de la contaminación ambiental

Químicos y fisicoquímicos generales	Salinidad
	Estado de nutrientes
	Estado de acidificación
Sustancias individuales	Sustancias prioritarias (normas calidad ambiental anexo IV)
	Contaminantes específicos (sustancias preferentes, anexo V) y otros particulares en ciertos casos

Fuente: elaboración propia.

Control operativo (art.6). Este tipo de control determinará el estado de las masas de agua que no cumplen con los objetivos medioambientales (aguas con estado deficiente) y evaluará los cambios producidos como resultado de las medidas tomadas en tales situaciones. Se medirán los parámetros de los indicadores de calidad biológicos más sensibles a las presiones recibidas, las sustancias prioritarias y demás contaminantes vertidos en cantidades importantes en la masa de agua, así como los parámetros del indicador de calidad hidromorfológico más sensible a la presión detectada. Por ejemplo, para aguas costeras se contemplan, en el caso de elementos químicos y fisicoquímicos, muestreos trimestrales de condiciones térmicas, oxigenación y estado de nutrientes del agua (ver anexo I, apartado B).

Control de investigación (art.7). Este es útil para determinar las causas de incumplimiento de los objetivos medioambientales, también sirve para conformar un programa de medidas específicas que reviertan la situación. No se determinan *a priori* muestreos predeterminados.

Control de zonas protegidas (art. 8). En este caso se trata de programas de control específicos para las zonas catalogadas como protegidas. Por ejemplo, en particular, en masas de agua superficiales de las que se extraigan más de 100 m³ diarios para abastecimiento a poblaciones se establece la realización de controles sobre sustancias prioritarias y

contaminantes vertidas en cantidades tales que puedan comprometer la calidad del agua de consumo obtenida posteriormente (regulada por los RD 140/2003 y RD 902/2018 en España). En todos los controles anteriores se contó con puntos de muestreo representativos de la totalidad de las masas de aguas consideradas.

En resumen, para cada tipo de control y cada tipo de elemento de calidad en el documento se explicitan las frecuencias mínimas de muestreo que se aplicarán (anexo I del RD 817/2015), como ya se ha mencionado.

Estado y potencial ecológico. Indicadores de calidad aplicados

En la norma comentada (RD 817/2015) se definen diferentes categorías de aguas (arts. 10-13): ríos, lagos, embalses, aguas de transición y aguas costeras. Para cada categoría se tienen en cuenta elementos de calidad biológicos, químicos y fisicoquímicos, e hidromorfológicos, también se consideran contaminantes específicos (normas de calidad ambiental) todos ellos recogidos en los anexos correspondientes.

Así pues, la clasificación del estado-potencial ecológico de una masa de agua será proporcionada mediante la comparación de los elementos de calidad encontrados en ella, con los parámetros e indicadores relativos a los anteriores y previamente definidos para la masa de agua, los cuales se toman como referencia (anexo II).

Finalmente, el estado-potencial ecológico se clasificará en orden decreciente como muy bueno, bueno, moderado, deficiente o malo. En la tabla 1 se presentan los elementos de calidad a controlar en cualquier masa de agua. A su vez, cada elemento de calidad está asociado a los indicadores de

calidad determinados a través de mediciones específicas, que servirán para caracterizar el elemento de calidad y la masa de agua correspondiente en relación a las condiciones de referencia ya establecidas.

Tabla 2: Elementos e indicadores de calidad en ríos (RD 817/2015).

<i>Elemento de calidad</i>	<i>Indicador</i>
Fauna bentónica de invertebrados	Iberian biomonitoring working party (IBMWP)
	Índice multimétrico ibérico-mediterráneo
	Índice multimétrico específico del tipo de invertebrados bentónicos
	Índice multimétrico de invertebrados vasco
	Índice multimétrico de invertebrados de las Islas Baleares
Otra flora acuática-macrófitos	Índice biológico de macrófitosenríos de España
Otra flora acuática-diatomeas	Índice poluo sensibilidad específica
Organismos fitobentónicos	Índice multimétrico de diatomeas de las islas baleares
Estado de acidificación	Ph
Condiciones de oxigenación	Oxígeno disuelto (mg/L)
	Tasa de saturación de oxígeno (%)
Nutrientes	Amonio (mg/L, nh ₄)
	Fosfatos (mg/L, PO ₄)
	Nitratos (mg/L, NO ₃)
Condiciones morfológicas	Índice de calidad del bosque de ribera

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3: Elementos e indicadores de calidad en aguas costeras (RD 817/2015).

<i>Elemento de calidad</i>	<i>Indicador</i>
Fitoplancton	P90 de concentración de clorofila (µg/l) a >200 m de la costa
	Floraciones planctónicas (% de muestras con taxón superando nivel de abundancia)
	Spanish phytoplankton toll
Macroalgas	Calidad de los fondos rocosos
	Índice de calidad de comunidades del intermareal rocoso
	Lista reducida de especies
Angiospermas	Cartografía de comunidades litorales y de infralitoral superior de costas rocosas
	Índice multivariante de posidonia oceánica
Fauna bentónica de invertebrados	Sistema valenciano de clasificación
	<i>Benthic opportunistic polychaeta amphipoda</i>
	Mediterranean Occidental
	Multivariate-AXTI's Marine biotic index
	Benthic opportunistic annelida amphipod index
Nutrientes	Amonio (mg/L, NH ₄)
	Nitritos (mg/L, NO ₂)
	Nitratos (mg/L, NO ₃)
	Fosfatos (mg/L, PO ₄)
	Índice de fosfatos-amonios-nitratos

Fuente: elaboración propia.

