



Tipología de los vertidos a los saneamientos públicos

Los sistemas de saneamiento público son el destino de todos los vertidos y aguas residuales que se generan en una comunidad. Los focos emisores de vertidos se engloban en alguno de los siguientes apartados: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales (los vertidos por antonomasia) y contaminación difusa. Por su parte, cada tipo de vertido puede generar una casuística más o menos específica, o incluso general, en cuanto a su incidencia y afección sobre los saneamientos públicos, provocando disfunciones y comportamientos ineficientes de los mismos. Este artículo lleva a cabo una actualización de este tema crucial para el sector.

Palabras clave

Agua residual doméstica, vertido industrial, contaminación difusa, agua residual integrada, ciclo integral urbano del agua, estación depuradora de aguas residuales (EDAR).

TYPOLOGY OF WASTEWATER RECEIVED BY THE PUBLIC SANITATION NETWORK

Public sanitation network receives all the liquid effluents generated from a community. So, the origin of effluents can be included in the following items: domestic wastewater, industrial wastewater and diffuse pollution. Moreover, each effluent can generate a specific situation which affects the sanitation network properly: this could provoke different problems and a poorly functioning in the system network and the associated wastewater treatment facilities. This paper wants to carry out an overview about this question which is very relevant on the wastewater activity.

Keywords

Domestic wastewater, industrial wastewater, diffuse pollution, integrated urban wastewater, integral water cycle, wastewater treatment plant (WWTP).

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



1. INTRODUCCIÓN

Los eventos de contaminación natural de aguas siempre han existido: episodios volcánicos, fenómenos climatológicos, catástrofes naturales y actividades vitales de la flora y la fauna de los ecosistemas. No obstante, la contaminación de las aguas por causa humana representa en los últimos dos siglos un factor mucho más potente y distorsionador que el natural, debido al uso del agua por el hombre en todas las facetas de su actividad y en volúmenes muy elevados: consumo directo y preparación de alimentos, aseo, industrias, agricultura, generación de energía hidroeléctrica y nuclear, producción de pescados y moluscos, y finalmente navegación y usos lúdicos.

En el ámbito de las aguas residuales vertidas con o sin depuración, no directamente a los cauces, sino a los sistemas integrados de saneamiento público, se definen cuatro focos emisores:

- Aguas residuales domésticas.
- Fuentes difusas de aguas residuales.
- Aguas residuales industriales.
- Vertidos ocasionales, accidentales o no.

Desafortunadamente, de los cuatro focos emisores reseñados más arriba, solamente las aguas residuales industriales, los típicos vertidos industriales, pueden ser sometidos a un eficaz sistema de seguimiento y control que incluso es capaz de permitir al gestor del saneamiento adelantarse en cierta medida a prácticas lesivas para el propio sistema. Para ello, y como es conocido, se cuenta con la existencia de las conocidas ordenanzas y reglamentos de vertidos que regulan la actividad de los usuarios (especialmente industriales)

de las redes de aguas residuales. El seguimiento y control del resto de focos emisores de contaminación es sin duda problemático y sólo permite una mínima (a veces nula) anticipación ante eventos contaminantes y su posterior exigencia de restitución.

La **Tabla 1** resume las características más relevantes de las aguas residuales, bajo los apartados de propiedades físicas, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos, gases y constituyentes biológicos. Si bien algunas de estas características tuvieron una procedencia mayoritaria originada en focos emisores definidos (por ejemplo, metales pesados y compuestos orgánicos, asociados a aguas residuales industriales), los contaminantes pueden hoy en día ser emitidos desde cualquier estamento, aguas domésticas, industriales y contaminación difusa. Dicho lo anterior, a continuación se concreta la diferente tipología de los vertidos de aguas residuales recibidos en los saneamientos.

2. AGUAS RESIDUALES DE PROCEDENCIA DOMÉSTICA

Se trata del componente porcentualmente más elevado de las aguas residuales integradas (las que acceden a los sistemas integrados de saneamiento público): del orden del 75% del agua de consumo empleada en los hogares retorna al ciclo integral del agua bajo forma de agua residual. Si se supone un consumo medio de unos 200 L hab/día en cada hogar, se vierten por los desagües doméstico unos 150 L hab/día.

En cuanto a su composición, el agua residual doméstica contiene sustancias orgánicas de desecho de la propia actividad fisiológica humana, además de restos de productos y preparaciones comerciales tanto para uso personal como para el hogar, siendo pues cada vez más rica en compuestos orgánicos, inorgánicos, etc., muchos de ellos con potencial afección sobre el medio y que hasta hace pocos años eran casi exclusivos de las aguas residuales industriales.

FIGURA 1. Típicos atascos en redes de saneamiento y depuradoras por restos sólidos no desechables vía inodoro.

