

Potencialidades en la inspección y el control de vertidos al saneamiento público

Resumen y análisis del VI Encuentro sobre inspección y control de vertidos al saneamiento público - Memorial Rafael Mantecón Pascual

Rafael Marín Galvín, jefe de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (Emacsa)



Impulsados por el Grupo de Trabajo de Inspección de Vertidos Industriales y Laboratorio de la Comisión V de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamientos (AEAS), los denominados 'Encuentros sobre Inspección y Control de Vertidos al Saneamiento Público' han sido un foro en donde, desde 2007, se ha pasado revista a la situación en cada momento de uno de los tres pilares en que se basa la parte del ciclo integral del agua dedicado a las aguas residuales. Así, el pasado 22 de abril de 2021 y bajo modalidad telemática se llevó a cabo el VI Encuentro, organizado por Aguasresiduales.info con el apoyo decidido de AEAS y de Emacsa, así como de los más de 650 inscritos al mismo. Esta sexta edición ha estado dividida en dos partes. La primera, de contenido técnico, hizo hincapié en actualizar diversos aspectos de la inspección y el control de vertidos, explorando las potencialidades del control instrumental en continuo de vertidos, visualizando nuevas estrategias que aporten valor añadido a esta actividad y prestando atención a actividades industriales poco tratadas en otras ocasiones. En la segunda parte se hizo un sencillo homenaje a Rafael Mantecón Pascual, fallecido a finales del año pasado, reivindicando aspectos relevantes de su contribución al sector del agua en general y al control de vertidos en particular.



Recogiendo las palabras de Fernando Morcillo, presidente de la AEAS, los tres pilares que sustentan la parte del ciclo integral del agua correspondiente a las aguas residuales son: saneamiento y depuración, valorización de aguas depuradas y subproductos de depuración, y un adecuado sistema de inspección y control de vertidos que "proteja nuestros saneamientos, nuestras depuradoras y nuestras estaciones de regeneración de agresiones indeseables en forma de vertidos nocivos a todo el proceso ulterior".

En este sentido, el objetivo de los 'Encuentros sobre Inspección y Control de Vertidos' que se han ido celebrando desde 2007, el primero en Barcelona y bajo el impulso de nuestro compañero Rafael Mantecón Pascual y del Área Metropolitana de Barcelona (AMB, su empresa por antonomasia), ha sido testar cómo se va organizando, estructurando y llevando a cabo esta actividad, proponiendo en cada nueva edición formas y estrategias que la mejoren y la potencien dentro del sector de las aguas residuales en sus aspectos no solo técnicos, sino también administrativos, económicos y aun legales.

Dicho lo anterior a modo de breve introducción, el objetivo de este trabajo es informar al sector en particular, y a todos los interesados en el tema en general, acerca del desarrollo, temas abordados y conclusiones derivadas de la sexta edición del encuentro, que se desarrolló el pasado 22 de abril de 2021 vía telemática y en el que se rindió merecido homenaje al recientemente fallecido compañero Rafael Mantecón Pascual, que fue coordinador del Grupo de Trabajo de Inspección y Control de Vertidos de AEAS, presidente de la Comisión V de AEAS, e impulsor de estas jornadas que ya se han hecho clásicas para el sector (**Figura 1**).

DESARROLLO DEL ENCUENTRO

El evento, organizado por Aguasresiduales.info con la colaboración de AEAS (coordinación técnica) y de la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (Emacsa), contó con más de 650 inscritos. Hay que destacar la imprescindible colaboración de diferentes empresas y organismos públicos y privados que desarrollan labores relacionadas con el proceso de inspección y control de vertidos en todo el país, las cuales enviaron sus técnicos como ponentes al evento: Entidad de Saneamiento de la Región de Murcia (Esamur), Entitat de Sanejament d'Aigües (Epsar-Valencia), Empresa Metropolitana de Aguas de Sevilla (Emasesa), Canal de Isabel II de Madrid, Facsa de Castellón, FCC-Aqualia de Madrid, Eurofins-Iproma, Global Omnium de Valencia y Emacsa.

FIGURA 1. Cartel del VI Encuentro sobre inspección y control de vertidos a sistemas públicos de saneamiento. Memorial Rafael Mantecón Pascual.



La jornada se estructuró en formato de dos partes, la primera técnica y la segunda de homenaje a Rafael Mantecón Pascual. A destacar que, además de la participación de las empresas mencionadas en la parte puramente técnica del encuentro, en la segunda parte participaron Fernando Morcillo, presidente de AEAS, el Área Metropolitana de Barcelona, la Universidad de Barcelona, el Consorcio de Aguas del Besós-Torderá, Suez, el Consorcio de Aguas Bilbao-Bizkaia, Emalsa, J. Huesa Water Technology y el Ayuntamiento de Vitoria, contando con otros testimonios en forma de documentos audiovisuales que se visualizaron durante la jornada.

Debe destacarse, así mismo, que al principio del encuentro intervino la hija de Rafa Mantecón, María, que agradeció emocionada el reconocimiento llevado a cabo durante la jornada a la figura de su padre.

Ya en relación con las ponencias técnicas presentadas, estas trataron temas relevantes actualmente del control de vertidos, contándose al final con un debate y turno de preguntas moderado por Fernando Estévez Pastor, presidente de la Comisión V de AEAS. Se resumen a continuación los puntos más significativos tratados en cada una de las intervenciones llevadas a cabo por reputados expertos en la materia, al entender su interés para el sector.

Contaminación convencional, sustancias prioritarias y contaminantes emergentes en saneamientos públicos españoles

Con este mismo título se elaboró una ponencia clásica en las Jornadas de AEAS de 2009 y se publicó en *Tecnología del Agua* en 2009 un artículo del Grupo de Trabajo de Vertidos de AEAS con la situación detectada

TABLA 1			
COMPUESTOS DE PREOCUPACIÓN EMERGENTE EN NORMATIVAS EUROPEAS Y ESPAÑOLAS (FUENTE: LAHORA CANO, A.).			
Normativa	Sustancias	nº	Observaciones
Directiva 2000/60/CE Directiva 2008/105/CE Directiva 2013/39/UE Real Decreto 817/2105	NCA peligrosa prioritaria	26	Normas de calidad ambiental Directiva Marco del Agua
	Prioritaria	24	
	Otro contaminante	10	
	Preferente	16	
	Subtotal	76	
Decisión (UE) 2015/495, 2018/840 y 2020/1161	WL	10	Lista de observación Directiva Marco del Agua
Reglamento (CE) 166/2016 Real Decreto 508/2007 y modificaciones posteriores	E-PRTR	51 (89)	Protocolo de Kiev (2003)
Reglamento (CE) 850/2004	COP	15 (29)	Compuestos orgánicos persistentes Convenio de Estocolmo y Protocolo de Aarhus
Total		152	

entonces en las aguas residuales en nuestro país. Ahora, en la ponencia presentada por Agustín Lahora Cano, de Esamur, se recuerda el marco normativo aplicable, con la Directiva de Aguas Residuales 91/271 en curso de revisión actualmente, así como las conocidas Ordenanzas de Vertidos para saneamientos y las normativas sobre lodos de depuración para aprovechamiento agrícola.