En este apartado se aportan los elementos de calidad biológicos, hidromorfológicos y fisicoquímicos, así como sus indicadores asociados, aplicados para aquellas masas de agua que potencialmente podrían recibir un mayor impacto derivado del ingreso respecto a las mismas de aguas depuradas procedentes de las EDAR municipales, por ejemplo, ríos (ver tabla 2) o aguas costeras (ver tabla 3).

Estado químico. Las normas de calidad ambiental

El estado químico de una masa de agua se evalúa en base a las normas de calidad ambiental (NCA) establecidas en el Título IV del RD 817/2015, que también se aplican para el caso general del estado-potencial ecológico, en el apartado de sustancias individuales. Las NCA se dividen en dos partes, la primera correspondiente a sustancias prioritarias y otros contaminantes (transposición de la Directiva Europea 2014/101/UE, ver tabla 4a) y la segunda, correspondiente a sustancias preferentes (específico de España, ver tabla 4b). Se consideran dos niveles de concentración en aguas en general, pero en casos concretos las concentraciones se determinan en biota: estos niveles corresponden a la concentración media anual de sustancia o a su concentración máxima anual. También se discrimina entre agua superficial continental (el caso general) y otros tipos de aguas: nótese que en ninguna tipología se hace referencia a agua depurada.

En las tablas anteriores, la superación de los niveles predeterminados denota la inadecuación del agua a los objetivos generales de calidad establecidos. El procedimiento para comprobar si se adecua o no a las NCA es similar al comentado para el estado ecológico, mediante la comparación con el estado de referencia de cada masa de agua (RD 817/2015 y planes de cuenca vigentes, RD

1/2016) con las concentraciones medias anuales y máximas anuales de cada sustancia. Resulta muy claro que la aplicación de todo el RD 817/2015 y de las normas de calidad ambiental se dirige al estado de las aguas superficiales (sic). No obstante, esta situación no es la que se da en la práctica, provocando graves problemas para los gestores de las EDAR, a quienes se les exige cumplir unos niveles de emisión a los que no deberían estar obligados, según se especifica en la mayoría de las autorizaciones de vertido a cauce emitidas por los organismos de cuenca a los gestores de las EDAR.

Tabla 4: a. Sustancias prioritarias y otros contaminantes en el RD 817/2015, normas de calidad ambiental en aguas; b. Sustancias preferentes. Unidades en µg/L. MA: concentración media anual; CMA: concentración máxima anual.

Tipología: sustancia prioritaria, peligrosa prioritaria, otros contaminantes (µg/L, concentración en agua; µg/kg peso húmedo en biota)		MA A. super. Cont/otras	CMA A. super. Cont/otras	Tipología: sustancia prioritaria, peligrosa prioritaria, otros contaminantes (µg/L, concentración en agua; µg/kg peso húmedo en biota)		MA A. super. Cont/otras	CMA A. super. Cont/otras
Alacloro	Prioritaria	0,3 / 0,3	0,7 / 0,7	Níquel y sus compuestos	Prioritaria	20 / 4,0	No aplicable/34
Antraceno		0,1 / 0,1	0,4 / 0,1	Nonilfenol y 4-Nonilfenol	Peligrosa prioritaria	0,3(u) / 0,3(u)	2,0(u) / 2,0(u)
Atrazina	Prioritaria	0,6 / 0,6	2,0 / 2,0	Octilfenoles((4-(1,1'3,3'-tetrametilbutil)-fenol)	Prioritaria	0,1 / 0,01	No aplica / no aplica
Benceno	Prioritaria	10 / 0,8	50 / 50	Pentaclorobenceno	Peligrosa prioritaria	$7 \times 10^{-3} - 7 \times 10^{-4}$	No aplica / no aplica
Difeniléteres bromados	Peligrosa prioritaria	$5 \times 10^{-4} / 2 \times 10^{-4}$	No aplica. / 0,14 Biota $8,5 \times 10^{-3}$	Pentaclorofenol	Prioritaria	0,4 / 0,4	1 / 1
Cadmio y sus compuestos	Peligrosa prioritaria	0,25-0,08 / 0,2	1,5 / 0,45	Benzo(a)pireno	Peligrosa prioritaria	0,05 / 7×10^{-4}	0,1-0,27 Biota 5
Tetracloruro de carbono	Otros contaminantes	12 / 12	No aplica/No aplica	Benzo(b)fluoranteno+ Benzo(k)fluoranteno	Peligrosa prioritaria	$\sum 0,03 / \sum 0,03$	No aplica / 0,17
Cloroalcanos (C₁₀₋₁₃)	Peligrosa prioritaria	1,4 / 0,4	1,4 / 0,4	Benzo(g,h,i)perileno+I ndeno (1,2,3-cd)pireno	Peligrosa prioritaria	$\sum 0,002 / \sum 0,002$	No aplica / $8,2 \times 10^{-4}$
Clorfenvinfós	Prioritaria	0,3 / 0,1	0,3 / 0,1	Simazina	Prioritaria	1 / 1	4 / 4
Clorpirifós	Prioritaria	0,03 / 0,03	0,1 / 0,1	Tetracloroetileno, Tricloroetileno	Otros contaminantes	10(u) / 10(u)	No aplica / no aplica
Aldrín, Dieldrín, Endrín, Isodrín (Suma)	Otros contaminantes	$\sum 0,01 - \sum 0,005$	No aplica/No aplica	Compuestos tributilestano	Peligrosa prioritaria	$2 \times 10^{-3} / 2 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-3} / 1,5 \times 10^{-3}$
DDT total	Otros contaminantes	0,025 / 0,025	No aplica/No aplica	Triclorobencenos	Prioritaria	0,4 / 0,4	No aplica / no aplica
p,p'-DDT	Otros contaminantes	0,01 / 0,01	No aplica/No aplica	Triclorometano	Prioritaria	2,5 / 2,5	No aplica / no aplica
1,2-Dicloroetano	Prioritaria	10 / 10	No aplica/No aplica	Trifuralina	Peligrosa prioritaria	0,3 / 0,03	No aplica / no aplica
Diclorometano	Prioritaria	20 / 20	No aplica/No aplica	Dicofol	Peligrosa prioritaria	$1,3 \times 10^{-3} / 3,2 \times 10^{-5}$	No aplica / no aplica Biota 33