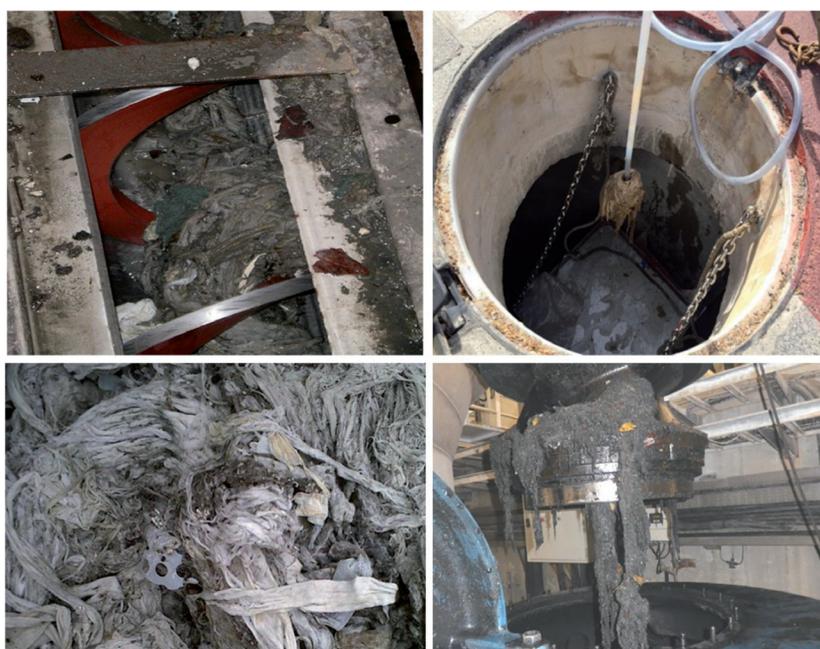


TABLA 1

PROCEDENCIA GENERAL DE LAS CARACTERÍSTICAS MÁS HABITUALES DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Características	Procedencia
Propiedades físicas	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, por desintegración natural de materiales orgánicos
Olor	Agua residual en descomposición, vertidos industriales
Sólidos	Agua de consumo, aguas residuales domésticas e industriales, fenómenos de erosión de suelos y viales urbanos, infiltración, conexiones incontroladas
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales
Compuestos orgánicos	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Aceites y grasas	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Fenoles y derivados	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, residuos agroganaderos, arrastre por lluvias
Pesticidas y fitosanitarios	Aguas residuales industriales, contaminación difusa, aguas domiciliarias
Proteínas	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Tensioactivos	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Otros orgánicos	Desintegración natural de materias orgánicas, aguas residuales domésticas e industriales, contaminación difusa, arrastre por lluvias
Compuestos inorgánicos	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, aguas de consumo, infiltración aguas subterráneas
Cloruros	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, agua de consumo, infiltración aguas subterráneas, sistemas domésticos de ablandamiento de aguas
Metales pesados	Aguas residuales domésticas e industriales, lavado de viales
Nitrógeno	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, jardinería, residuos agrícolas
Efluentes con valores extremos de pH	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, contaminación difusa
Fósforo	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, jardinería, residuos agrícolas, escorrentías y lavado de viales urbanos, arrastre por lluvias
Azufre y derivados	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Compuestos tóxicos	Aguas residuales industriales
Gases	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales
Metano	Descomposición aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales
Oxígeno	Agua de consumo, infiltración aguas
Constituyentes biológicos	
Animales	Cursos de aguas, estaciones de tratamiento de aguas, vertidos ocasionales
Plantas	Cursos de aguas, estaciones de tratamiento de aguas, vertidos ocasionales
Bacterias, hongos	Cursos de aguas, estaciones de tratamiento de aguas, vertidos ocasionales
Virus	Aguas residuales domésticas



Recuérdese que el desecho fecal humano contiene un 80% de agua y un 20% de materia seca, de la cual un 30% son aminoácidos, prótidos y proteínas, otro 30% se identifican como materias orgánicas diversas (fibras, residuos de alimentos...), y otro 15% son lípidos y grasas, siendo el resto fosfatos, carbonatos y oxalatos de Ca y Mg. A destacar la presencia de trazas de azúcares, cetonas, hormonas endógenas o exógenas, medicamentos, analgésicos y microcantidades de metales pesados.

Tampoco es desdeñable la evacuación vía domicilio (inodoro, fregadero) de productos más o menos sólidos y poco desagregables responsables de notables problemas de atascos en los saneamientos: toallitas higiénicas y de bebé, papel higiénico húmedo, bastoncillos, compresas, preservativos. La **Figura 1** ilustra esta conocida cuestión a la que se le está intentando dar una respuesta en España con la elaboración de una norma UNE sobre productos desechables vía inodoro. En relación con esta problemática cabe citar la presencia de microplásticos (< 5 mm) en las aguas residuales urbanas, con capacidad de atasco importante, y potenciales sumideros de sustancias orgánicas tóxicas o con capacidad de disrupción endocrina. Como información adicional, los tipos más frecuente de microplásticos son: tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta y baja densidad, policloruro de vinilo, polipropileno (el más seguro) y poliestireno.

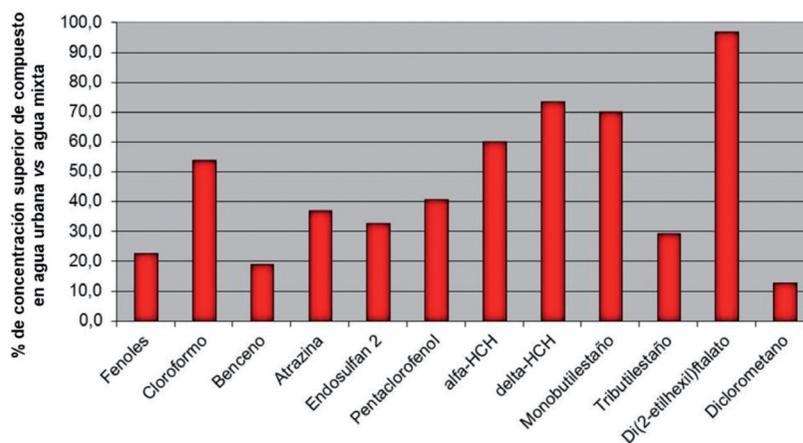
Así mismo, los componentes de cualquier producto doméstico de limpieza, lejías, detergentes, cosméticos, productos de aseo personal, productos para fertilización y tratamiento de jardines domésticos, además de los restos de medicamentos y similares ya comentados más arriba, pueden

TABLA 2

COMPUESTOS QUÍMICOS ENCONTRADOS EN SANEAMIENTOS ESPAÑOLES EN LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS.

Organoclorados (aldrín, DDT, lindano...)	Organofosforados (clorpirifos, clorfeninfos...)	Triazinas (atrazina, simazina, terbutilazina...)	Fitosanitarios (diurón, isoproturón, pentaclorofenol...)
Orgánicos volátiles (diclorometano, benceno, tolueno, xileno...)	Alquilfenoles (nonilfenoles, octilfenoles...)	Compuestos organometálico (trifenil estaño, tributilestaño...)	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (antraceno, fenantreno...)
Dioxinas, furanos, bifenilos policlorados	Etil-éteres bromados, f-talatos, amianto	Diversas drogas de abuso (cocaína...)	Ibuprofeno, diclofenado, antibióticos, farmacéuticos...

FIGURA 2. Compuestos orgánicos detectados en mayor concentración en aguas residuales domiciliarias (>90%) que en aguas mixtas (domiciliarias+industriales).



acceder al saneamiento doméstico (**Tabla 2**). Incluso para fijar más el problema, la **Figura 2** presenta el resultado de un estudio clásico del Grupo de Trabajo de Inspección de Vertidos y Laboratorio de la Comisión de Aguas Residuales de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamientos (AEAS), en que se detectaban una serie de compuestos orgánicos en concentraciones más altas en el agua residual urbana (> 90% de agua de procedencia domiciliar) que en la mixta, tras el aporte de aguas industriales. Indudablemente, el progresivo incremento de compuestos orgánicos en las aguas residuales urbanas podría acarrear problemas de depuración en las EDAR municipales convencionales.