Tras recordar la situación de los contaminantes de preocupación emergente (CPE) en los trabajos de 2009, se realiza una comparativa de algunos datos de contaminación convencional del agua residual entre 2009 y en la actualidad, destacando que lo más reseñable es un importante incremento de N, debido al mayor consumo de proteínas, al incremento de la aplicación de abonos y a un más alto uso de compuestos nitrogenados en productos de uso doméstico. Así, si los datos medios de 2009 hablaban de un contenido de 63 mg/L de N-Kjeldahl en el agua residual urbana, hoy se miden más de 80 mg/L según datos actuales suministrados por Emasesa y Esamur.

En relación ahora con los CPE, la **Tabla 1** presenta cómo ya se incluyen en la normativa europea y estatal bajo la denominación de sustancias prioritarias, prioritarias peligrosas, otros contaminantes o compuestos orgánicos persistentes. A destacar que la fórmula de las listas de observación de la UE (Watch List, 2015, 2018 y 2020) permiten la actualización de los CPE a lo largo del tiempo en función del estado del arte en cada momento.

Además, a los CPE se les presta atención desde la Directiva de Aguas Residuales actualmente en revisión, desde la Directiva de suelos y lodos (en preparación) y desde documentos de la UE relativos a productos farmacéuticos en el medio ambiente. A este respecto, la **Figura 2** recoge un resumen de los productos calificados como CPE que actualmente se tienen en cuenta en el medio acuático. Además, su influencia sobre el agua regenerada que después puede emplearse en reutilización puede visualizarse en la **Figura 3**. A esta información también debe añadirse el estudio y valoración de patógenos presentes como tales o a nivel de trazas genómicas (virus de la polio, SARS-COV-2, otros), de drogas de abuso, productos de uso veterinario o sustancias de habitual consumo en la población (caféina, nicotina).

Para la eliminación de toda esta serie de CPE en nuestras aguas residuales será necesario un importante esfuerzo técnico e inversor en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), con aplicación de técnicas de tratamiento terciario exigentes, tales como la desinfección, la oxidación avanzada, la ósmosis inversa y la nanofiltración.

Por último, los aportes de CPE al agua residual provienen de diferentes orígenes, industriales, domésticos, tormentas y escorrentías, así como de fenómenos de intrusión marina, y de aguas agrícolas o mineras. En todo este ámbito, la inspección y control de vertidos puede colaborar con todos los demás actores implicados en el sector del agua residual (empresas, administraciones, so-



FIGURA 2. Contaminantes de preocupación emergente. Fuente: Lahora Cano, A.

FÁRMACOS
 Más de 3.000 fármacos diferentes en la Unión Europea.
 Entrada al saneamiento (excreción, fármacos caducados, hospitales, etc.)
 Analgésicos, Antiinflamatorios, Antidepresivos, etc.

ANTIBIÓTICOS
 Hospitalario, doméstico, ganadero, piscícola
 Efectos directos sobre los ecosistemas acuáticos
 ARB Antibiotic Resistance Bacterias
 ARG Antibiotic Resistance Genes

DISRUPTORES ENDOCRINOS
 Hormonas sexuales femeninas del grupo de los esteroides. Activos a concentraciones de ng/l
 Pueden causar efectos negativos en el medio acuático, feminización y hermafroditismo en peces. Hormonas naturales, anticonceptivos: Estradiol, Estrona, Etinilestradiol (EE2)
 Organoclorados, alkilfenoles

FITOSANITARIOS
 Tóxicos para el medio acuático, inhiben nitrificación
 Fungicidas, pesticidas, herbicidas. Neonicotinoides, compuestos azólicos

OTRAS SUSTANCIAS
 Persistentes, móviles y bioacumulables
 PFAS, sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (enlace F-C)



FIGURA 3. Diversos contaminantes de preocupación emergente: patógenos y subproductos de desinfección de aguas. Fuente: Lahora Cano, A.

REGLAMENTO (UE) 2020/741 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO
 de 25 de mayo de 2020
 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua
 (Texto pertinente a efectos del EEE)



CONTROLES DE VALIDACIÓN

- *E. coli*
- Colifagos/colifagos F-específicos/colifagos somáticos/colifagos
- Esporas de *Clostridium perfringens*/ bacterias formadoras de esporas reductoras de sulfato
- *Campylobacter*, rotavirus y *Cryptosporidium*

REQUISITOS ADICIONALES

- a) metales pesados;
- b) plaguicidas;
- c) subproductos de la desinfección;
- d) productos farmacéuticos;
- e) otras sustancias de preocupación emergente los microcontaminantes y los microplásticos
- f) resistencia a los antimicrobianos.

SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN

PRINCIPALES DESINFECTANTES Y SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN FORMADOS.		
Desinfectante	DBP principal	Desinfección residual
Cloración (HOCl/OCl ⁻) (hipoclorito/cloro)	Trihalometanos y ácidos haloacéticos, cloratos	Sí
Dióxido de cloro (ClO ₂)	Clorito y clorato	No
Cloraminación (NH ₂ Cl)	Nitrosaminas, otros	Sí
Ácido peracético (CH ₃ CO ₂ H)	Ácido acético, aldehídos	No
Ozono (O ₃)	Aldehídos bromados, bromatos, otros	No
Radiación UV	No	No
Otros (oxidación avanzada, fotocátalisis)	Trihalometanos, cloratos	-

SUSTANCIAS QUE INTERFIEREN
 Colorantes interfieren desinfección UV.
 Siloxanos: contaminación del biogás. Cosméticos, impermeabilizantes, disolventes.

