

Tecnologías de regeneración a aplicar en función de los usos establecidos en el Real Decreto 1620/2007 sobre reutilización de aguas depuradas

Raquel Iglesias Esteban

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)
Raquel.Iglesias@cedex.es

INTRODUCCIÓN

Para la reutilización del agua residual depurada es necesario, en la mayoría de los casos, someterla a un tratamiento adicional que permita adecuar su calidad al uso.

El Real Decreto 1620/2007, de 7 diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas¹, define los criterios de calidad de las aguas regeneradas según el uso, estableciendo 14 calidades diferentes, agrupadas en 5 grandes tipos de uso: urbanos, riego agrícola, industriales, recreativos

y ambientales, Tabla 1. Para cada calidad se establecen los valores mínimos aceptables respecto a los siguientes parámetros: huevos de nematodos intestinales, *Escherichia coli*, sólidos en suspensión y turbidez. Además se han incluido como parámetros adicionales: a) *Legionella* spp en el uso de refrigeración industrial o en aquellos casos en que se prevea riesgo de aerosoles, en consonancia con el Real Decreto 865/2003²; b) *Taenia saginata* y *Taenia solium*, en el caso de riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne; c) Fósforo total en los usos ambientales y recreativos (estanques, láminas de agua y caudales circulantes); d) Nitrógeno total en el caso de recarga de acuíferos.

Tabla 1. Criterios de calidad para la reutilización de efluentes depurados. Valores máximos admisibles (Real Decreto 1620/2007, diciembre 2007)

USOS	Valores Máximos Admisibles (VMA)										
	Parámetros generales				Otros criterios						
	Nematodos	E. coli	SS	Turbidez	LEG	SP	Patógenos	TA	Pt	Nt	NO ₂
Huevos/10L	UFC/100 mL	mg/L	UNT	UFC/L	µg/L	aus/pres	Huevos/L	mg P/L	mg N/L	mg/L	
1	URBANOS										
1.1	1	0	10	2	100	NCA					
1.2		200	20	10							
2	AGRICULTURA										
2.1	1	100	20	10	1000	NCA	Vigilancia	1			
2.2		1000	35	N/A	N/A						
2.3		10 000			100						
3	INDUSTRIALES										
3.1	N/A	10 000	35	15	100	NCA	Vigilancia				
		1000		N/A							
3.2	1	Ausencia	5	1	Ausencia						
4	RECREATIVOS										
4.1	1	200	20	10	100	NCA					
		Golf con riego localizado									
4.2	N/A	10 000	35	N/A	N/A						
5	AMBIENTALES										
5.1	N/A	1000	35	N/A	N/A	Ausencia				10	25
5.2	1	0	10								
5.3	N/A	N/A	35								
5.4	Otros (humedales, caudales ecológicos) A estudiar caso por caso										

NCA: normas de calidad ambiental
N/A: no se fija límite

SS: sólidos en suspensión
LEG: Legionella spp.

TA: Taenia saginata y solium
aus/pres: ausencia/presencia

Conviene resaltar la importancia que tiene el buen funcionamiento de la Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) en la eficacia y rendimiento de los tratamientos de regeneración posteriores. El deterioro de la calidad del efluente depurado y su variabilidad constituye la principal causa del mal funcionamiento de una Estación Regeneradora de Aguas (ERA). Se considera necesario asegurar un influente secundario que cumpla como mínimo y de forma regular la calidad establecida en la Directiva 91/271/CEE³.

Para trabajar a caudal constante y laminar las variaciones de calidad del efluente depurado, se recomienda la instalación de un tanque de homogenización a la entrada de la ERA. Esta medida ayuda al mejor funcionamiento de los tratamientos y permite dimensionar la ERA con un menor tamaño al no tener que hacerlo para caudal punta.

LÍNEAS DE TRATAMIENTO RECOMENDABLES SEGÚN LOS USOS ESTABLECIDOS

La selección del tratamiento de regeneración adecuado para conseguir la calidad exigida en cada caso, constituye uno de los aspectos más importantes en la planificación de un sistema de reutilización. Debido a la gran variedad de tratamientos existentes y sus diferencias en cuanto a rendimientos, fiabilidad y costes, el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marítimo (MMARM), encomendó al CEH-CEDEX, en el marco de los trabajos de preparación del Plan Nacional de Reutilización, la realización de un "Estudio sobre Tecnologías de Regeneración" cuyo principal objetivo era conocer la eficacia real de los distintos tratamientos implantados en España frente a la normativa establecida y unos costes orientativos de inversión y explotación de estos sistemas. Este estudio ha servido tanto para desarrollar parte de la Guía para la aplicación del RD1620/2007⁴ como la Guía técnica para la caracterización de medidas a incluir en los Planes Hidrológicos de Cuenca⁵.