Otra circunstancia negativa de las aguas residuales domiciliarias es la presencia de grasas y aceites de fritura agotados que potencian su capacidad obstructiva (**Figura 3**), además de la acción de las aguas de regeneración de sistemas domésticos de ablandamiento que pueden provocar incrementos de salinidad del agua residual integrada, así como en ocasiones, corrosiones.

Al mismo tiempo, y considerando que el agua residual domiciliar es mayoritariamente agua de consumo, todos los compuestos procedentes del progresivo deterioro de las redes internas de agua (especialmente metales pesados por corrosiones) pueden llegar a los saneamientos enriqueciendo su contenido en ellos.

FIGURA 3. Típicas bolas de grasa encontradas en saneamientos de todo el mundo: mezcla de grasas, detergentes, toallitas, bastoncillos, restos plásticos...



Finalmente, el control de vertidos de aguas residuales domiciliarias es poco viable en circunstancias normales, siendo operativo al efecto llevar a cabo por parte de los gestores y de la administración campañas periódicas de información y concienciación del ciudadano sobre estas problemáticas, en que actúa como un invitado, pero que provoca sin duda graves perjuicios al saneamiento público.

3. CONTAMINACIÓN DIFUSA

Engloba aquellos vertidos de aguas producidos de forma incontrolada pero ligada a prácticas usuales de ciudadanos, empresas y administraciones, pero para las que no se puede determinar de forma clara una fuente de origen. La contaminación difusa suele comprender: aguas de escorrentía por lluvias en el ámbito urbano, aguas excedentarias de riegos de parques y jardines, cauces naturales no aprovechados, y conexiones ilegales (además de prácticas ocasionales inadecuadas).

En cuanto a las lluvias, las aguas de escorrentía asociadas dependerán de: duración del período seco anterior, intensidad y frecuencia de la precipitación, superficie de drenaje asociada, pendiente y usos del suelo y viales afectados, impermeabilidad de las áreas urbanas, tráfico y contaminación atmosférica. Además, y desafortunadamente, los

incrementos de caudal de los saneamientos ligados a episodios lluviosos pueden emplearse por empresas y ciudadanos para desechar residuos más o menos líquidos, que obviamente, deberían tener otro destino.

En todo caso, durante los primeros 30-60 minutos de un episodio lluvioso se produce un incremento puntual y muy violento de la carga contaminante del agua de escorrentía (**Figura 4**). Tras este tiempo se mantiene un caudal alto pero la carga contaminante disminuye de forma muy rápida, al aumentar la proporción de agua de lluvia pura y haberse limitado el arrastre de contaminantes. A destacar que durante el tiempo de alta carga todos los contaminantes presentes en el medio urbano en suelos, tejados, parques, calles, etc., se movilizan hacia el saneamiento.

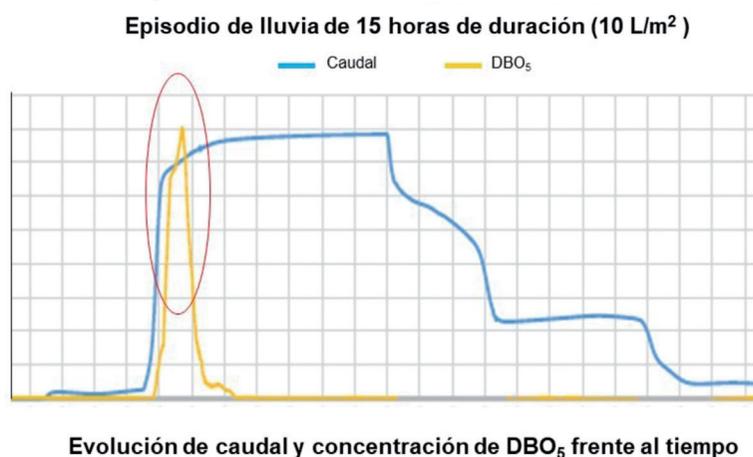
En general, las aguas de escorrentías urbanas por lluvias suelen contener sólidos gruesos y en suspensión, arenas, sedimentos, materia orgánica (excrementos y otros) y consiguientemente altos niveles de N y P, patógenos (animales de compañía, aves y fauna urbana) y residuos indeterminados. Paralelamente, la presencia de pesticidas (herbicidas, fungicidas, insecticidas), metales pesados (Pb, Zn, Cu, Hg, de tráfico y deposición atmosférica) así como diversos hidrocarburos (tráfico, calefacción) y compuestos orgánicos de síntesis puede llegar a ser muy relevante.

Otro foco de contaminación difusa es el agua procedente de riegos de jardines, parques y zonas verdes públicas o privadas, con la posibilidad de acceso al saneamiento de fitosanitarios y plaguicidas en general, así como de N y P procedentes de las prácticas de abonado llevadas a cabo.

Cabe también recordar ahora otro aporte importante, como la incorporación de cauces hídricos (arroyos, veneros, pozos y sondeos) sin aprovechamiento, conectados directamente al alcantarillado: pueden recibir basuras y cualquier contaminante sin ningún control (**Figura 5**).

Finalmente, las conexiones ilegales de aguas usadas, bien de origen

FIGURA 4. Evolución temporal de caudal/DBO₅ para un evento lluvioso en ciudad.





domiciliario, comercial o industrial, son otra vía de incorporación de contaminantes a los saneamientos, con caudales significativos y con residuos variados, provocando además deterioro de las infraestructuras (Figura 6) y un agravio comparativo al resto de vertedores legales a los sistemas integrados de saneamiento público. Cuantificando todas las aportaciones de contaminación difusa, puede hablarse del orden del 20% del agua residual total recibida por cualquier saneamiento.

4. VERTIDOS INDUSTRIALES

La denominación de vertidos se suele asociar en general a los vertidos industriales, entre el 10 y el 30% del agua residual urbana que llega a las EDAR municipales, procedentes de actividades industriales, comerciales y similares. Se diferencian de los focos contaminantes anteriores en:

- Caudal de emisión muy variable dependiendo de sector industrial y de empresa concretos.
- Pautas de emisión variadas: continuas, discontinuas, estacional, con puntas horarias.
- Existencia de contaminantes mayoritarios marcados por la actividad específica.
- Finalmente, estos vertidos sí están regulados y sujetos a control eficaz por parte del gestor del saneamiento, a través de la implantación de las preceptivas ordenanzas y reglamentos de vertidos con que se cuenta en la mayoría de las ciudades de España.