MICROPLÁSTICOS NANOMATERIALES

FIGURA 4. Efecto positivo del control de vertidos sobre el contenido de metales en fangos de depuración de EDAR de la Comunidad Valenciana y beneficio económico. Fuente: Escribano Romero, F.



ciudad en general) a fin de minimizar impactos contaminantes en redes de alcantarillado, favoreciendo un proceso de depuración más eficaz, la reutilización de aguas y subproductos de depuración con más alta seguridad toxicológica, rentabilizando la actividad y potenciando la economía circular en el ciclo integral del agua.

Epsar y el control de vertidos en la Comunidad Valenciana

Francisco Escribano Romero, de Epsar, comenzó su exposición indicando que en la Comunidad Valenciana se lleva a cabo la depuración de 446 hm³, de los que se reutilizan 156 hm³. En este sentido las entidades afectadas por el control de vertidos en la región son ayuntamientos, confederaciones hidrográficas, Consellería de Medio Ambiente, Seprona y policía autonómica.

Distribuidas por las EDAR, por los municipios de la Comunidad Valenciana y por las propias industrias, existe una red para control de vertidos. En el entorno de las EDAR está integrada por 617 estaciones de muestreo que toman 6.500 muestras/año, cuyo proceso rinde el análisis de 56.000 parámetros, lo que ha supuesto la detección de 3.500 incidencias/año. En realidad, el control de vertidos implantado se focaliza en aguas industriales, pero también en salmueras, camiones cuba y productos para codigestión, con un total estos últimos de 87.000 m³ y la producción de 4,5 millones de kWh.

A destacar que en el entorno municipal se aplican las preceptivas ordenanzas de vertidos que establecen procedimientos sancionadores ante vertidos fuera de norma y que cuentan con protocolos de actuación que facilitan la localización de posibles focos contaminantes, así como la resolución de los problemas de vertidos

detectados. Se cuenta con 1.200 estaciones de muestreo que controlan 19.000 empresas, con la toma de 3.000 muestras/año. Finalmente, en el entorno de las industrias se llevan a cabo 2.500-3.000 inspecciones/año.

Todo el proceso de control de vertidos y su efecto positivo sobre las redes de saneamiento puede visualizarse en la **Figura 4**, que abarca el período 2005-2017. Es interesante señalar que a medida que se fue profundizando en el control de vertidos, se redujo progresivamente la cantidad de fangos de depuradora con problemas de metales, desde más de 55 t/año en 2005 hasta 6 t/año en 2017, lo que ha supuesto un ahorro importante en gestión de fangos con problemas de metales (residuos peligrosos) y la optimización de su uso en agricultura, así como un ahorro total de 7.000.000 de euros/año para la empresa.

Como colofón de esta interesante exposición se hace una prospección sobre la realidad actual y futura de la inspección y control de vertidos, que pasa por la implantación de nuevas técnicas analíticas para la determinación de nuevos contaminantes, el control de patógenos (ejemplo el SARS-COV-2), la extensión del proceso hacia la digitalización y la telemática, con supresión del soporte en papel, la generalización de controles *on line* mediante sensores cada vez más específicos y la potenciación de redes de seguimiento de vertidos en tiempo real.

Prevención de riesgos laborales en inspección y control de vertidos

Para el ponente Miguel Ángel Doval Aguirre, de Emasesa, lo primero reseñable es la positividad derivada de trabajar con sistemas integrados de gestión que contemplen la norma UNE de Gestión de Seguridad y Salud

FIGURA 5. La seguridad y la prevención de riesgos en la inspección y control de vertidos. Fuente: Doval Aguirre, M.A.



en el trabajo 45001:2018. Ello supone la implicación de todos los miembros de la organización, no solo los dedicados a la actividad de control de vertidos, con la implantación de buenas prácticas, procedimientos de actuación reglados, evaluación de riesgos de lugares y puestos de trabajo y una acción preventiva encaminada a reducir los riesgos de la actividad y la ocurrencia de accidentes en la realización de la misma.

En este sentido, se pasó revista a los riesgos potenciales de la actividad con las medidas aplicables para minimizarlos, siendo los más frecuentes (**Figura 5**):

- Atropello o golpes con vehículo en el acceso a los puntos de muestreo.
- Sobreesfuerzos y lesiones musculares en manipulación de tapas de arquetas y similares.
- Caídas desde diferentes alturas en el acceso a pozos.
- Atmósferas no respirables o explosivas en el acceso a espacios confinados.
- Exposición a agentes químicos y biológicos (COVID) en tomas de muestras de vertidos.

En un apartado posterior se indicaron los equipos de protección individual aplicables a la inspección de vertidos, que se reseñan a continuación:

- Guantes de protección para riesgos químicos y biológicos (EN 374).
- Guantes para riesgos mecánicos (EN 388).
- Gafas de seguridad frente a salpicaduras (EN 166).
- Botas de seguridad (EN 345).
- Máscara con filtro mixto (EN 149).
- Ropa de protección ante agentes químicos (EN 465 tipo 5 y 6).
- Ropa de trabajo reflectante (EN 471).
- Ropa de protección contra el mal tiempo (EN 343).

Lógicamente, ahora deben aplicarse las medidas específicas implantadas durante el período de pandemia. Y, además, ha de prestarse atención al apartado de vigilancia de la salud (reconocimientos médicos, vacunaciones...), a la formación en prevención del personal y, finalmente, llevar a cabo las rutinas derivadas de la aplicación de la coordinación de actividades empresariales al concurrir más de una empresa en el proceso de control de vertidos. Con todo ello se conseguirá que la actividad sea lo más segura posible y con los menores riesgos asociados, tanto en general como para los trabajadores afectados en particular.