En el estudio colaboraron entre otros la DGA del MMARM, de la Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento (AEAS) o del Asociación Tecnológica para el Tratamiento del Agua (ATTA), y los datos fueron cedidos por las principales entidades explotadoras de sistemas de reutilización: ACOSOL, Agencia Catalana del Agua, Ayuntamiento de Madrid, BALTEN, Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, Consorcio de la Costa Brava, Área Metropolitana de Barcelona, Empresa Municipal de Aguas de Málaga, Empresa Municipal de Aguas de Palma de Mallorca, ESAMUR y EPSAR.

Con estos datos y el consenso de los participantes, se propusieron unas líneas de tratamiento que aseguraran las calidades establecidas en el RD 1620/2007, lo que no significa, que haya otro tipo de líneas también válidas que incluyan, por ejemplo, tratamientos de tipo extensivo. Independientemente a lo propuesto, para seleccionar el tratamiento más adecuado, deben analizarse en profundidad las características específicas correspondientes a cada caso.

En la Tabla 2 se establecen 6 tipos de calidad (A, B, C, D, E y F), teniendo en cuenta fundamentalmente los límites indicados respecto a *Escherichia coli*, nematodos intestinales y *Legionella* spp. Hay que tener en cuenta que para la calidad F, que se refiere a la exigida para otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos, etc.) no es posible establecer límites ya que estos deberán ser determinados en cada caso por el organismo de cuenca. También hay que considerar la existencia de tres usos en los que se limitan el nitrógeno o el fósforo, que exigirán un tratamiento en la EDAR que incluya eliminación biológica de estos nutrientes o uno complementario en la ERA por precipitación química en el caso del fósforo. Estos usos son: a) los estanques, masas de agua y caudales circulantes ($PT < 2 \text{ mg P/L}$); b) la recarga de acuíferos bien por percolación localizada a través del terreno, bien por inyección directa (en ambos casos $NT < 10 \text{ mg/L}$ y $NO_3 < 25 \text{ mg/L}$).

La propuesta del tipo de tratamiento se presenta separando los casos en que no se necesita eliminar sales y los casos en que es necesario, Tablas 3 y 4. En el caso de precisar desalación se proponen las tecnologías de osmosis inversa (OI) y electrodiálisis reversible (EDR) aunque existen usos como la recarga directa de acuíferos que se recomienda el uso de OI para asegurar una alta calidad y no necesariamente para la eliminación de sales.

Hay que reseñar que todos los tratamientos propuestos se basan en un concepto multibarrera, es decir, varios tratamientos en serie que consiguen independientemente diferentes grados de regeneración y que sirven de barrera de control frente al siguiente. Además, hay que tener presente, que el tratamiento de desinfección es el principal a efectos de cumplir con la legislación vigente por lo que condicionará el resto de tratamientos de la línea. Para asegurar esta desinfección en todos los tipos de tratamiento se ha propuesto una desinfección de mantenimiento mediante hipoclorito, de 0,1 a 0,2 mg/L de cloro libre, con el objeto de llegar con la calidad marcada por la normativa a los puntos de uso, evitando así, su deterioro y el mantenimiento de la red de distribución.

Tabla 2. Usos establecidos en el RD 1620/2007 agrupados en función de la calidad bacteriológica