La **Tabla 3** resume una aproximación del potencial contaminante biodegradable de diferentes aguas industriales, frente al agua residual doméstica, mientras que la **Tabla 4** muestra el uso aproximado de agua por diferentes sectores industriales.

FIGURA 5. Cauces naturales en entorno urbano sin aprovechamiento y en un estado de alta degradación.



FIGURA 6. Ejemplos de contaminación difusa: (a) conexión ilegal con rotura de colector; (b) escombros de obra; (c) cementos y hormigones; (d) arenas; y (e) compuestos químicos

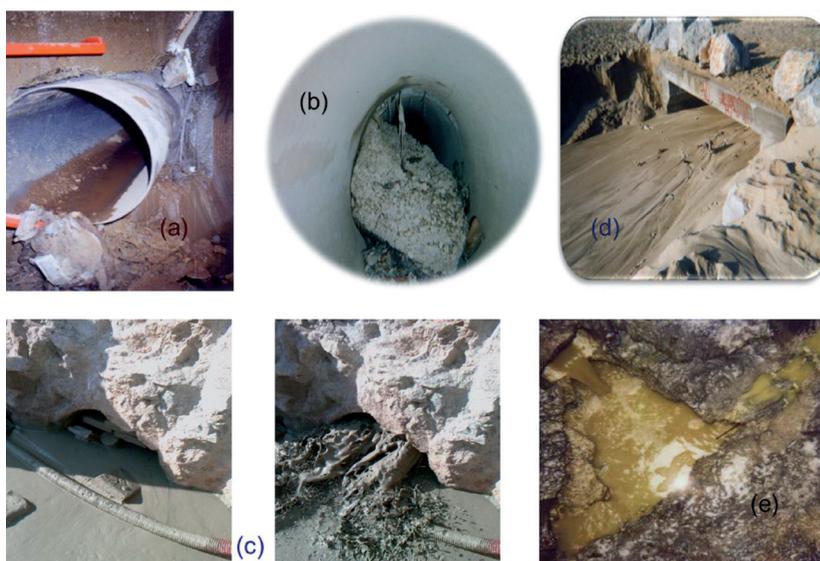


TABLA 3

POTENCIAL CONTAMINANTE APROXIMADO DE DIFERENTES AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EXPRESADO COMO DBO_5 Y DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EN REFERENCIA A LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS ($DBO_5 = 303 \text{ MG/L}$, $S_{SUSP} = 275 \text{ MG/L}$).

Origen	DBO_5	S_{SUSP}
Aguas residuales domésticas	1	1
Efluentes papeleras	5 - 30	2 - 20
Vertidos curtidos y tenerías	20 - 50	40 - 80
Efluentes textiles	1 - 350	10 - 100
Conservas vegetales	3 - 20	1 - 20
Fabricación levaduras	10 - 30	10 - 50
Efluentes cerveceras	1 - 40	1 - 50
Aderezo aceitunas y encurtidos	5 - 20	5 - 15
Bebidas no alcohólicas	1 - 2	1 - 5

No obstante, el principal problema de las aguas industriales es contener contaminantes refractarios a la depuración convencional. A continuación se revisan brevemente las características contaminantes más relevantes de los principales vertidos industriales en ámbitos urbanos, así como su potencial incidencia negativa sobre los saneamientos públicos.

4.1. INDUSTRIAS ALIMENTARIAS Y AFINES

Como se aprecia en la **Tabla 5**, la producción de aceites y grasas alimentarias no presenta elevados caudales de emisión salvo en el lavado de aceites de oliva (con presencia de herbicidas) y pueden tener altos valores de DQO y DBO₅, elevadas conductividades y valores pH extremos, así como altos contenidos en sólidos, y especialmente, en grasas y aceites más o menos emulsionados. Suelen ser vertidos con una alta tasa de biodegradabilidad.

Por su parte, el aderezo de aceitunas y encurtidos genera efluentes de alta salinidad (hasta 40.000 µS/cm),

Tipo de industrias	% de uso
Química, farmacéutica y plásticos	33
Alimentación y bebidas	21
Metalurgia	17
Papel y artes gráficas	13
Petróleo	7
Maquinaria y equipos	3,5
Minerales no metálicos	2,7
Textil y cuero	2,3
Otras	0,5

S_{SUSP} (4.000 mg/L), carga biodegradable (2.500 mg/L de DBO₅ y 5.000 mg/L de DQO), aceites residuales y, sobre todo, aguas de pH alcalino con alta corrosividad (lejías).

La preparación de salsas y mayonesas tiene dos tipos de vertidos, el generado por las mayonesas (más alto contenido en grasas y DBO₅) y el de producción de salsas (más al-

ta DQO). En cuanto a los productos precocinados, que hacen uso de grasas alimentarias, están menos cargados que los anteriores, pero también pueden presentar incidencias por grasas. Ni estos vertidos ni los anteriores suelen contener metales pesados ni compuestos orgánicos.

El principal problema de los vertidos de mataderos suelen ser los sólidos gruesos (vísceras, pelos, pieles) y las grasas, además de los olores. Se trata en todo caso de vertidos de alta carga biodegradable, con presencia de productos insecticidas y farmacéuticos de uso ganadero.

Respecto a la producción de conservas de pescado y vegetales comparten la emisión de altas cargas de sólidos y DBO₅/DQO si bien más altas para las conservas vegetales. Para los pescados se pueden evacuar grasas, y en el caso de conservas vegetales, restos sólidos y productos fitosanitarios.

La elaboración de lácteos puede generar la evacuación de alta carga biodegradable, altos niveles de N y P (comunes a toda esta serie de aguas

Parámetro	Producción aceites y grasas	Salsas y mayonesas	Productos precocinados	Mataderos	Conservas pescados	Conservas vegetales	Productos lácteos
Sólidos suspensión (mg/L)	1.000 - 15.000	200 - 1.200	500 - 5.000	500 - 2.000	300 - 2.000	< 100 - >2.000	500 - 6.000
DQO (mg/L)	30.000 - 70.000	Hasta 2.500	500 - 7.000	2.000 - 12.000	800 - 7.000	3.000 - 12.000	2.000 - 50.000
DBO ₅ (mg/L)	2.000 - 20.000	Hasta 10.000	200 - 2.000	1.000 - 8.000	200 - 2.500	1.000 - 2.500	1.000 - 20.000
Nitrógeno (mg/L)	10 - 400	-	15 - 100	100 - 500	300 - 1.500	-	50 - 500
Fósforo total (mg/L)	Hasta 50	-	Hasta 30	30 - 100	15 - 50	-	Hasta 15
pH	< 4 - 10	5 - 10	4 a 9	5 - 10	5 - 10	6 - 12	<4 - 12
Conductividad eléctrica (µS/cm)	1.500 - 10.000	2.000 - 5.000	700 - 5.000	1.000 - 5.000	20.000 - 60.000	3.000 - 25.000	2.000 - 12.000
Aceites - grasas (mg/L)	500 - 40.000	>500	Hasta 50	100 - 2.000	Hasta 1.000	-	30 - 3.000
Metales pesados - otros	Herbicidas	Ausencia	Ausencia	Insecticidas, farmacéuticos	Olores	Sólidos gruesos, fitosanitarios	Insecticidas, farmacéuticos