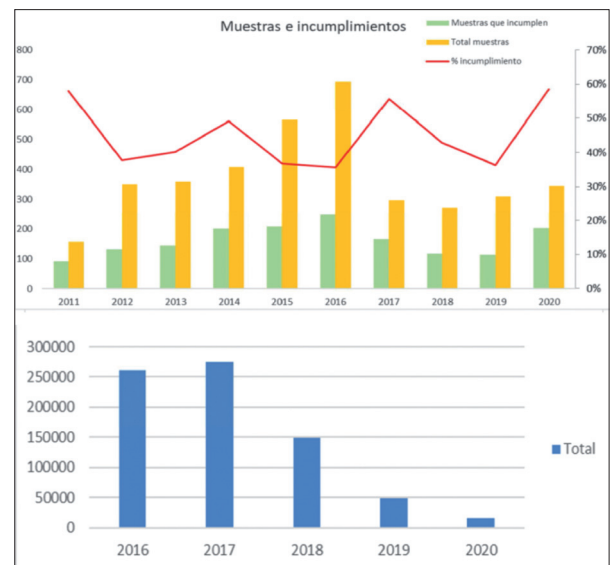
Control de vertidos: experiencia en Canal Isabel II

Según explicó Sergio López de la Casa, del Canal de Isabel II, en este caso el objetivo prioritario buscado es el de la detección temprana de vertidos que puedan afectar a la eficacia del proceso depurador llevado a cabo en las EDAR gestionadas por este operador. Según el ponente se lleva a cabo el seguimiento y control de 168 empresas potencialmente contaminantes, a las que se les aplica el coeficiente K para monetización de sus vertidos a las redes de saneamiento.

La actividad ha supuesto la detección anual de 496 eventos contaminantes, con 296 comunicaciones a empresas controladas, también a 43 ayuntamientos, así como a la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, con la investigación derivada al Seprona en 5 casos más graves. Esta exhaustiva labor de seguimiento ha hecho que en los últimos 10 años se mantenga el nivel de incumplimientos de la normativa vigente y que, pese a que se han incrementado las inspecciones de los vertidos depurados de las EDAR por parte del organismo de cuenca, se hayan reducido las sanciones y las cuantías aplicadas por incumplimientos, como se observa en la **Figura 6**.

Se finalizó la exposición indicando, por una parte, los logros del sistema aplicado que, aparte de los ya reseñados, son la reducción en el contenido en metales de los fangos de depuración, la mejora en los procesos depuradores seguidos en las EDAR y el incremento del número de empresas sometidas a seguimiento periódico. Y, por otro lado, se plantearon como retos a conseguir los de optimizar los protocolos de acceso en las tomas de muestras en interiores de empresas, la recuperación de costes de depuración en episodios de vertidos fuera de norma que afecten a las EDAR vía aplicación del coeficiente K o mediante valoración de daños y, finalmente, conseguir que se admita la validez de los resultados del

FIGURA 6. El control de vertidos en la Comunidad de Madrid. Arriba, incumplimientos; abajo, costes de sanciones por vertidos al medio. Fuente: López de la Casa, S.



Canal de Isabel II para incoar expedientes sancionadores con la repercusión del referido coeficiente K en las facturas a industrias ante incumplimientos comprobados.

Envasado de frutas. Vertidos de tratamientos postcosecha de cítricos

Ernesto Santateresa Forcada, de Facsa, explicó que, una vez recogida la fruta (especialmente los cítricos), esta experimenta un proceso acelerado de envejecimiento y degradación que se intenta remediar evitando la proliferación de hongos, reduciendo mermas de producto y manteniendo la calidad, fresca y aspecto de la fruta. Todo ello se consigue con la aplicación de ceras y fungicidas. En este sentido, la **Figura 7** presenta los productos más usados al respecto, así como las referencias europea y española que los validan.

El proceso referido más arriba utiliza un sistema específico, denominado Drencher, que emplea agua como medio vehicular para la aplicación de los fungicidas y tiene varias fases: almacenamiento y desverdizado, lavado y encerado. En estas fases, la concentración de fungicida en el agua varía sustancialmente: desde unos 3.000-400 mg/L en origen a 2,0-0,5 mg/L en aguas de lavado y hasta >10 mg/L en aguas tras encerado.

Como resumen de lo dicho, las características generales de este tipo de vertidos son: emisión estacional, ser poco detectables (bajos olor y color), producirse en descargas puntuales, el desconocimiento de principios activos realmente empleados y la obtención de resultados

FIGURA 7. Diferentes fungicidas empleados en postratamiento de cosecha de cítricos.

Fuente: Santateresa Forcada, E.

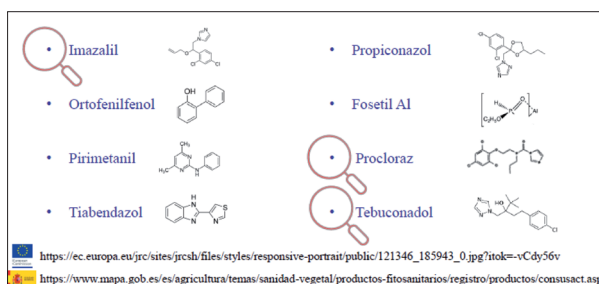


TABLA 2

ENSAYOS DE INHIBICIÓN DE TRES FUNGICIDAS TÍPICOS EN ENVASADO DE CÍTRICOS (FUENTE: SANTATERESA FORCADA, E.; INFOENVIRO Nº 53, ABRIL 2010). Nota: * Dilución de la muestra problema; ** Iz = imazalil, T = tiabendazol y O = ortofenilphenol.

Muestra	Fungicida (ppm)	RsMax (mg/L · h)			Inhibición (%)		
		Iz**	T**	O**	Iz**	T**	O**
D* 1/10	50	3,067	11,75	0	92,08	59,30	100
D* 1/20	25	23,360	12,863	13,133	39,69	55,44	88,53
D* 1/50	10	29,430	20,369	13,446	24,01	29,44	88,63
D* 1/100	5	31,244	21,784	20,639	19,33	24,54	82,40
D* 1/500	1	-	25,402	69,185	-	12,01	41,00
Referente	0	38,732	28,868	117,276	0	0	0

analíticos de su presencia con un importante período de demora lo que dificulta la toma de decisiones. Una vez llegan a la EDAR pueden provocar problemas de floculación en el fango activo y deficiencias de nitrificación.

Para clarificar la problemática generada se requiere para cada EDAR la colaboración de la administración y de las empresas del ramo, el conocimiento y transparencia sobre los productos empleados, la recogida de muestras y datos en depuradoras, así como finalmente estudios de toxicidad usando preferentemente técnicas respirométricas. Como ejemplo, la **Tabla 2** presenta un estudio práctico de inhibición para tres fungicidas de uso habitual en postcosecha de cítricos. Se puede comprobar que diferentes tasas de inhibición son provocadas por cada producto para diferentes concentraciones: así el ortofenilphenol es el que genera un mayor efecto con una menor concentración y el imazalil es el menos activo.