Dietilhexil-ftalato (DEHP)	<i>Peligrosa prioritaria</i>	1,3 / 1,3	No aplica/No aplica	Ác-perfluorooctanosulfónico y derivados	<i>Peligrosa prioritaria</i>	6,5x10 ⁻⁴ /1,3x10 ⁻⁴	36 / 72 Biota 9,1
Diurón	<i>Prioritaria</i>	0,2 / 0,2	1,8 / 1,8	Quinoxifeno	<i>Peligrosa prioritaria</i>	0,15 / 0,015	2,7 / 0,54
Endosulfán	<i>Peligrosa prioritaria</i>	0,01 / 5x10 ⁻⁴	0,01 / 4X10 ⁻³	Dioxinas y compuestos similares	<i>Peligrosa prioritaria</i>	-	No aplica / no aplica Biota 6,5x10 ⁻³
Fluoranteno	<i>Prioritaria</i>	0,1 / 6,3x10 ⁻³	1 / 0,12 Biota 30	Aclonifeno	<i>Prioritaria</i>	0,12 / 0,012	0,04 / 0,004
Hexaclorobenceno	<i>Peligrosa prioritaria</i>	-	0,05 / 0,05 Biota 10	Bifenox	<i>Prioritaria</i>	2,5x10 ⁻³ / 2,5x10 ⁻³	0,016 / 0,016
Hexaclorobutadieno	<i>Peligrosa prioritaria</i>	-	0,6 / 0,06 Biota 55	Cibutrina	<i>Prioritaria</i>	2,5x10 ⁻³ / 2,5x10 ⁻³	0,016 / 0,16
Hexaclorociclohexano	<i>Peligrosa prioritaria</i>	0,02 – 2x10 ⁻³	0,04 – 0,02	Cipermetrina	<i>Prioritaria</i>	8x10 ⁻⁵ / 8x10 ⁻⁶	6x10 ⁻⁴ / 6x10 ⁻⁵
Isoproturón	<i>Prioritaria</i>	0,3 / 0,3	1,0 / 1,0	Diclorvós	<i>Prioritaria</i>	6x10 ⁻⁴ / 6x10 ⁻⁵	7x10 ⁻⁴ / 7x10 ⁻⁵
Plomo y sus compuestos	<i>Prioritaria</i>	1,3-1,2 / 7,2	No aplicable	Hexabromociclodecano	<i>Peligrosa prioritaria</i>	1,6x10 ⁻³ / 8x10 ⁻⁴	0,5 / 0,05 Biota 167
Mercurio y sus compuestos	<i>Peligrosa prioritaria</i>	-	0,07 / 0,07 Biota 20	Heptacloro y epóxido de heptacloro	<i>Peligrosa prioritaria</i>	2x10 ⁻⁷ / 1x10 ⁻⁸	3x10 ⁻⁴ / 3x10 ⁻⁵ Biota 6,7x10 ⁻³
Naftaleno	<i>Prioritaria</i>	2,4 / 1,2	No aplicable/ 130	Terbutrina	<i>Prioritaria</i>	0,065 / 6,5x10 ⁻³	0,34 / 0,034

<i>Tipología: sustancia preferente</i>	MA	CMA
Etilbenceno	30	30
Tolueno	50	50
Tricloroetano	100	100
Xileno (suma 3 isómeros)	30	30
Terbutilazina	1	1
Arsénico	50	25
Cobre	5-120 (según TH agua)	25
Cromo IV	5	5
Cromo total	50	No aplicable
Selenio	1	10
Zinc	30-500 (según TH agua)	60

Cianuros totales	40	No aplicable
Fluoruros	1.700	No aplicable
Clorobenceno	20	No aplicable
Diclorobenceno (suma 3 isómeros)	20	No aplicable
Metolcloro	1	No aplicable

Fuente: elaboración propia.

Otra cuestión relevante es la Directiva 204/101/UE que estableció en su momento la publicación periódica de *listas de observación* de sustancias candidatas a convertirse en prioritarias, tras un determinado tiempo de contrastación de niveles mediante los correspondientes estudios tanto de laboratorio como de campo. La última edición de este documento está fechada en el 5 de junio del 2018, (Decisión de Ejecución (UE) 2018/840 Comisión Europea) e incluye las siguientes: alfa-etinilestradiol y beta-estradiol (como hormonas), antibióticos macrólidos (eritromicina, claritromicina y azitromicina), amoxicilina y ciprofloxacina (como fármacos) y metiocarb, mataflumizona y neonicotinoides (imidacloprid, tiacloprid, tiametoxam, clotianidina y acetamiprid) (como sustancias insecticidas).