FIGURA 7. Problemas en saneamiento por efluentes procedentes de industrias alimentarias y afines: (a) grasas; (b) corrosiones; (c) pescados; (d) restos vegetales; (e) yemas de huevo; y (f) vísceras, tripería.



industriales), presentando también carga salina, aceites e insecticidas y farmacéuticos. Además, la producción de azúcares y cacao vierte altas cargas de DQO (80.000 mg/L) y S_{SUSP} (6.000 mg/L) y altos contenidos en N (700 mg/L) y grasas (3.000 mg/L).

Finalmente, un vertido especial y asimilado a alimentario es el de producción de levaduras, también con altos valores de carga (DQO 20.000 mg/L y DBO_5 15.000 mg/L), S_{SUSP} (7.000 mg/L) y un color rojizo muy marcado y de difícil eliminación en planta, ligado a la presencia de betaínas.

En relación a los problemas generales que los vertidos alimentarios acarrear en los saneamientos, estos son: atascos por grasas y restos sólidos, malos olores y, en ciertas ocasiones, corrosiones (**Figura 7**).

4.2. BEBIDAS ALCOHÓLICAS Y NO ALCOHÓLICAS

La elaboración de zumos de frutas genera vertidos con considerable carga orgánica (alta proporción de azúcares y similares, DQO 8.000 mg/L) y de S_{SUSP} (3.000 mg/L), va-

lores moderados de N y P (60 y 20 mg/L, respectivamente) y con fitosanitarios, y valores de pH ácidos, o incluso muy ácidos.

Por su parte, en la elaboración de cervezas (con cuatro tipos de efluentes, levaduras agotadas, efluentes de turbios de cocción, vertidos de filtrado final de cerveza y aguas residuales generales) se evacúan altos caudales, con valores fluctuantes de pH (ácidos o básicos, según proceso interno considerado), alto contenido en S_{SUSP} (> 1.500 mg/L, levaduras agotadas y materiales procedentes de cocciones y filtrado del producto) y elevadas DBO_5 > 2.000 mg/L y DQO > 7.000 mg/L.

La fabricación de bebidas no alcohólicas se caracteriza por vertidos con baja DBO_5 (< 750 mg/L), elevados valores de DQO (hasta 7.000 mg/L), fluctuación del pH (de < 5,0 -ácido carbónico- a > 10,0), también altos caudales, y puntas con alto contenido en sales (regeneración de sistemas de ultrafiltración y ósmosis inversa para agua de proceso). Suelen provocar corrosión de materiales.

Por último, la elaboración de bebidas alcohólicas (con o sin destilación) presenta contenidos bajos de S_{SUSP} (800 mg/L), valores a veces de hasta 120.000 mg/L de DQO, niveles modestos de N y P, siendo su principal característica negativa la corrosión generada por pH extremos (de < 4,0 a > 11,0).

4.3. PAPELERAS Y ARTES GRÁFICAS

Distinguiendo entre fabricación de papel y de cartonajes, las aguas residuales de fabricación de papel suelen ser alcalinas por el uso de lejías y blanqueantes (H_2O_2), mientras que las procedentes de elaboración de cartonajes son ricas en fibras y en sólidos en general. Comparten ambas la emisión de altos caudales, altos valores de S_{SUSP} (> 2.000 mg/L), de DQO y DBO_5 (> 5.000 mg/L y > 2.000 mg/L, respectivamente) y la presencia metales pesados (tintados) tales como Cr, Cu, Fe (> 10 mg/L de cada uno). No obstante, actualmente se emplean compuestos orgánicos biodegradables para tintados con lo que se reduce la carga en metales pero se incrementan DQO y DBO_5 .

Los efluentes de artes gráficas y xerografía se caracterizan por la emisión de bajos caudales, con moderadamente altos valores de S_{SUSP} altos (> 1.000 mg/L), elevadas DQO (> 5.000 mg/L), presencia de metales pesados (tintados materiales) con niveles apreciables (Cr, Cu, Fe, > 10 mg/L de cada uno), pero que se van reduciendo con el uso de compuestos orgánicos más biodegradables.

4.4. INDUSTRIAS TEXTILES Y CURTIDOS

Las industrias textiles parten de materias primas de origen vegetal (lino, algodón), origen animal (seda, lana) y origen mineral (asbestos, vidrio)



requiriendo el proceso la eliminación de impurezas con agua y blanqueantes (Cl_2 , peróxidos). Después, la fase de tintura emplea colorantes y pigmentos, con uso de ácidos, álcalis, tensoactivos, complejantes, y sulfuros, y la fase de estampación usa colorantes y pigmentos, y productos oxidantes y reductores, y fijadores (glicerina, urea). Todo ello genera efluentes con altos contenidos en S_{SUSP} y sólidos gruesos, DQO y DBO_5 moderadamente elevadas, alta salinidad, valores de pH extremos, presencia de detergentes, alta $^{\circ}\text{TC}$, y presencia restos de oxidantes, reductores y otros compuestos químicos de baja biodegradabilidad.

En cuanto a los curtidos, el tratado de las pieles implica una laboriosa manipulación con fases de deshidratación de pieles con sal o aire, lavado con agua, descarnados y eliminación de pelambres (cal, sulfuro de sodio), macerado en baños ácidos, curtido con sales de cromo o taninos, decoloración con el uso de carbonatos y ácido sulfúrico diluidos, incorporación aceites y grasas, nuevo blanqueo de piel y teñido final. De este modo, el sector genera altos caudales de emisión, altas DQO ($> 2.500 \text{ mg/L}$) y DBO_5 , profusión de sólidos, elevada salinidad, pH extremos (corrosiones), detergentes, alta $^{\circ}\text{TC}$, y restos de oxidantes, reductores (sulfuros, 40 mg/L) y otros químicos. Su principal característica es la presencia de un elemento altamente contaminante como el Cr^{3+} (hasta 14 mg/L).