USOS		Calidad	E. coli UFC/100 mL	Nematodos Huevos/10 L	Legionella UFC/100 mL
Industrial 3.2 a)	Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	A	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Urbano 1.1 a) y b)	Riego de jardines privados Descarga de aparatos sanitarios		Ausencia	< 1	< 100
Ambiental 5.2 a)	Recarga de acuíferos por inyección directa		Ausencia	< 1	No se fija límite
Urbano 1.2 a), b), c), d) Agrícola 2.1 a) Recreativo 4.1 a)	Servicios urbanos, sistemas contra incendios y lavado de vehículos Riego agrícola sin restricciones Riego de campos de golf	B	< 100 - 200	< 1	< 100
Agrícola 2.2 a), b) y c) Industrial 3.1 c)	Riego de productos agrícolas para consumo humano no en fresco Riego de pastos para animales productores Acuicultura Aguas de proceso y limpieza	C	< 1000	< 1	No se fija límite
Ambiental 5.1 a)	Recarga de acuíferos por percolación a través del terreno		< 1000	No se fija límite	No se fija límite
Agrícola 2.3 a), b) y c) Industrial 3.1)	Riego de cultivos leñosos sin contacto con los frutos Riego de cultivos de flores, viveros e invernaderos sin contacto con producción Riego de cultivos industriales no alimentarios Otros usos industriales no alimentarios	D	< 10 000	< 1	< 100
Recreativo 4.2 a)	Estanques, masas de agua y caudales ornamentales, con acceso impedido al público				
Ambiental 5.3 a) y b)	Riego de bosques y zonas verdes no accesibles al público Silvicultura	E	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite
Ambiental 5.4 a)	Mantenimiento de humedales, caudales mínimos	F	La calidad requerida se estudiará caso por caso		

Tabla 3. Propuesta de tipos de tratamiento en función de las distintas calidades establecidas sin tratamiento de desalación

TIPO DE CALIDAD	TIPO DE TRATAMIENTOS Y LÍNEA DE REGENERACIÓN	
	TIPO	SIN DESALACIÓN
A	1	Fisicoquímico con decantación ^[1] + Filtración+ Filtración con membrana ^[2] + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa) Un tratamiento fisicoquímico convencional con decantación + Filtración + desinfección combinada con rayos UV e hipoclorito, puede conseguir los límites establecidos para los parámetros biológicos (<i>E. coli</i> , <i>Legionella</i> spp y huevos de nematodos), pero tiene dificultades para conseguir 1-2 NTU de turbidez, lo que le inhabilita para este tipo de calidad, excepto en casos específicos en que la calidad del efluente depurado es muy alta. En el uso recarga directa de acuíferos se está implantando la línea 5a ^[3]
B	2	Fisicoquímico con decantación + Filtración+ Desinfección (tendencia a emplear rayos UV) + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)
C	3	Filtración + Desinfección (tendencia a emplear rayos UV) + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)
D		
E	4	Flitración ^[4]
F	-	En función de la calidad requerida en cada caso

^[1] Con efluente depurado de calidad constante se puede prescindir del tratamiento fisicoquímico con decantación.

^[2] Se utiliza mayoritariamente la ultrafiltración.

^[3] En la totalidad de las líneas estudiadas se incluye una OI para eliminar nitratos y posibles contaminantes prioritarios y emergentes.

^[4] La calidad requerida es la de efluente del secundario, pero es recomendable a efectos operativos de la red de distribución poner, al menos, una filtración.

Tabla 4. Propuesta de tipos de tratamiento en función de las distintas calidades establecidas con tratamiento de desalación

TIPO DE CALIDAD	TIPO DE TRATAMIENTOS Y LÍNEA DE REGENERACIÓN	
	TIPO	CON DESALACIÓN
TODAS	5a	Fisicoquímico con decantación ^[1] + Filtración + Filtración con membranas ^[2] + Desalación mediante OI + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)
B, C, D, E	5b	Fisicoquímico con decantación ^[1] + Filtración ^[3] + Desalación mediante EDR + Desinfección (tendencia a emplear rayos UV) + Desinfección de mantenimiento (normalmente ClONa)

^[1] Este pretratamiento a la membrana se incluye como barrera de protección ante posibles variaciones de calidad de influente.

^[2] Se utiliza mayoritariamente la ultrafiltración.

^[3] Se utiliza mayoritariamente doble filtración con recirculación de arena y limpieza en continuo.

En la mayoría de las EDAR y ERA el método más extendido de desinfección ha sido la adición de cloro. Este tipo de desinfección está siendo sustituido por radiación ultravioleta (UV), ozono (O₃) o combinaciones de distintos agentes como ClONa-UV o incluso UV-O₃ con objeto de evitar subproductos tipo trihalometanos, ampliar el espectro de actuación sobre diferentes tipos de microorganismos (virus, bacterias y protozoos) o eliminar diferentes sustancias contenidas en las normas de calidad ambiental (NCA), las cuales, hay que tenerlas en cuenta en la mayoría de los usos del RD 1620/2007 tal y como muestra la Tabla 1.

