

**MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES
PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**



Obra realizada por el CENTA gracias a una subvención concedida por la Agencia Andaluza del Agua de la Consejería de Medio Ambiente y cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Dirección facultativa: Instituto del Agua de Andalucía

Autores:

Juan José Salas Rodríguez

Juan Ramón Pidre Bocado

Inmaculada Cuenca Fernández

Ilustraciones: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA)

Diseño y maquetación: www.aspectocomunicacion.com

Impresión y Encuadernación: Coria Gráfica

Depósito Legal: SE-2066-07

ISBN 13: 978-84-611-6882-8

ÍNDICE GENERAL

Capítulo I.- Generalidades

Capítulo II.- Aplicación al terreno

Capítulo III.- Lagunaje

Capítulo IV.- Humedales Artificiales

Capítulo V.- Filtros de Turba



Fuensanta Coves
Consejera de Medio Ambiente
Junta de Andalucía

El constante crecimiento demográfico, concentrado en las ciudades, trae consigo la aparición de necesidades y demandas a las administraciones públicas. El deterioro del medio ambiente puede tener muchas procedencias, y uno fundamental es un mal modelo de gestión de los recursos, entre ellos el agua. Hoy en día, una gestión del agua basada en la oferta ya no tiene cabida, por lo que debemos hacer una redefinición del concepto en pro de una gestión más eficaz y equitativa, más respetuosa con la diversidad de nuestros ecosistemas y, sobre todo, más participativa.

La Comunidad Autónoma dispone en estos momentos de una buena cobertura en infraestructuras en materia de saneamiento y depuración. No obstante, existen desequilibrios importantes, que surgen de las características propias del territorio, entre las

grandes ciudades, y las medianas y pequeñas poblaciones que es preciso resolver. Se requieren soluciones imaginativas que logren igualar las condiciones de los servicios en toda la región.

Dadas las directrices de la UE, la Junta de Andalucía trabaja en incorporar las premisas europeas, adaptadas a las características propias del territorio andaluz.

La premisa es una renovada visión de la gestión pública del agua como integrante de un mismo ecosistema. De esta forma, no sólo se implantará un nuevo modelo, sino que se prevé un mayor reparto de competencias entre las administraciones y entidades responsables y se promueve el consumo responsable mediante un sistema de fiscalidad ecológica, teniendo siempre en cuenta que el agua nos afecta a todos por igual. El objetivo es eliminar

esos desequilibrios existentes y a garantizar la prestación de servicios de calidad a todos los ciudadanos y ciudadanas.

En este panorama, la investigación juega un papel muy importante, especialmente en lo referente a la integración del ciclo urbano del agua dentro del ciclo hidrológico natural. El conocimiento, la gestión integral y eficiente, y un consumo responsable, son las claves para lograr un desarrollo sostenible que permita mejorar la calidad de vida de la población respetando la diversidad de nuestros ecosistemas.

Fiel reflejo de la importancia de la investigación es este Manual de tecnologías no convencionales, que recoge en sus páginas el resultado de veinte años de investigación en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes, y que se presenta como referente dentro del sector científico-técnico. El desarrollo y aplicación de las denominadas tecnologías no convencionales favorecen la implantación de sistemas de depuración más respetuosos con el medio ambiente así como la gestión eficaz de los recursos, dadas las características propias de estas técnicas.

En definitiva, la ciencia aplicada a hacer compatibles las exigencias del desarrollo con la protección del medio ambiente.



Hermelindo Castro Nogueira
Presidente CENTA

El saneamiento y la depuración de las aguas residuales ha sido una preocupación constante por parte de las autoridades competentes a lo largo de los últimos años. Pero cuando nos referimos a pequeñas colectividades, este problema adquiere un matiz diferente, ya que se tiene que hacer frente a una serie de obstáculos que no se dan en otros contextos.

Para proveer de servicios de agua y saneamiento sostenibles a las pequeñas localidades no existe una sola tecnología ni una sola solución. Toda solución debe ser adaptada al entorno ambiental, social y económico de cada caso, especialmente en lo que respecta a las localidades de pequeño tamaño.