4.5. FABRICACIÓN DE MATERIALES NO METÁLICOS

Se incluyen aquí la fabricación de vidrios y la de materiales cerámicos. Las vidrieras emiten aguas con elevados valores de F^- y NH_4^+ ($> 200 \text{ mg/L}$ y $> 150 \text{ mg/L}$, respectivamen-

te) derivados del empleo de HF_2NH_4 en esmaltado y mateado de espejos, valores de pH ácidos ($< 4,0$) ligados a la presencia de HF y en menor medida, de HCl y HNO_3 . Son vertidos muy poco biodegradables ($S_{\text{SUSP}} < 200$ y $\text{DBO}_5 < 50 \text{ mg/L}$) pero con alta capacidad de provocar agresiones y corrosiones sobre materiales.

Con relación a la fabricación de materiales cerámicos, puede hablarse de tres tipos de actividades: fabricación pavimentos y revestimientos cerámicos, fabricación colores y esmaltes, y elaboración de piezas especiales con acabados especiales (serigrafía, acabado en oro, platino, etc.). Las características de las aguas residuales de pavimentos y revestimientos suelen ser: pH 7-10; S_{SUSP} de 1.000 a 20.000 mg/L; DBO_5 muy bajas; DQO 1.500 mg/L; cloruros y sulfatos hasta 800 mg/L; Al (500 mg/L); y algunos metales Pb, Zn, B ($> 10 \text{ mg/L}$). Para las aguas residuales fabricación de colores y esmaltes se encuentran: baja DBO_5 , Al ($< 10 \text{ mg/L}$), Cl⁻ y $\text{SO}_4 = 1.000\text{-}2.500 \text{ mg/L}$, similares contenidos en metales, y además, presencia de B ($> 25 \text{ mg/L}$). Por último, en los efluentes de piezas especiales aparte de características similares a las anteriores, podremos encontrar diversos residuos peligrosos, especialmente tierras raras.

4.6. INDUSTRIAS METÁLICAS Y AFINES

Las actividades siderúrgicas corresponden a: altos hornos, hornos eléctricos y fabricación de aceros especiales. Los vertidos de altos hornos suelen contener CN^- , NH_3 , fenoles, ácidos, álcalis, aceites-grasas, restos de minerales y metales (Fe, Ni, Zn, Cr...), restos de coque y piedra caliza. Los hornos eléctricos generan cenizas sólidas ricas en óxidos metálicos, mientras la fabricación

de aceros especiales puede generar efluentes con trazas de metales pesados concretos (Pt, Pd, Rh...).

El procesado de Cu comprende extracción y purificación de metal, y fabricación de laminados, hojas, varillas y tubos de cobre, bronce (cobre y zinc) y latón (cobre y estaño). Una vez extraído el metal, debe fundirse, templarse (hornos de aceite) y someterse a decapado para limpiarlo de impurezas con H_2SO_4 y $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (abrillantado), HCl o HNO_3 . Así, los vertidos generando contendrán Cu y Zn (30-40 g/L) y otros metales (impurezas), o Cr (decapados, 45 g/L), y pH ácido y aceites de corte (taladrinas) emulsionados. Las incidencias típicas generadas por estos efluentes se ven en la **Figura 8**.

El procesado de aluminio comprende varias fases con extracción de mineral y digestión alcalina del mismo, filtrados para retención de impurezas, precipitación de alúmina y procesado de ésta en horno eléctrico. Los vertidos generados pueden tener pH extremos, Al, Ni y otros metales pesados, así como detergentes: se trata en todo caso de efluentes poco biodegradables.

En cuanto a la industria automovilística evacua caudales importantes ($> 500 \text{ m}^3/\text{día}$), realizando procesos complejos con tratamiento superficial de piezas metálicas, pulidos, desengrasas, pintados y recubrimientos antioxidantes. Se emplean grasas, detergentes, NaCN (desmetalizados), fosfatos (abrillantadores), HCl, H_2SO_4 , H_3PO_4 y HF (decapados), electropulidos (baños sulfocrómicos y fosfóricos), y Ni, Cr, Zn y Cu (baños químicos y electrolíticos). Los restos de todos estos productos convierten a estos efluentes en poco biodegradables con alto contenido en metales pesados y altos valores de DQO ($> 10.000 \text{ mg/L}$) y aceites-grasas.



FIGURA 8. A la izquierda, arenas procedentes de siderurgias; superior derecha, corrosión por vertidos ácidos de metalúrgicas; e inferior derecha, vertidos ricos en cromo.



FIGURA 9. Diferentes vertidos de industrias químicas.



4.7. INDUSTRIAS DEL PETRÓLEO Y PETROQUÍMICAS

Comprenden la extracción de crudo, las refinerías y las industrias petroquímicas. La extracción de crudo evacua efluentes con: lodos de perforación, agua salada, restos de petróleo, fangos de decantación del combustible, y gas natural. Los restos de petróleo tienen muy alta DBO₅ > 20.000 mg/L; fenoles, > 1.000 mg/L; petróleo, unos 100 mg/L. Las aguas saladas presentan Cl⁻ > 15.000 mg/L; sulfatos, hasta 2.000 mg/L; Na y K, >10.000 mg/L; Mg, hasta 4.000 mg/L; Br, > 500 mg/L. Finalmente los fangos son ricos en fenoles y compuestos orgánicos.

Las refinerías generan efluentes de alto caudal (15 m³/Tm producto), elevados valores de DQO y DBO₅, y presencia de aceites y grasas. Además contienen aguas-lodos alcalinos o ácidos, emulsiones de compuestos orgánicos, aguas con gases ácidos disueltos, restos de catalizadores metálicos, restos de arcillas de filtros, coque y materias carbonosas, y compuestos químicos intermedios o finales, así como una alta salinidad.

Las industrias petroquímicas emplean petróleo, carbón y gas, produciendo productos primarios (alquenos, olefinas, parafinas,

etileno, propileno, butileno, compuestos aromáticos); productos secundarios (óxido de etileno, dicloroetano, etilbenceno, acetaldehído, etilcloruro) y productos finales (bases para detergentes, disolventes, percloroetileno, metilcloroforano, aditivos para combustibles, plásticos y resinas, polietilenglicol, cloruro de vinilo, anhídrido acético, etilenglicol, etanolaminas, acrilonitrilo, ácido acético...). Emplean altas cantidades de agua (refrigerante, medio de reacción o purificador y columnas de destilación y rectificado) generando lodos y cenizas altamente contaminantes. Sus efluentes tienen alta DQO, sólidos, inhibidores microbianos, metales pesados y muchos compuestos potencialmente tóxicos.