Como consecuencias prácticas, se deben exigir medidas correctoras al sector como facilitar las inspecciones periódicas, la apertura de expedientes para identificación de incumplimientos, la aprobación de sistemas de tratamiento específicos y la verificación de la efectividad conseguida. A modo de conclusión, y si bien las medidas propuestas no fueron en principio bien vistas por el sector industrial, este se va paulatinamente concienciando en su necesidad y parece detectarse una menor tasa de vertidos fuera de norma, sin que esto signifique una relajación en los seguimientos e inspecciones llevados a cabo.

Vertidos especiales: lixiviados de vertedero, hospitales, fosas sépticas, urinarios públicos

Para Fernando del Amo Pérez, de Aqualia, los denominados como vertidos especiales tienen muchas características comunes: caudales bajos, emisión discontinua y elevado contenido en contaminantes de preocu-

pación emergente legislados actualmente o en curso de legislación al respecto (plaguicidas, farmacéuticos, antibióticos, disolventes orgánicos, microorganismos patógenos...).

TABLA 3

CARACTERÍSTICAS DE LIXIVIADOS DE VERTEDEROS DE RSU Y EVOLUCIÓN CON EL TIEMPO DE MADURACIÓN (FUENTE: DEL AMO PÉREZ, F.; GUÍA TÉCNICA DE GESTIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES, 2015).

Parámetro (mg/L)	Vertedero nuevo	Vertedero antiguo
COT	6.000	80 - 160
DBO ₅	10.000	100 - 200
DQO	18.000	100 - 500
Alcalinidad (CaCO ₃)	3.000	200 - 1.000
Dureza total (CaCO ₃)	3.500	200 - 500
pH	6	6,6 - 7,5
Sólidos en suspensión	500	100 - 400
Nitrato	25	5 - 10
Nitrógeno amoniacal	200	20 - 40
Nitrógeno orgánico	200	80 - 120
Fósforo total	30	5 - 10
Ortofósforo	20	4 - 8
Calcio	1.000	100 - 400
Cloro	500	100 - 400
Hierro total	60	20 - 200
Magnesio	250	50 - 200
Potasio	300	50 - 400
Sodio	500	100 - 200
Sulfatos	300	20 - 50



En cuanto a los lixiviados de vertederos y según datos de 2017, se dispone en España de 116 instalaciones de este tipo que recogen más de 11,66 millones de t/año, y se pretende que el 55% de los residuos municipales se reciclen de algún modo en 2025. Una vez el residuo en el vertedero, las características del lixiviado dependen de su tipología, de la edad del vertedero y de la fase interna de descomposición biológica ácida y metanogénica posterior. La **Tabla 3** presenta las características de lixiviados en función del tiempo de maduración observándose la reducción de concentración de sustancias con el tiempo (*Guía Técnica de Gestión de Residuos Municipales* de 2015). Si se comparan los datos con el agua residual bruta de una EDAR su caudal es hasta 100 veces más bajo, mientras DQO, DBO₅ y amonio pueden ser entre 10 y 100 veces más altos. Finalmente, estas aguas residuales pueden tratarse mediante tratamientos fisicoquímicos y filtración por membranas, siendo importante llevar a cabo estudios de inhibición para testar su afección sobre las EDAR.

Respecto a los hospitales, estos generan una media de 750 L/cama/día de aguas residuales con elevada presencia de microorganismos, fármacos, productos de higiene personal, desinfectantes y productos radiactivos de corta vida media. La **Tabla 4** presenta una caracterización de aguas de procedencia hospitalaria frente a aguas residuales urbanas: a destacar niveles algo más altos en P y N en las primeras. La verdadera diferencia radica en la cantidad de fármacos que las aguas de hospitales contienen: antiinflamatorios, agentes de contraste de rayos X, reductores de colesterol, antibióticos, desinfectantes, anestésicos, beta-bloqueantes, estimulantes y drogas de uso médico (**Tabla 5**).

Para el tratamiento de estos vertidos se puede aplicar carbón activo, nanofiltración, coagulación-floculación, ozonización, cloración y tratamientos UV. También se pueden aplicar procesos biológicos aerobios y anaerobios, así como reactores tipo MBR. De cualquier forma, los potenciales tratamientos deben ser testados minuciosamente para comprobar la eliminación de compuestos tóxicos, así como de patógenos, antes de su ingreso en la red de saneamiento.

En cuanto a las fosas sépticas, son un sistema para el tratamiento primario (con algunas aportación biológica) de las aguas residuales domésticas. Su operativa la marca su diseño y su rendimiento es modesto, no alcanzando <100 mg/L de sólidos en suspensión, <210 mg/L de DBO₅ ni <420 mg/L de DQO en el efluente final. Para su recepción en las EDAR hay que evaluar si estas pueden

TABLA 4

COMPARATIVA DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS Y AGUAS RESIDUALES URBANAS. FUENTE: DEL AMO PÉREZ, F.

Parámetro (mg/L)	Agua residual hospitalaria	Agua residual urbana
pH	7,7 - 8,1	7,5 - 8,5
DBO ₅	300 - 400	200 - 300
DQO	800 - 1.000	600 - 800
SS	400 - 600	150 - 300
TKN	5 - 80	20 - 70
P total	0,2 - 13	4 - 10
Grasas y aceites	5 - 60	50 - 100
Surfactantes totales	3 - 7,2	4 - 8
<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	10 ³ - 10 ⁶	10 ⁶ - 10 ⁷
Coliformes fecales	10 ³ - 10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁸
Coliformes totales	10 ⁵ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹

tratar las cargas procedentes de una cantidad dada de fosas sépticas, puesto que se podría afectar la eliminación de N en la depuradora, e incrementar la aireación y la producción de fangos ante la recepción de caudales importantes de estos efluentes.

Para finalizar esta ponencia se habló de los baños portátiles o cabinas sanitarias móviles que cuentan con la norma UNE-EN16194 para su correcto uso. En ellos se emplean productos químicos para minimización de olores y ataque químico a los desechos fisiológicos. Entre estos se encuentran formaldehído (biocida), bronopol (biocida), limoneno y ácido cítrico (desodorizantes), todos ellos con mayor o menor impacto antimicrobiano frente al fango activo de las EDAR. Por ello, recientemente se emplean derivados de amonio cuaternario e incluso preparados microbianos o enzimáticos. En todo caso, las aguas residuales de estos elementos de aseo suelen ir directamente a la red de alcantarillado o a la propia EDAR.