Las denominadas Tecnologías no Convencionales (TNC) presentan una serie de singularidades que las

hacen especialmente adaptables a las características de las poblaciones medianas y pequeñas: presentan una gran versatilidad y adaptabilidad, elevada integración en el entorno natural y unos costes de implantación y explotación muy por debajo de los estimados en los tratamientos de las aguas residuales urbanas procedentes de grandes poblaciones, donde las carencias de espacio y las elevadas exigencias en la depuración hacen insustituibles las llamadas tecnologías convencionales.

La Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC) forma parte de una estrategia de I+D+I en materia de depuración de aguas residuales, especialmente enfocada al estudio de las TNC, que se viene desarrollando desde hace casi 20 años en Andalucía y cuya característica más destacable es la de conjugar los trabajos puramente científicos y

de investigación con un extenso conocimiento de la depuración sobre la realidad del territorio.

Desde su puesta en marcha, la PECC ha sido una experiencia pionera y un referente tanto a nivel nacional como internacional. Los trabajos desarrollados en el entorno de esta planta no sólo han servido para mejorar nuestros conocimientos en esta materia sino que, además, han permitido la difusión y la divulgación de los mismos y el traslado de nuestra experiencia a otros territorios, como Marruecos y Latinoamérica.

Las páginas de este documento recogen los resultados de todo este esfuerzo desarrollado a la largo de casi veinte años de experiencia. En este sentido, podemos decir que estamos ante una publicación pionera ya que, en la actualidad, no existe un Manual Técnico sobre Tecnologías no Convencionales, tan específico y que abarque un periodo tan largo de análisis y una diversidad tan amplia de tecnologías.

Esta publicación se compone de cinco monográficos cada uno de los cuales presenta todos los conocimientos adquiridos, tanto a nivel de estudios de I+D+I en la PECC, como a nivel de análisis en el terreno, acerca de una tecnología concreta: lagunas, humedales artificiales, filtros de turba y procesos de película fija, estando reservado el primero de los monográficos a las singularidades de la depuración en pequeñas colectividades.

Durante estas dos décadas de análisis y estudio, son muchos los técnicos que han aportado su trabajo en esta investigación experimental. Por todo ello, no quiero perder la oportunidad de agradecer el gran esfuerzo y la ilusión que el equipo humano de la PECC ha puesto en este proyecto.

La edición de este Manual no significa el fin de la investigación que se lleva a cabo en la planta, sino el final de una etapa que se cierra con las conclusiones que se presentan en estas páginas. La labor continua día a día para que el conocimiento científico siga avanzando y para que las tecnologías no convencionales logren alcanzar el máximo valor y utilidad en el sector, dadas las múltiples ventajas que conllevan, tanto medioambientales como económicas.

CAPÍTULO I

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1.- INTRODUCCIÓN | 15 |
| 2.- LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS | 19 |
| 2.1.- Definiciones | 19 |
| 2.2.- Procedencia y contaminantes | 21 |
| 2.3.- Características de las aguas residuales urbanas | 21 |
| 2.3.1.- Caudales de las aguas residuales urbanas | 22 |
| 2.3.2.- Calidades de las aguas residuales urbanas | 26 |
| 2.3.2.1.- Parámetros empleados para caracterizar las aguas residuales urbanas | 26 |
| 2.4.- El concepto de habitante equivalente | 29 |
| 3.- LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS | 31 |
| 3.1.- Necesidad de depuración de las aguas residuales urbanas | 31 |
| 3.2.- Fundamentos básicos del tratamiento de las aguas residuales urbanas | 33 |
| 3.2.1.- Recogida y conducción | 34 |
| 3.2.2.- Tratamiento | 34 |
| 3.2.2.1.- Línea de agua | 35 |
| 3.2.2.2.- Línea de lodos | 52 |
| 3.2.2.3.- Tratamiento de las aguas de tormenta | 57 |
| 3.2.3.- Evacuación | 58 |

4.- EL MARCO NORMATIVO DE LA DEPURACIÓN

| | |
|---|-----------|
| DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS | 61 |
| 4.1.- Tratamiento de las aguas residuales urbanas | 61 |
| 4.1.1.- Directiva 91/271/CEE | 61 |
| 4.1.2.- Directiva 2000/60/CE | 68 |
| 4.2.- Normativa para la reutilización de aguas residuales depuradas | 70 |
| 4.3.- Normativa referente a los lodos generados en la depuración de las aguas residuales urbanas | 72 |