4.8. INDUSTRIAS QUÍMICAS Y AFINES

Sus vertidos dependerán del producto producido en cada caso así como los caudales, si bien son habitualmente elevados (< 100 m³/d). Siendo poco biodegradables, existe una alta tasa de recuperación de subproductos (ver **Figura 9** con varios vertidos típicos de la actividad).

La fabricación de ácidos comporta: tostación de piritas (H₂SO₄), elec-

trólisis de NaCl (HCl), síntesis química (HNO₃) o acidificación de fosfatos (H₃PO₄). Todo el sector presenta efluentes con pH muy ácido (≤ 3,0), mínima o nula degradabilidad (≤ 20 mg/L de DBO₅), pocos S_{SUSP} (≤ 100 mg/L), muchos sólidos totales, elevada conductividad (≥15.000 mS/cm) y fuerte presencia de Na y metales pesados (≥ 0,5 g/L, especialmente Cu, Zn y Fe).

La fabricación de fosfatos genera varios tipos de aguas residuales: las procedentes de la extracción del mineral; las aguas residuales fosforadas de lavados; y las procedentes de flotación de productos. Todas ellas contienen, arcillas finas y fangos coloidales, así como aceite de flotación, además de la presencia de F, pH ácido y caudales de emisión importantes.

La elaboración de detergentes (aniónicos, no iónicos y catiónicos) genera efluentes procedentes del lavado de reactores y tanques de almacenamiento, generación de productos intermedios de desecho y pretratamiento de agua para incorporación a fabricación (ósmosis inversa, ultrafiltración, o intercambio iónico). Sus características son un moderado-bajo contenido en S_{SUSP} (300 mg/L), DQO entre 5.000-



8.000 mg/L, conductividad a veces >10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sulfatos (>5.000 mg/L), presencia de colorantes orgánicos (azul) y fosfatos (> 50 mg/L).

En cuanto a los vertidos de las industrias farmacéuticas, tienen muy alta DQO (10.000-35.000 mg/L) y baja DBO_5 , alta conductividad (9.000-35.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y cloruros asociados (2.000-15.000 mg/L), presencia de disolventes no halogenados (10 mg/L), cianuros e inhibidores biológicos, y pH alcalino (8-12) si bien a veces ácido. Relacionados con estos vertidos, los de fabricación de insecticidas presentan una alta capacidad de inhibición biológica, y pH muy ácidos y muy alcalinos. Ambos efluentes suelen generar serios problemas en la depuración biológica de aguas urbanas.

Las pinturas y barnices, con base acuosa o plástica, emplean agua para refrigeración de reactores (aditivos nitrocelulósicos y resinas), limpieza y baldeo de reactores y general y como disolvente para los preparados con base acuosa. Presentan S_{SUSP} disolventes orgánicos, aceites, subproductos, metales pesados (pigmentos) y productos alcalinos de lavados, dependiendo del tipo de producto fabricado, además de altas conductividades (2.000-30.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y DQO (500-50.000 mg/L) pero moderada DBO_5 < 1.500 mg/L.

Finalmente, la fabricación de plásticos (termoplásticos, plásticos termoestables o elastómeros) evacúan aguas residuales con restos de los monómeros usados en proceso, disolventes orgánicos, aguas ácidas o básicas de lavado de reactores y otros, y S_{SUSP} que pueden llegar hasta los 2.500 mg/L (acrílicos), y DBO_5 variables, desde muy bajas (polietileno) a muy altas (> 5.000 mg/L, poliestirenos y resinas fenólicas).

TABLA 6

CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES DE CENTROS DE GESTIÓN DE RSU.

Parámetro	Concentración	Parámetro	Concentración
Sólidos en suspensión	300 - 2.000 mg/L	Cloruros	900 - 5.000 mg/L
DBO_5	300 - 7.000 mg/L	Bicarbonatos	300 - 6.000 mg/L
DQO	400 - 5.000 mg/L	N-Kjeldahl	40 - 1.600 mg/L
pH	7,4 - 8,2	Fósforo total	50 - 500 mg/L
Conductividad	2.000 - 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Fe, B, Cu	Hasta >20 mg/L
Ca, Mg	Hasta >200 mg/L	Zn, Ba, Ni, Al, Se, Mn	Hasta >3 mg/L

5. OTROS VERTIDOS ASIMILADOS A INDUSTRIALES

Se incluyen los procedentes de los centros de gestión de residuos sólidos urbanos, cuyas características se recogen en la **Tabla 6**, destacando la presencia de metales pesados.

En cuanto a los vertidos de hospitales, que practican gestión diferenciada de residuos, suelen presentar moderados-bajos valores de S_{SUSP} , DBO_5 y DQO (200, 300 y 450 mg/L, respectivamente) siendo su aspecto más desfavorable la presencia de restos de productos farmacéuticos: se pueden detectar unos 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ de anestésicos y antibióticos, 35 $\mu\text{g}/\text{L}$ de antiinflamatorios, y 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ de hormonas, analgésicos, y diversas drogas. Los de tanatorios suelen contener formol.

Las aguas residuales de lavanderías (**Tabla 7**) son especialmente ricas en detergentes, fósforo, aceites-grasas y DQO. Finalmente, los talleres de automoción pueden presentar problemas de grasas, sólidos, DQO y metales pesados, así como de azufre (**Tabla 8**).

6. VERTIDOS OCASIONALES

En esta categoría, de muy difícil control y prevención, pueden incluirse vertidos de aceites, taladri-

nas, petróleo, restos vegetales de granjas, cementos, restos de productos químicos, fosas sépticas (sí reguladas normalmente), restos de abonado y plaguicidas, urinarios públicos no regulados, restauración no legalizada y cualquier otro vertido no autorizado al saneamiento (**Figura 10**).

7. CONCLUSIONES

La contaminación recibida por los saneamientos tiene varios orígenes: las aguas residuales domiciliarias, la contaminación difusa y las aguas residuales industriales (los típicos vertidos). De ellas, solo los vertidos industriales pueden ser objeto de controles eficaces (a través de las ordenanzas y los reglamentos de vertidos).