Existen estudios que demuestran y cuantifican la presencia de compuestos orgánicos (plaguicidas, disolventes, fármacos, hormonas, etc.) muchos de ellos refractarios a los tratamientos habituales de depuración. El Real Decreto 508/2007⁶ por el que se regula el E-PRTR como la Directiva Europea 2008/105/CE⁷ sobre sustancias prioritarias, marcan unos requerimientos respecto a determinadas sustancias cuya eliminación por los sistemas actuales no es eficaz. Esto hace prever que en el futuro los tratamientos de regeneración, tras una revisión de las autorizaciones de vertido por la nueva normativa, tengan también que eliminar parte de estas sustancias antes de poder hacer uso del agua.

En España existen ya varios ejemplos donde la ERA cuenta con procesos de oxidación avanzada (POA), que son los más indicados para eliminar este tipo de sustancias, del tipo peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta (H₂O₂/UV), ozono y radiación ultravioleta (UV/O₃) o incluso electro-oxidación.

COSTES DE IMPLANTACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

En la Tabla 5 se exponen los costes de los tipos de tratamiento recogidos en las Tablas 3 y 4. Los valores

se han obtenido en función de la información de las entidades gestoras y explotadoras de las principales comunidades autónomas donde se reutilizan las aguas regeneradas y de la experiencia propia.

En el caso de los costes de implantación se refieren a ejecución por contrata sin IVA. Respecto a los de explotación recogen los costes fijos (personal, análisis rutinarios, mantenimiento, gastos generales, etc.) y los costes variables (energía, reactivos químicos, reposición de fungibles, etc.) en ejecución por contrata sin IVA y sin amortización. No se incluye en la explotación todas las analíticas requeridas en el RD 1620/2007, por ejemplo huevos de nematodos, por estar la normativa en proceso de implantación en el momento que se realizó el estudio, en el año 2007.

En cuanto a la valoración del consumo energético, una vez estimado este en cada etapa, es necesario determinar un precio del kwh consumido. Los costes han sido calculados con un valor de 0,07 €/kwh. Conviene señalar que en estos últimos años el precio del kwh ha ido aumentando y está sometido a variaciones difícilmente previsible.

La contribución del consumo energético a los costes de explotación de los diferentes tipos de tratamiento recomendados oscila entre el 18 % y el 33 %, en consecuencia, cabe señalar que una variación del 50 % del precio de la energía con respecto al valor estimado supondría una modificación inferior al 20 % del total de los costes de explotación un porcentaje asumible dentro del marco de la planificación.

Tabla 5. Costes de implantación y explotación de los tipos de tratamiento propuestos

Tratamiento	Costes	
	Implantación	Explotación
	€/m ³ _{alimentación} /día	€/m ³ _{producto}
TIPO 1	164 – 351	0,14 – 0,20
TIPO 2 ^[1]	27 – 47	0,06 – 0,09
TIPO 3	9 – 22	0,04 – 0,07 ^[2]
TIPO 4	5 – 11	0,04 – 0,07
TIPO 5.a	259 – 458	0,35 – 0,45 ^[3]
TIPO 5.b	248 – 405	0,35 – 0,45 ^[4]

^[1] Este tratamiento se propone además para los usos industriales 3.1 a), b) y c) debido a la limitación que plantea el RD 1620/2007 en *E. coli* o en turbidez.

^[2] La influencia de la desinfección supone 0,005 €/m³_{producto}, no se aprecia con los decimales.

^[3] En los casos donde se pueda prescindir del fisicoquímico y filtración por arena, el rango podría bajar hasta los 0,30 – 0,40 €/m³_{producto}.

^[4] En los casos donde se pueda prescindir del fisicoquímico, el rango podría bajar hasta los 0,30 – 0,40 €/m³_{producto}.

BIBLIOGRAFÍA

1. Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE nº 294 de 8 de diciembre de 2007.
2. Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. BOE nº 171 de 18 de julio de 2013.
3. Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas nº L 135 de 30/05/1991 .
4. Guía para la aplicación del Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. MARM, 2010.
5. Guía técnica para la caracterización de medidas a incluir en los planes hidrológicos de cuenca. CEDEX, 2011.
6. Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas. BOE nº 96, de 21 de abril de 2007.
7. Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008 , relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE. DO L 348 de 24/12/2008.