5.- EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LAS PEQUEÑAS AGLOMERACIONES URBANAS:

| | |
|---|-----------|
| LAS TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES | 75 |
| 5.1.- Características de las aguas residuales urbanas en las pequeñas aglomeraciones | 76 |
| 5.1.1.- Caudales | 76 |
| 5.1.2.- Calidades | 77 |
| 5.2.- Las Tecnologías no Convencionales para la depuración de las aguas residuales de las pequeñas aglomeraciones urbanas | 78 |

6.- EL PLAN I+D DE TECNOLOGÍAS

| | |
|---|------------|
| NO CONVENCIONALES DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA | 89 |
| 6.1.- Plan I+D: Primera Fase | 92 |
| 6.1.1.- Bases del Plan | 92 |
| 6.1.2.- Construcción de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC) | 96 |
| 6.2.- Plan I+D: Segunda Fase | 98 |
| 6.2.1.- Tipificación de efluentes | 98 |
| 6.2.2.-Plan Piloto | 99 |
| 6.3.- Plan I+D: Tercera Fase | 100 |
| 6.3.1.- Plan Director de Tecnologías no Convencionales | 100 |
| 6.4.- Situación actual de las Tecnologías no Convencionales en Andalucía | 100 |
| BIBLIOGRAFÍA | 103 |

1.- INTRODUCCIÓN

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos.

A efectos de la Ley de Aguas de 1985, se entiende por contaminación: *“la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”*.

El vertido de aguas residuales sin depurar ocasiona daños al medio ambiente y riesgos para la salud humana, por lo que es preciso el tratamiento de estas aguas antes de su disposición final.

En el tratamiento de las aguas residuales éstas se someten a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, con objeto de reducir las concentraciones de los contaminantes presentes y poder verter los efluentes depurados cumpliendo la legislación vigente.

En las grandes y medianas aglomeraciones urbanas el procedimiento más habitual para el tratamiento de sus vertidos líquidos es el conocido como *Lodos Activos* en sus distintas modalidades, que desde sus primeras aplicaciones, a principios del siglo XX, se ha convertido en el tratamiento mundialmente más extendido.

En las pequeñas aglomeraciones urbanas, generalmente, la escasez de recursos técnicos y económicos hace necesario abordar la depuración de sus aguas residuales con premisas diferentes a las que se adoptan en las grandes urbes, buscando soluciones de depuración sostenibles, que presenten el mínimo coste energético, un mantenimiento simple y una gran robustez de funcionamiento. A este tipo de tecnologías se las conoce como *Tecnologías no Convencionales*.

La Junta de Andalucía ha sido pionera en la búsqueda de soluciones alternativas para la depuración de los vertidos de las pequeñas aglomeraciones urbanas, iniciando en 1987 el ***Plan Director de Tecnologías no Convencionales***.

El Plan surge de la necesidad de encontrar soluciones para la depuración de los vertidos urbanos, compatibles con las particularidades territoriales y socioeconómicas de Andalucía, donde el 85% de sus núcleos de población cuentan con menos de 2.000 habitantes.

Ante esta perspectiva, las *Tecnologías no Convencionales* se presentan como una posible alternativa: su versatilidad y adaptabilidad, su integración en el entorno y su menor coste de implantación y explotación, las hacen especialmente indicadas para la depuración de los vertidos urbanos del medio rural, en el que las limitaciones técnicas y económicas pueden comprometer seriamente la eficacia del tratamiento de las aguas residuales.

Veinte años después del comienzo del *Plan Director de Tecnologías no Convencionales*, y como fruto del mismo, más del 50% de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas existentes en la Comunidad Autónoma de Andalucía operan bajo los principios de este tipo de tecnologías.