El papel de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) en el saneamiento urbano

Una EDAR es un filtro que elimina o limita la contaminación presente en las aguas residuales urbanas (Metcalf y Eddy, 2003; Marín Galvín, 2012), de lo contrario, el agua depurada podría incumplir las normativas sectoriales aplicables y sería capaz de provocar graves problemas ambientales. Además, la depuración de aguas residuales antes de su entrega al medio es obligatoria en toda la UE. Como introducción a este tema, según datos de la sectorial mayoritaria de aguas, la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamientos (AEAS), en España existen 1369 EDAR que depuraron 4097 hm³ (Encuesta nacional de 2018). De las cuales el 71 % dispone de tratamiento secundario y el 27 % de tratamiento terciario para eliminación de N y P. No existen EDAR especialmente preparadas *a priori* para eliminación de sustancias prioritarias ni preferentes.

Por otro lado, la emisión de contaminación de los saneamientos procede, según se comentó anteriormente, de aguas residuales domésticas, vertidos o aguas residuales industriales (los típicos vertidos al saneamiento o cauce público), fuentes difusas de aguas residuales de diverso origen, y vertidos ocasionales (Marín Galvín, 2012 y 2018a). De los cuatro focos emisores reseñados, sólo los vertidos industriales (AEAS, 2002) pueden ser sometidos a un eficaz sistema de seguimiento y control, el cual incluso permite al gestor del saneamiento, adelantarse en cierta medida, a prácticas lesivas para el propio sistema a través de la existencia de normativas de distinto nivel como las ordenanzas (municipales) y los reglamentos de vertidos (de superior ámbito territorial) (Ripollés Pascual *et al.*, 2008; Mantecón Pascual, 2012; Grupo de trabajo de vertidos industriales y laboratorio-comisión V AEAS, 2015) que disponen de medidas disciplinarias y coercitivas para evitar o minimizar estos eventos.

Asimismo, las aguas residuales albergan desde hace años una considerable y vasta variedad de compuestos químicos (calificados como compuestos emergentes), muchos refractarios a la depuración convencional biológica, cuyas fuentes, además de las actividades industriales históricamente ligadas a este aspecto, son la actividad doméstica del ciudadano, así como la denominada contaminación difusa (ver tabla 5) (Marín Galvín *et al.*, 2010; Marín Galvín, 2017; Álvarez-Torrellas *et al.*, 2017; López Serna *et al.*, 2018).

Tabla 5: *Compuestos químicos orgánicos encontrados en saneamientos españoles en los últimos 15 años.*

Organoclorados (aldrín, DDT, lindano, heptacloro, hexaclorobenceno)	Organofosforados (clorpirifos, clorfenvinfos, endosulfán, gliofosato)	Triazinas (atrazina, simazina, terbutilazina)	Carbamatos (zectrán, temik)
Orgánicos volátiles (diclorometano, cloroformo, benceno, etilbenceno, tolueno, xileno)	Alquilfenoles (nonilfenoles, octilfenoles, etoxilatos de octil y nonilfenoles)	Compuestos organometálicos (trifenil estaño, tributilestaño)	Fitosanitarios (diurón, isoproturón, pentaclorofenol)
Dioxinas, furanos, bifenilospoliclorados	Etil-éteres bromados,	Diversas drogas de abuso (cocaína, heroína,	Hidrocarburos aromáticos policíclicos

	f-talatos, amianto, cloroalcanos	crack, estimulantes – ritalina-, polvo de ángel –fenciclidina)	(fluoranteno, benzopireno , antraceno, fenantreno)
Hormonas sexuales (estrógenos, andrógenos) Etinilestradiol, androstenol, oxandrolona, nandrolona	Otros compuestos variados (cafeína, teína)	Restos de microplásticos	Ibuprofeno, diclofenaco, antibióticos, farmacéuticos

Fuente: elaboración propia.

Para limitar la llegada de compuestos emergentes a los saneamientos, no se cuenta en el caso de las aguas residuales domiciliarios con normativas aplicables que no invadan la privacidad del individuo, ni es probable que se cuente en un futuro con ellas. El intento de prohibir el desecho vía inodoro de ciertos elementos de empleo doméstico (por ejemplo, toallas higiénicas no biodegradables) no parece especialmente eficaz puesto que siempre quedará al buen criterio del ciudadano. Tampoco existe una forma eficiente de fiscalizar el desecho doméstico inadecuado de, por ejemplo, restos de medicamentos, restos de productos de limpieza, etc. En todo caso, para la contaminación domiciliar y difusa pueden considerarse varias actuaciones globales para atajar el problema, que ya se están poniendo en marcha en muchos saneamientos españoles (Bilbao, Murcia, Valencia, Córdoba, Sevilla, Oviedo, Barcelona) con, esta vez sí, aceptables resultados:

Fomentar la *concienciación ambiental de ciudadanos y empresas*. Se trata de potenciar el uso de productos comerciales cada vez más sostenibles, transmitiendo esta información de forma general, clara, sencilla y comprensible (Grupo de trabajo de vertidos industriales y laboratorio-comisión V de AEAS, 2012). Sin embargo, haría falta una *calificación ambiental de productos comerciales* (similar a la de eficiencia energética ya aplicada en aparatos electrodomésticos) que ofrezca pautas fiables y contrastadas tanto al consumidor como al industrial. De cualquier forma,

la nómina de productos sostenibles debe ir actualizándose de acuerdo al estado del arte en este tema.