Control analítico *on line* versus laboratorio

Félix Ripollés Pascual, de Eurofins Iproma, comenzó la exposición recordando el salto cuantitativo tan espectacular que han dado en los últimos decenios las técnicas de análisis aplicadas en aguas, desde los g/L de hace 40-50 años a los ng/L o inferiores actuales. En cuanto a la actividad, existen actualmente 1.113 expedientes de acreditación de laboratorios en nuestro país, así como 366 expedientes de entidades de control de aguas, sien-

TABLA 5

SUSTANCIAS FARMACÉUTICAS ENCONTRADAS EN AGUAS HOSPITALARIAS.
FUENTE: GONZÁLEZ CANAL, I. ET AL., TECNOAQUA, 29 (2018).

Principio activo	Valor (µg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Acetaminofen	65,57	< 0,10	4,36
Anfetamina	24,60	< 0,10	6,12
Atenolol	7,23	< 0,10	0,88
BE-benzoilecgonina	1,73	< 0,10	0,37
Bezafibrato	26,50	< 0,10	2,33
Bisoprolol	1,16	< 0,01	0,17
Cafeína	133,11	12,50	68,05
Carbamazepina	0,71	< 0,10	0,11
Cirpofloxacin	74,10	0,81	18,63
Cocaína	0,04	< 0,01	< 0,01
Codeína	0,46	< 0,01	0,12
Diclofenaco	6,08	< 0,10	0,35
Fenitoina	0,46	< 0,10	< 0,10
EDDP (metabolito de la metadona)	3,83	< 0,10	0,36
Enalapril	3,52	< 0,10	0,61
EPH	0,76	< 0,10	< 0,10
Eritromicina	37,31	< 0,10	1,87
Gemfibrozil	33,10	< 0,10	1,58
Ibuprofeno	17,10	< 0,10	6,69
Indometacina	0,23	< 0,10	< 0,10
Iomeprol	3.150,00	42,43	817,35
Desketoprofeno	16,42	1,30	7,43
Metadona	3,07	< 0,08	0,82
Naproxeno	4,60	< 0,10	0,73
Norfloxacina	9,22	< 0,10	1,64
OH-THC	4,00	< 0,10	1,49
PFBS	22,32	< 0,10	1,13
PFOA	268,12	< 0,10	21,26
PFOS	132,04	< 0,10	6,73
Propofol	0,48	< 0,10	0,13
Propanolol	16,70	< 0,10	4,68
Sulfametoxazol	11,30	< 0,10	2,56
Trimetropina	8,71	< 0,10	1,37

do importante contar con un laboratorio acreditado por la norma UNE-ISO 17025 a la hora de asegurar los resultados obtenidos. Dicho esto, se pasó revista a las técnicas analíticas usadas en control de aguas. Así para los análisis fisicoquímicos se emplean electrometrías, cromatografía iónica, espectrofotometría UV-visible, espectrofotometría IR, volumetrías, gravimetrías y turbidimetrías. Para metales, absorción atómica, fluorescencia atómica e ICP. Y para determinaciones microbiológicas, técnicas de cultivo, microscopía, técnicas rápidas e incluso PCR (**Figura 8**).

Además, para microcontaminantes orgánicos se emplean cromatografía de gases y cromatografía de líquidos, cada vez más con el concurso de la espectrometría de masas que las potencia y reduce significativamente los límites de detección y sensibilidades de los métodos analíticos. Finalmente existen otros análisis más específicos tales como AOX, COT, radiactividad, toxicidad e incluso determinación de indicadores biológicos e hidromorfológicos para testar el estado químico o potencial ecológico de las masas de agua libres.

Con respecto al control *on line* e *in situ*, la **Figura 9** presenta un resumen de las estrategias aplicadas. Muchos de estos equipos pueden incorporarse, además, a unidades móviles y automóviles para facilitar el control de vertidos. Aquí entran de pleno derecho los sistemas de medida de caudales que se complementan con sistemas audiovisuales para control de puntos de vertido y colectores que pueden accionarse secuencialmente o mediante alarmas conectadas a sondas paramétricas diversas. Las mediciones *on line* e *in situ* ofrecen resultados inmediatos, alarmas y avisos automáticos, registros en continuo, y permiten interconexión de equipos y la investigación de eventos de vertidos por su amplia trazabilidad.

Por el contrario, los sistemas *on line* presentan algunos inconvenientes: no contar con lugares preparados para su instalación, tratarse de espacios confina-



FIGURA 8. Técnicas analíticas aplicadas en control de aguas. Fuente: Ripollés Pascual, F.

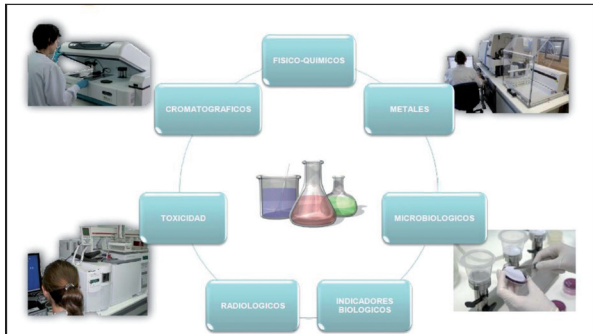
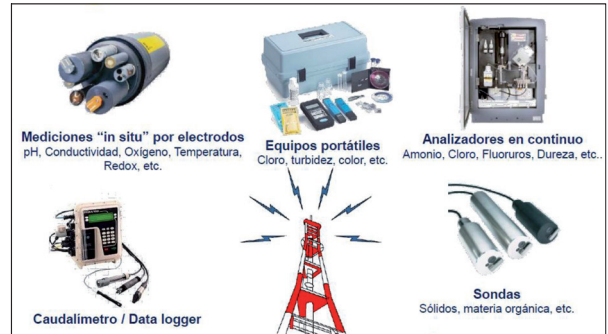


FIGURA 9. Controles *on line* y en continuo. Fuente: Ripollés Pascual, F.



dos, ensuciamiento frecuente de sondas, trabajo en ambientes agresivos, desbordamiento de colectores con arrastre de equipos, problemas de suministro eléctrico y transmisión de datos e, incluso, vandalismo.