La contaminación aportada por las aguas domiciliarias es fundamentalmente orgánica y biodegradable, si bien cada vez se enriquece más en compuestos refractarios a la depuración procedentes de los actuales usos y costumbres de vida.

La contaminación difusa es la menos sujeta a control y engloba procedencias tan dispares como el agua de lluvia, conexiones ilegales a saneamientos y cauces no aprovechados conectados a la red.

TABLA 7	
CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES DE LAVANDERÍAS INDUSTRIALES.	
Parámetro	Concentración
Temperatura	Hasta 35 °C
Sólidos sedimentables	1 - 5 mg/L
Sólidos en suspensión	Hasta 350 mg/L
DBO ₅	150 - 500 mg/L
DQO	200 - 3.000 mg/L
pH	7,7 - 9,0
Conductividad	800 - 3.600 mg/L
Detergentes	Hasta 140 mg/L
Cianuros	Hasta 15 µg/L
Aceites-Grasas	Hasta 600 mg/L
N-Kjeldahl	Hasta 30 mg/L
Fósforo total	8 - 190 mg/L
Fe	Hasta 13,0 mg/L
Mn, Cd	1,5 mg/L
Zn	Hasta 3,5 mg/L
Pb, Cu	Hasta 2 mg/L
Ni	Hasta 4 mg/L
Cr	Hasta 5 mg/L

TABLA 8	
CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES DE TALLERES DE AUTOMOCIÓN.	
Parámetro	Concentración
Sólidos en suspensión	5 - 2.000 mg/L
DBO ₅	150 - 500 mg/L
DQO	300 - 3.000 mg/L
pH	6,5 - 8,0
Conductividad	300 - 1.000 mg/L
Detergentes	5 - 40 mg/L
Cianuros	Hasta 15 µg/L
Grasas	Hasta 1.000 mg/L
Fe	Hasta 7,0 mg/L
Cu, Pb, Zn, As, Cd	Hasta 2,0 mg/L

FIGURA 10. Vertidos ocasionales a redes de saneamiento: (a) taladrinas; (b) parque industrial; (c) productos químicos; (d) fosas sépticas; (e) granjas; y (f) urinarios públicos.



En cuanto a los vertidos industriales, las industrias alimentarias, de bebidas y afines evacuan mayoritariamente carga biodegradable, las metalúrgicas, metales pesados y compuestos orgánicos de síntesis, y finalmente, las químicas y petroquímicas, compuestos orgánicos muy refractarios a la depuración biológica convencional.

Por último, los vertidos ocasionales también puede ser otra fuente no desdeñable de aportación de contaminación y contaminantes a los saneamientos que deben minimizarse necesariamente.

Bibliografía

- [1] AEAS (2002). Aguas residuales industriales. Origen, caracterización y efectos sobre las instalaciones públicas de saneamiento y depuración.
- [2] Arundel, J. (2002). Tratamiento de aguas negras y efluentes industriales. Ed. Acribia, Zaragoza.
- [3] Collie, M.J. (1983). Industrial water treatment. Chemicals and processes. Ed. Noyes Data Co., New Jersey, Estados Unidos.
- [4] Díaz Lázaro-Carrasco, J.A. (1988). Depuración de aguas residuales. Centro de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas, Madrid.
- [5] Esteban Turzo, P. (1999). La actividad ganadera y sus implicaciones ambientales. Actuaciones en Castilla y León. Equipamiento y Servicios Municipales, núm. 81, págs. 37-48.

- [6] González Canal, I.; Muga Relloso, I.; Rodríguez Medina, J.; Blanco Miguel, M. (2018). Contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas y efluentes hospitalarios. Tecnoaqua, núm. 29, págs. 42-54.
- [7] Lahora Cano, A. (2016). Aportaciones de contaminantes a los saneamientos: domicilios, industrias, fuentes difusas. Actas de la Jornada Técnica de Vertidos de Aguas Residuales. Las Palmas de Gran Canaria (Emalsa).
- [8] Marín Galván, R. (1997). Vertidos industriales a redes públicas de saneamiento. Equipamiento y Servicios Municipales, núm. 70, págs. 37-45.
- [9] Marín Galván, R. (1999). Problemática ligada a algunos vertidos industriales líquidos específicamente urbanos. Retema-Medio Ambiente, núm. 72, págs. 25-35.
- [10] Marín Galván, R. (2012). Procesos fisicoquímicos en depuración de aguas. Teoría, práctica y problemas resueltos. Ed. Díaz de Santos S.A., Madrid.
- [11] Marín Galván, R. (2016). Flujos de materias (agua y sólidos) y huella de carbono asociados al ciclo integral del agua en Córdoba. Ingeniería Municipal, núm. 303, págs. 40-44.
- [12] Marín Galván, R. (2017). Contaminación emergente: sustancias prioritarias y preferentes, productos farmacéuticos, drogas de abuso, disruptores endocrinos, microplásticos y patógenos emergentes. Tecnoaqua, núm. 24, págs. 66-77.
- [13] Meink, F.; Stoof, H.; Kohlschütter, H. (1977). Les eaux résiduaires industrielles. Ed. Masson, Paris, Francia.
- [14] Metcalf y Eddy Inco (2013). Wastewater Engineering. Treatment and reuse. Ed. McGraw Hill, 4th ed., New York, Estados Unidos.
- [15] Nemerow, N.L. (1977). Aguas residuales industriales. Ed. Blume, Madrid.
- [16] Seoáñez Calvo, M. (2002). Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias alimentarias. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

TECNOAQUA

www.tecnoaqua.es

Órgano de difusión de:



Asociación Española de Empresas del Sector del Agua



Colaborador de:



Tipología de los vertidos a los saneamientos públicos



Cómo aprovechar las nuevas tecnologías para mejorar la experiencia del cliente

Aprovechamiento de la energía de la red mediante turbinación

Mejora de la productividad mediante el empleo de motores de alta eficiencia

Análisis metroológico de contadores de agua en abastecimientos

Solución de telelectura basada en nuevas tecnologías de comunicación

La economía circular del agua: dirección obligatoria



YOUR RELIABLE PARTNER
IN WATER INDUSTRY

EXPERIENCE SINCE 1945

We meet the diverse needs of customers, with borehole electric pumps for the collection of water from deep wells, horizontal pumps for supplying the Water System.



WATER EXTRACTION | POTABILIZATION & RO | BOOSTING & DISTRIBUTION | SEA, LAKE & DAM WATER EXTRACTION

www.caprari.com |



caprari
pumping power