Insistir en el uso correcto de los productos contaminantes. No abusando de ellos (abonado, fumigación, etc.) y abordando de una forma sostenible la gestión de sus residuos. De forma similar a la práctica en el sector agroalimentario, dosis más altas o aplicaciones más frecuentes que las recomendadas no garantizan mejores resultados. Especialmente, el ciudadano debe hacerse hincapié en emplear los productos con los criterios de uso recomendados, para no contaminar innecesariamente.

Reducción de contaminación en origen. Es decir, una progresiva sustitución en las formulaciones de los productos comerciales de las sustancias comprobadamente contaminantes, muy nocivas o refractarias a la depuración biológica, por otras que lo sean menos (vía reglamento reach u otros cauces similares), renovando continuamente estos productos en función del avance de la ciencia.

Dentro del apartado de reducir la contaminación en origen. Potencializando prácticas de predepuración de efluentes industriales antes de su vertido al saneamiento general, ya en el marco específico de las aguas residuales industriales. En este aspecto, las referidas normativas sectoriales aplicables sí suelen dar excelentes resultados (Mantecón Pascual, 2012).

No obstante, la situación habitual de los saneamientos y de las EDAR españolas (escenario probablemente compartido a escala mundial) es la de encontrarse con una matriz compleja, muy

variable en el tiempo en caudal y contaminación, de mínimo control para el gestor por anticipación, y sobre la que siempre hay que actuar para conseguir unos estándares de depuración establecidos *a posteriori* de los problemas que presente. Una vez recibidos los efluentes en la red de saneamiento, llegarán a la EDAR y afectarán su dinámica en mayor o menor medida.

Finalmente, otra cuestión crítica de nuestros saneamientos es el diseño y dimensionado de cada EDAR a partir de un escenario comprobadamente obsoleto y enfocado en la eliminación de contaminación convencional (sólidos, DBO₅, DQO, y en zonas sensibles, N y P) no del tipo de la contaminación emergente (prioritarias y preferentes) actualmente recibida. Otro aspecto crítico ya comentado es que las EDAR deben respetar los condicionados establecidos en sus autorizaciones de vertido, pues de lo contrario incurrirían en incumplimientos que podrían originar expedientes sancionadores con costos técnicos y económicos para el gestor.

La aplicación (*impropia*) de las normas de calidad ambiental a las aguas depuradas

De los comentarios extraídos de la normativa española, que establece las NCA, parece muy claro que estas tienen su campo de aplicación en los medios acuáticos libres (aguas continentales más o menos alteradas, según criterio de la propia Unión Europea) y no en las aguas depuradas que se regulan por otras normativas nacionales (Ley de Aguas y reglamentos que la desarrollan) bajo el formato de las autorizaciones de vertido (AV). En concreto, podría aplicarse tanto el Reglamento E-PRTR de emisiones al medio (RD 508/2007) y la Ley 5/2013, los cuales contemplan cargas asociadas a aguas depuradas (sin traslado restrictivo hasta ahora) y no concentraciones de sustancias. En todo caso, las EDAR españolas consiguen los rendimientos de

depuración establecidos, con valores medios en aguas depuradas de 14 mg/L de S_{SUSP} , 18 mg/L de DBO_5 y 48 mg/L de DQO, partiendo de un influente con 275, 303 y 618 mg/L, respectivamente, de S_{SUSP} , DBO_5 y DQO, es decir, cumplen con el escenario para el que fueron diseñadas y construidas (AEAS, 2018).

Evidentemente, cualquier agua depurada afecta al medio que la recibe. Por ello, el RD 817/2015 establece las *zonas de mezcla* como aquellas adyacentes a un punto de vertido, donde las concentraciones de los diferentes constituyentes del mismo pueden no corresponder al régimen de mezcla completa de efluente y medio receptor. Dentro de una zona de mezcla, las concentraciones de una o más sustancias podrán superar las NCA siempre que el resto de la masa de agua superficial siga cumpliendo dichas normas. Así lo establece la Guía sobre zonas de mezcla de la Comisión Europea elaborada en 2010. Consecuentemente, la situación real hoy en día con respecto a NCA y aguas depuradas en España es la siguiente (Marín Galvín, 2015; Marín Galvín, 2018b):

- ❑ Se da un traslado casi general de los valores de prioritarias y preferentes de las NCA a las AV. Con relación a esto se debe señalar que muchos niveles paramétricos de sustancias en las NCA son aún más restrictivos que los considerados para agua de consumo humano.
- ❑ En muchos casos se prohíbe el vertido de sustancias no especificadas en las AV, que sólo contemplan el *vertido de parámetros característicos de la actividad* (¿Qué actividad?). Este punto tiene poco sentido, puesto que es sencillamente algo imposible de cumplir por parte del explotador, ya que los vertidos domésticos, aguas de escorrentías urbanas y contaminación difusa que llegan a las EDAR contienen sustancias imprevisibles, a libre disposición en el mercado y con un uso totalmente volitivo.
- ❑ En general, los valores de emisión para sustancias prioritarias y preferentes no aplican casi en ningún caso zonas de mezcla, sino directamente los recogidos en las NCA

como límites máximos.