Por su parte, las mediciones en laboratorio permiten determinar mayor número de parámetros, contar con condiciones controladas, trabajar con mejores límites de detección, obtener resultados más fiables analíticamente (acreditación y certificación de laboratorios), poder llevar a cabo contrastes siendo finalmente los informes que se emiten reconocidos por la administración hidráulica. Como resumen, la conjunción de sistemas *on line* y de análisis de laboratorio siempre dará los mejores resultados.

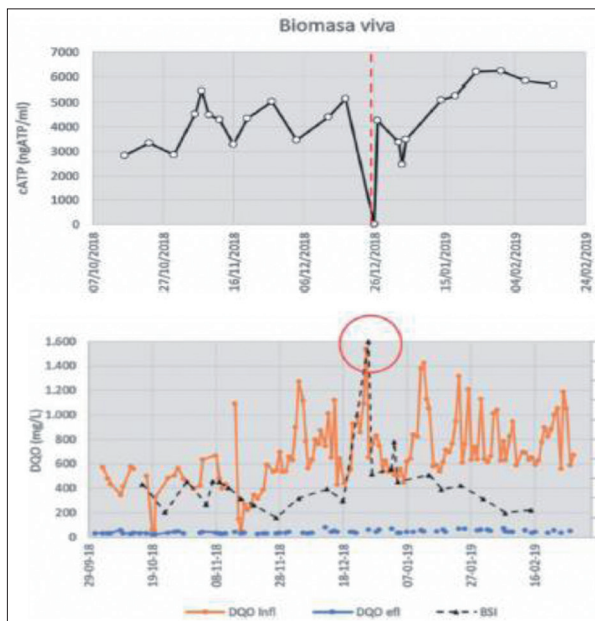
Estudio de la aplicación de la medida de ATP2G en la detección temprana de vertidos a escala real

Para Sandra Enguïdanos Martínez, de Global Omnium, el control de la biomasa es crítico para el buen funcionamiento de las EDAR, y habitualmente este se lleva a cabo mediante la determinación de sólidos en suspensión y fracción volátil del licor de mezcla del reactor biológico. La fracción volátil comprende microorganismos activos, material inerte, polímeros extracelulares y microorganismos muertos y materiales absorbidos.

Otra forma de abordar la cuestión del control de biomasa es mediante medidas de componentes celulares como el ATP (adenosín trifosfato nucleótido), sustancia fundamental en la obtención de energía para las células, lo cual se suele hacer mediante bioluminiscencia. Existen dos formas de ATP, intracelular y extracelular, cuya relación puede informar sobre el grado de la actividad biológica del fango activo. Dicho esto, se presentó un trabajo que evalúa la capacidad de diagnóstico de la afección sobre la biomasa de un fango activo, provocada por un vertido incontrolado que llega a una EDAR, a través de una ATPmetría de segunda generación ATPG2.

El estudio se realizó en la EDAR de Camp de Túria (9.579 m³/día) durante la campaña citrícola de octubre de 2018 a febrero de 2019. La utilidad de las medidas de ATPG2 llevadas a cabo se visualiza en la **Figura 10**, en la que se puede observar que un episodio de vertidos con un incremento muy notable de la DQO del influente a la EDAR, llevó aparejado un descenso de la relación de ATP intracelular-extracelular (convertido en índice de estrés de la biomasa) que anticipaba una afección negativa sobre la biomasa del fango activo. Además, esta afección negativa se pudo conocer dos días antes de su efecto, con lo que los responsables de la EDAR tuvieron un tiempo de actuación importante.

FIGURA 10. Correlación entre evento contaminante. Arriba, índice de estrés de la biomasa -conversión datos obtenidos por APTG2-. Abajo, valores de DQO de entrada a la EDAR y respuesta de la biomasa de la EDAR afectada. Fuente: Enguïdanos Martínez, S.



Como conclusiones de la técnica, es una medida precisa, fácil y rápida, que evita el transporte de muestras (medidas *in situ*) y permite anticipar una posible inhibición de la actividad microbiana y una posible afección negativa sobre la depuración en la EDAR.

Aportaciones de Rafael Mantecón a la actividad de inspección y control de vertidos: algunos apuntes relevantes

Cerrando la parte técnica de la jornada, el actual coordinador del Grupo de Trabajo de Inspección y Control de Vertidos y Laboratorio de AEAS, Rafael Marín Galvín, de Emacsa, pasó revista a las aportaciones de nuestro compañero Rafael Mantecón a la inspección de vertidos. En primer lugar, se recordó brevemente su figura de ingeniero químico y su actividad desde 1977 en empresas del grupo Agbar y en el AMB, así como su compromiso con AEAS, su faceta como auditor ambiental en Palestina, Turquía y Siria y su coordinación de Agendas 21 en varios municipios de Barcelona. Su actividad se mantuvo tras su jubilación en 2016 a través de cursos, charlas, e intervenciones en eventos y en su blog.

Como hitos relevantes cabe destacar la creación de los 'Encuentros sobre Inspección y Control de Vertidos', iniciados en 2007 en Barcelona (promovido por la AMB), y su participación en los siguientes, ya que intervino como ponente o como moderador en los años 2009 (Tomares, Aljafaresa), 2012 (Badajoz, Promedio), 2014 (Gijón, Empresa de Municipal de Aguas de Gijón), 2016 (Las Palmas, Emalsa) para continuar con este último en 2021, el primero que no ha contado con su presencia. En resumen, los encuentros se han convertido en una cita imprescindible para todos los interesados en el control de vertidos. Cabe también destacar sus ponencias presentadas en las jornadas de AEAS, siendo las más recientes las de 2005, 2006, 2010 y 2017, sobre aspectos relacionados con la gestión eficaz del control de vertidos y contaminación presente en los saneamientos.

También deben aplaudirse sus contribuciones al Congreso Nacional de Medio Ambiente (Conama) en 2010, 2012 y 2014, liderando el grupo de trabajo sobre el futuro de los servicios de aguas en España, las buenas prácticas en sistemas de saneamiento y sobre el funcionamiento eficaz y sostenible de la gestión de las aguas residuales en nuestro país.