□ En algunas AV se aplican niveles paramétricos para metales pesados (Pb, Se, Zn, Hg, Ni, Cr y Cu) más exigentes que los de las NCA, cuando no es raro que las propias aguas naturales pudieran contener niveles en origen más altos, e incluso que procedan de las propias aguas de grifo empleadas. Por ejemplo, el caso del Se en aguas de la Meseta Central española.

□ No obstante, afortunadamente hay algunas excepciones que cumplen con el objetivo de la norma: el caso del País Vasco (Agencia Vasca del Agua-URA) donde se explicita que las NCA se deben alcanzar en el medio receptor y no en el vertido.

Con lo aportado más arriba surgen algunos interrogantes: ¿Se alarman innecesariamente los explotadores por la aplicación de la administración de los niveles establecidos en las NCA, cuya infracción supone gravosos expedientes sancionadores? Puesto que las EDAR no están diseñadas para eliminar sustancias prioritarias ni preferentes contenidas en el agua residual. Además, varias sustancias recogidas en las NCA presentan niveles más bajos que los de las aguas de consumo, con lo cual la propia agua potable puede actuar *contaminando* el saneamiento.

¿Están preparadas las EDAR españolas para reducir sustancias a las tasas exigidas en las NCA? (Este comentario podría extenderse a las EDAR europeas), puede que no. Y como justificación en la tabla 6 se presentan las tasas medias de reducción de varias prioritarias y preferentes en EDAR convencionales. Una concentración en agua bruta relativamente alta (ocasional o permanente, y nunca previsible), o bien un rendimiento de reducción del compuesto muy bajo, comprometería la consecución de la NCA correspondiente para una EDAR concreta y acarrearía consecuencias para el gestor.

Tabla 6: Reducción de compuestos químicos emergentes en EDAR españolas.

Compuestos químicos	% de reducción en EDAR biológica
Bencenos e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	
Bencenos	60% a 96%
Naftaleno	69% a 95%
Fluoratenos	66% a 97%
Antraceno	32% a 80%
Benzo(a)pireno, indenopireno	50% a 78%
Benzo(g,h,i)perileno	56% a 62%
Benzo(b)fluoranteno	59% a 76%
<i>Halógenos orgánicos (AOX)</i>	
AOX	60% a 80%
Clorobencenos y clorofenoles	
1,2,5-triclorobenceno	≈98%
Hexaclorobenceno	70% a 90%
Clorofenol	≈85%
Pentaclorofenol	≈85%
Compuestos clorados alifáticos	
Diclorometano, diclorobromometano, dibromoclorometano	≈60%
Cloroformo	51% a 93%
Dicloroetano	≈94%
Plaguicidas y fitosanitarios	
Hexaclorociclohexano, etión, metil y etil paratión	40% a 84%
Lindano	32% a 94%
Isoproturon, diurón, alacloro, heptacloro	<10%
Simazina, atrazina	<40%
Prometrina, propazina, terbutrina, ametrina	40% a 70%
Clorpirifón, clorfenvinfós	<10% a 80%
Endosulfán I y II	46% a 95%
Disruptores endocrinos	
Nonilfenoles, octilfenoles	32% a 95%
Dietilhexil-ftalatos	50% a 95%
Difenil-éteres bromados	>90%
Fármacos y medicamentos	
Diclofenaco	21% a 40%
Carbamazepina	<10%

Fuente: elaboración propia basado en Marín Galvín (2018b).

A pesar de todo, un reciente estudio llevado a cabo por la Organización de Consumidores de España (OCU), en colaboración con AEAS en 2016, demostró que la situación de las aguas depuradas en nuestro país, a pesar de todo, es bastante buena, véase la tabla 7, sólo se detectaron niveles reseñables del antibiótico azitromicina ligados a aguas hospitalarias.

Si valoramos por un lado la falta de rigor normativo (por parte de la administración) al exigir el cumplimiento de las NCA en aguas depuradas, y por otro el coste de adaptación de las EDAR a estas (en muchos casos supondría duplicar las instalaciones originales, y esto a costa del ciudadano, no se contempla en ningún caso financiación pública). Podría abordarse el desarrollo lógico de las zonas de mezcla bajo dos prismas. La primera: no restringir la emisión de sustancias que no afecten a la calidad del medio receptor (a veces 50 m aguas abajo del vertido). La segunda: aplicar un balance de masas.

Tabla 7: Calidad de las aguas residuales de grandes EDAR españolas.

	<i>Máximos</i>	<i>Medias</i>		<i>Máximos</i>	<i>Medias</i>
<i>Parámetro</i>	<i>Resultado mg/L</i>		<i>Parámetro</i>	<i>Resultado mg/L</i>	
Plaguicidas organoclorados			Fármacos		
a-HCH	0,0015	0,0015	Azitromicina	24,31	10,33
Aldrín	No detectado	No detectado	Carbamazepina	0,30	0,22
b-HCH, d-HCH	No detectado	No detectado	Diclofenaco	1,72	1,07
Dieldrín	0,00118	0,0018	Eritromicina	0,17	0,13
Endosulfán I, endosulfán II	No detectado	No detectado	Ibuprofeno	0,26	0,26
Endrín	No detectado	No detectado	Ketoprofeno	0,93	0,54
Heptacloro	No detectado	No detectado	Naproxeno	0,53	0,38
Heptacloro epóxido	No detectado	No detectado	Roxitromicina	No detectado	No detectado
Hexaclorobenceno, pentaclorobenceno	No detectado	No detectado	Sulfametoxazol	0,86	0,45
Isodrín	No detectado	No detectado	Sulfatiazol	0,04	0,04
Lindano	0,0288	0,0151	Trimetoprim	0,41	0,21
o-p'-DDT, op-p'-DDT	No detectado	No detectado	Alquilfenoles		
Plaguicidas organonitrogenados			4-tert-octilfenol	0,01	0,09
Terbutrina	No detectado	No detectado	Nonilfenol	0,52	0,23
Otros plaguicidas			Piretrinas		

Dicofol	0,0046	0,0046	Cipermetrina I	No detectado	No detectado
Hexabromodoclododecano	No detectado	No detectado	Cipermetrina II	No detectado	No detectado
Quinoxifeno	No detectado	No detectado	Cipermetrina III	No detectado	No detectado
Trifuralina	No detectado	No detectado	Cipermetrina IV	No detectado	No detectado

Fuente: elaboración propia basado en OCU (2016).

Para el balance de masas, como bases de partida, tómense la relación entre caudal del cauce receptor y caudal del vertido depurado, y los niveles de las NCA aplicables y los que realmente se miden en el cauce. Así, por ejemplo, considérese un cauce natural con una concentración media de contaminante dada, al cual se vierte agua depurada de una EDAR de la zona. Un primer factor corrector podría salir de la diferencia entre nivel de contaminante en el cauce y el recogido en las NCA: $(C_{\text{PRIMARIA}}) = (C_{\text{NCA}} - C_{\text{CAUCE}})$. Si C_{CAUCE} fuese superior a C_{NCA} , la C_{PRIMARIA} podría quedar inalterada.

Aplicando la idea de *zonas de mezcla*, calculemos un coeficiente corrector que incrementase el valor establecido en las NCA para el agua depurada, por lo que la concentración de compuesto en la autorización de vertidos ($C_{\text{AUTORIZACIÓN}}$) podría responder a la expresión, $(C_{\text{AUTORIZACIÓN}}) = (C_{\text{PRIMARIA}} \times F_1)$. Para el cálculo de F_1 apliquemos una relación entre caudal del cauce y caudal de vertido autorizado de la EDAR. Con un criterio de alto respeto ambiental, considérese el caudal mínimo del cauce. Entonces, el factor de mayoración quedaría como: $F_1 = [Q_{\text{MÍNIMO CAUCE}} / Q_{\text{AUTORIZADO EDAR}}]$. En el caso de que el caudal del medio receptor fuese inferior al volumen de vertido de la EDAR, el factor valdría la unidad.

Además, si se supone que la EDAR evacua a una zona sujeta a alguna figura de protección ambiental (lo cual en realidad, no se halla recogido en la normativa) podría aplicarse un segundo factor corrector F_2 , en este caso inferior a la unidad: p. e., un valor de compromiso de 0,5 que implicaría reducir a la mitad la concentración admisible de compuesto en un primer momento. Con ello la concentración final de compuesto en la autorización de vertidos podría ser: $(C_{\text{AUTORIZACIÓN}})=(C_{\text{PRIMARIA}}\times F_1\times F_2)$. Finalmente, podría aplicarse la salvaguarda de que la concentración admitida no fuese superior, por ejemplo, al doble o triple del límite de las NCA.

Planteado lo anterior, sea la cuenca del río Guadalquivir y el vertido de una EDAR municipal al mismo. El nivel medio de simazina (sustancia prioritaria) en el cauce es de $0,04 \mu\text{g/L}$, y el fijado en las NCA es $1,0 \mu\text{g/L}$. Además, el $Q_{\text{MÍNIMO CAUCE}}$ en la zona es de $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras el $Q_{\text{AUTORIZADO EDAR}}$ es de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Consecuentemente, la C_{SIMAZINA} en la autorización de vertidos podría cifrarse en $2,88 \mu\text{g/L}$.

Asimismo, si la zona tuviese alguna figura de protección ambiental y se aplicase el factor definido más arriba al efecto, la concentración de simazina podría cifrarse en $1,44 \mu\text{g/L}$. Con la salvaguarda enunciada al principio, la concentración definitivamente admitida en la AV podría estar entre $2,00 \mu\text{g/L}$ y $3,00 \mu\text{g/L}$ (en NCA, $1,0 \mu\text{g/L}$), garantizando así unos niveles de protección ambiental robustos y justificables objetivamente, tras dilución con el resto de la masa de agua existente en el cauce que recibe el vertido depurado.

Otros ejemplos (Marín Galvín, 2015) arrojan niveles aplicables para atrazina (sustancia prioritaria) en el cauce del río Guadalquivir a su paso por Córdoba (España) entre $1,2 \mu\text{g/L}$ y $1,8 \mu\text{g/L}$ (en NCA, $0,6 \mu\text{g/L}$), y para una sustancia preferente (terbutilazina) en las mismas condiciones y escenario oscilando entre $2 \mu\text{g/L}$ y $3,0 \mu\text{g/L}$ (en NCA, $1,0 \mu\text{g/L}$). Estos valores en salida de

EDAR supondrían que la masa de agua en el cauce libre tras la mezcla con el agua depurada pudiese cumplir la norma de calidad ambiental aplicable.