Debe recordarse, así mismo, su impulso desde la Presidencia de la Comisión V de AEAS a la problemática generada por las sustancias prioritarias, así como las recomendaciones técnicas para la regulación del servicio de saneamiento del agua urbana en colaboración de AEAS y la FEMP. Su contribución más reputada ha sido el *Manual técnico para el control y la inspección de redes de saneamiento y Anexos*, obra clásica sobre la materia. Mención aparte es su otra gran obra, *Los oficios y los gremios del agua*, donde hizo un delicioso recorrido histórico sobre el saneamiento en España desde la antigüedad clásica hasta nuestros tiempos.

Para finalizar, traemos a colación su actividad docente más relevante dentro del 'Curso de aguas residuales' del CEDEX, así como la creación y dirección desde 2018 del 'Curso de inspección y control de vertidos' en colaboración con la empresa Laboratorio Dr. Oliver Rodés y la Universidad de Barcelona (con 7 ediciones realizadas ya) y el tan merecido premio que en 2017 recibió su vida profesional por parte de *Aguasresiduales.info* como referente para el sector del agua. Dicho esto, no quiero acabar sin decir "hasta siempre, amigo. Fue un placer haber compartido tantas cosas contigo".

CONCLUSIONES DEL ENCUENTRO

Las conclusiones finales del 'VI Encuentro sobre inspección y control de vertidos al saneamiento público - Memorial Rafael Mantecón Pascual' son:

- La ocurrencia de contaminantes de preocupación emergente (CPE) en las aguas residuales españolas debe seguir siendo objetivo prioritario de investigación teniendo en cuenta, por una parte, su inclusión en la normativa sectorial al efecto (normas de calidad ambiental) y, por la otra, su negativa afección sobre las EDAR y redes de saneamiento.
- La implantación de rutinas periódicas y contrastadas de inspección y control de vertidos en redes de saneamiento se demuestra imprescindible para minimizar la tasa de aparición de estos eventos en nuestras redes, además de contribuir a la mejora de calidad de los fangos de depuración producidos en nuestras EDAR (reducción de metales pesados) y evitar sanciones por vertidos fuera de norma al medio, como se demuestra en dos casos presentados de la Comunidad Valenciana y Madrid.

» La figura de Rafael Mantecón Pascual marca un antes y un después en la gestión eficaz del control e inspección de vertidos en los saneamientos españoles



FIGURA 11. El control de vertidos debe ser una actividad, con las medidas de protección, seguridad y formación adecuadas para aquellos trabajadores que la lleven a cabo.



- El control de vertidos debe ser una actividad segura, para lo cual se deben aplicar medios de protección para los trabajadores, rutinas de formación y actividades de salud laboral disponibles en la gran mayoría de empresas del sector (**Figura 11**).

- Los vertidos procedentes de actividades menos conocidas o más infrecuentes, casos presentados del envasado de cítricos, hospitales, lixiviados de vertederos de RSU, fosas sépticas y urinarios portátiles, también aportan contaminación, especialmente emergente a los saneamientos, y deben ser tenidos en cuenta.

- La aplicación de la conjunción de controles analíticos *on line* y de laboratorio, cada uno con ventajas concretas frente al otro, garantizará la mejor estrategia de los gestores de las redes de saneamiento frente a eventos contaminantes no deseables. Además, el desarrollo de nuevas técnicas como la de la ATPG2 permite valorar de forma más rápida e inmediata la afección de los vertidos sobre el funcionamiento de las EDAR biológicas.

AGRADECIMIENTOS

A todos los ponentes del encuentro, a sus empresas y organismos, al propio Grupo de Trabajo de Vertidos y Laboratorio de la Comisión V de Aguas Residuales de AEAS, así como a Aguasresiduales.info y a María Mantecón, que compartió con nosotros, emocionada, el evento.

Bibliografía

- [1] AEAS (1997). Aguas residuales industriales. Origen, caracterización y efectos sobre las instalaciones públicas de saneamiento y depuración.
- [2] AEAS (2017). Guía práctica de actuación en materia de inspección de vertidos a redes de saneamientos. Grupo de Trabajo de Inspección de Vertidos, Comisión V de la AEAS.
- [3] García Oñarte-echevarría, L.; Mijangos Antón, F.; González Canal, I. (2021). Contaminantes prioritarios y emergentes en la EDAR de Galindo: rendimientos y mecanismos de eliminación. *Tecnoaqua*, núm. 47, págs. 52-59.
- [4] González Canal, I.; Muga Relloso, I.; Rodríguez Medina, J.; Blanco Miguel, M. (2018). Contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas y efluentes hospitalarios. Caracterización, rendimientos de eliminación en EDAR y estimación de la incidencia del vertido hospitalario en la EDAR de Galindo. *Tecnoaqua*, núm. 29; págs. 42-54.
- [5] Mantecón Pascual, R. (2005). Estudio de la contaminación industrial en el área metropolitana de Barcelona. *Actas de las XXV Jornadas Técnicas de AEAS, Palma de Mallorca* (2005).
- [6] Mantecón Pascual, R. (2012). Manual técnico de inspección. Ed. del autor, Barcelona.
- [7] Marín Galvín, R. (1997). Vertidos industriales a redes públicas de saneamiento. *Equipamiento y Servicios Municipales*, núm. 70, págs. 37-45.
- [8] Marín Galvín, R.; Mantecón Pascual, R.; Díaz de Durana Uriarte, B. (2006). Ordenanzas de vertidos como herramienta para lograr un más eficaz control de vertidos a las redes de saneamiento público. *Tecnología del Agua*, núm. 277, págs. 84-93.
- [9] Marín Galvín, R. (2016). The problem of emerging pollutants and heavy metals into sanitation: a case study. Ponencia del 13th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies. Jerez de la Frontera, España.
- [10] Martínez Alcalá, I.M.; Gillén Navarro, J.M.; Fernández López, C.; Lahora Cano, A. (2017). Estudio de la eliminación de compuestos farmacéuticos en EDAR de la Región de Murcia. *Tecnoaqua*, núm. 23, págs. 58-63.
- [11] Metcalf y Eddy (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and reuse*. Ed. McGraw Hill, 4th ed., New York.
- [12] Nemerow, N.L.; Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Ed. Díaz de Santos, Madrid.
- [13] Verlicchi, P. (2018). *Hospital wastewaters. Characteristics, management, treatment and environmental risk*. Ed. Springer, New York.