Conclusiones

Para alcanzar la sostenibilidad ambiental en el agua continental es necesario actuar en varios frentes interconectados y en absoluto excluyentes: concienciar ambientalmente a ciudadanos y a empresas, favoreciendo la venta de los productos comerciales cada vez más sostenibles y con un uso adecuado, que incluyen también con prácticas sostenibles para la gestión de sus residuos asociados. Propiciando así la reducción de contaminación en origen, es decir, la progresiva sustitución de sustancias comprobadamente contaminantes, nocivas o refractarias a la depuración biológica, en las formulaciones de los productos de comerciales, por otras que lo sean menos. Para alcanzar la sostenibilidad es necesario *predepurar* efluentes industriales antes de su vertido al saneamiento general, ya en el marco específico de las aguas residuales industriales.

En el apartado de las aguas residuales urbanas, la aplicación directa de las normas de calidad ambiental no está soportada en la normativa vigente, lo que conlleva a un colapso, tanto técnico como económico, indeseado de las EDAR españolas actualmente operativas (que funcionan eficientemente, con los criterios que realmente serían los exigibles).

La responsabilidad de los gestores de los saneamientos sólo es una parte minoritaria del problema (no todo el problema). Este radica en los usos y rutinas aceptados por la propia sociedad. No obstante, la situación actual con relación a la presencia de compuestos emergentes en las aguas depuradas en España no llega a ser ciertamente preocupante en general.

Para abordar esta cuestión, se puede planear una aplicación coherente de las normas de calidad ambiental basadas en el desarrollo del principio de zonas de mezcla establecido en la normativa vigente y desarrollado por la propia Unión Europea, considerando así todos aquellos mecanismos que nos puedan garantizar el máximo respeto ambiental, para preservar los medios acuáticos libres, pero en base a criterios robustos y objetivables. Si esta acción se aúna a una concienciación ciudadana colectiva enfocada a la sostenibilidad, y con una aplicación coherente del Reach para la preparación de productos comerciales, nuestras aguas libres mejorarán sin duda en su estado químico y potencial ecológico.

Bibliografía

AEAS (Asociación Española de Abastecimiento de Aguas y Saneamiento) (2002). *Aguas residuales industriales. Origen, caracterización y efectos sobre las instalaciones públicas de saneamiento y depuración*. Madrid.

AEAS (Asociación Española de Abastecimiento de Aguas y Saneamiento) (2018). *Encuesta sobre Suministro de Agua Potable y Saneamiento en España*. Madrid.

Álvarez-Torrellas, S., Ovejero, G. y García Rodríguez, J. (2017). Eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales. *Investigaciónyciencia.es* (485), 12-14.

Comisión Europea (2010). *Orientaciones técnicas para la identificación de las zonas de mezcla en aplicación de lo dispuesto en el artículo 4, apartado 4*. Directiva 2008/105/CE.

Directiva 2014/101/UE de la Comisión (30 de octubre, 2014). Sobre normas de calidad ambiental, modificando parcialmente la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 diciembre de 2008.

Grupo de trabajo de vertidos industriales y laboratorio-comisión V de AEAS (2012). *Manual de buenas prácticas urbanas en sistemas de saneamiento públicos*. Actas del Congreso Nacional de Medio Ambiente, Madrid.

Grupo de trabajo de vertidos industriales y laboratorio-comisión V de AEAS (2015). *Informe sobre definición de límites paramétricos para aguas depuradas en las autorizaciones de vertido a cauce*. Dirigido al Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

López Serna, R., *et al.* (2018). *Tratamiento de contaminantes emergentes en sistemas de tratamiento de aguas residuales y lodos*. Actas del III Congreso Español de Tratamiento de Agua, 1-4.

Mantecón Pascual, R. (2012). *Manual técnico para el control e inspección de redes de saneamiento (libre descarga desde internet)*, Vol.1-2 y Anexos. Barcelona: edición del autor.

Marín Galvín, R. (2012). *Procesos fisicoquímicos en depuración de aguas*. Madrid: Ed. Díaz de Santos.

Marín Galvín, R. (2015). Reflexiones sobre el panorama actual de la aplicación de las normas de calidad ambiental a las EDAR españolas. *TecnoAqua*, 14, 102-110.

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. (2018a). Tipología de los vertidos a los saneamientos públicos. *Tecnoaqua*, 30, 34-45.

Marín Galvín, R. (2018b). Hacia el buen estado químico en nuestras aguas continentales: ¿Sólo las EDAR son responsables del mismo? Actas del X Simposio del Agua en Andalucía, Libro II, 443-453.

Marín Galvín, R., Mantecón Pascual, R., González Canal, Í., Ripollés Pascual, F., Santateresa Forcada, E. y Navarro, J. (2010). Impactos de la contaminación de origen doméstico y no industrial sobre los *SISP*. *Infoenviro*, 58, 103-110.

Metcalf y Eddy. (2003). *Wastewater Engineering* (4th ed.). New York: McGraw Hill.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (España) (2015). Real Decreto 817/2015 sobre normas de calidad ambiental, BOE nº 219 de 12-9-2015.

OCU (julio-agosto, 2016). La salud de nuestros ríos en riesgo. *Compra Maestra*, 416.

Ripollés Pascual, F., Martínez E. y Mantecón Pascual, R. (2008). *Guía práctica de actuación en materia de inspección de vertidos a redes de saneamiento*. Actas XXVIII. Jornadas Técnicas AEAS, Zaragoza, 237-249.