Lamentablemente, en muchas ocasiones se ha confundido simplicidad de mantenimiento y explotación con simplicidad de diseño y de construcción, por lo que no se ha prestado la suficiente atención a la fase de dimensionamiento de los sistemas de tratamiento *no Convencionales*, ni a la posterior etapa constructiva. Este error conceptual ha tenido su reflejo en instalaciones en las que no se alcanzan los resultados esperados como consecuencia de diseños y/o construcciones inapropiados, lo que, lamentablemente, ha provocado que en muchas ocasiones se culpase del mal funcionamiento a las propias *Tecnologías no Convencionales*, sin llegar a realizar un análisis detallado de las causas de este deficiente comportamiento.

El presente **“MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES”** recoge toda la información y la experiencias acumuladas sobre este tipo de tecnologías, en los diecisiete años de funcionamiento de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes, en el seguimiento de estaciones no convencionales por todo el territorio andaluz y en el estudio de la situación de este tipo de tecnologías a nivel mundial.

El objetivo básico de este Manual es aportar la información necesaria sobre los fundamentos, parámetros de diseño, características constructivas, labores de explotación y mantenimiento y sobre los rendimientos que alcanzan las distintas *Tecnologías no Convencionales* existentes, para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas.

2.- LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

2.1.- Definiciones

El Real Decreto-Ley 11/95 de 28 de Diciembre, que transpone la Directiva 91/271/CEE, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas, establece las siguientes definiciones:

- **Aguas residuales urbanas:** *las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.*
- **Aguas residuales domésticas:** *las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.*
- **Aguas residuales industriales:** *todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.*

De las tres posibles componentes de las aguas residuales urbanas (doméstica, industrial y pluviométrica):

- Las aguas residuales domésticas siempre estarán presentes.
- La incidencia de las aguas residuales industriales dependerá del grado de industrialización de la aglomeración urbana y de la cantidad y características de los vertidos que las industrias realicen a la red de colectores municipales.
- Las aguas de escorrentía pluvial tendrán su influencia en las aglomeraciones con redes de saneamiento unitarias (lo más frecuente) y en los momentos en que se registren lluvias.

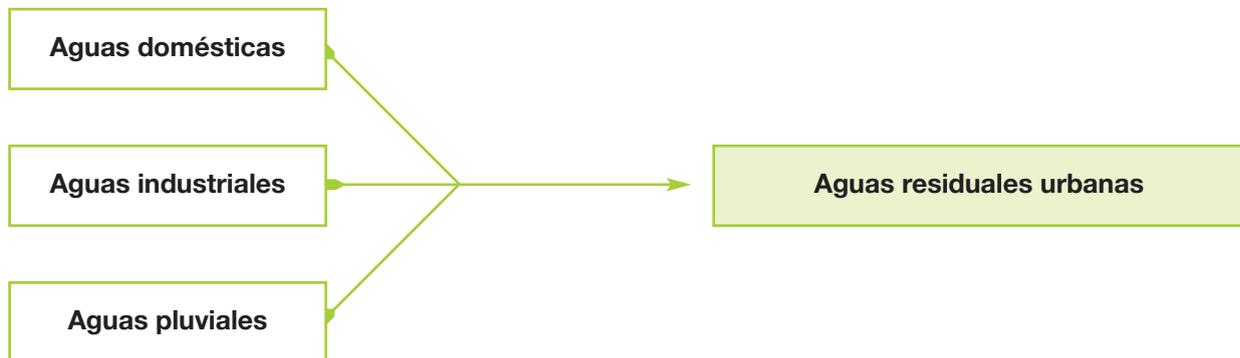


Figura 1.- Integrantes de las aguas residuales urbanas.

2.2.- Procedencia y contaminantes

La procedencia de las tres posibles componentes de las aguas residuales urbanas y los principales contaminantes que éstas que aportan, son los siguientes:

- **Aguas residuales domésticas:**
Aguas de cocina: sólidos, materia orgánica, grasas, sales, etc.
Aguas de lavadoras: sustancias tensioactivas, nutrientes, etc.
Aguas de baño: sustancias tensioactivas, contaminantes prioritarios, etc.
Aguas negras, procedentes del metabolismo humano: sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales, organismos patógenos, etc.
- **Aguas residuales industriales:** resultantes de actividades industriales que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal. Estas aguas presentan una composición muy variable dependiendo de cada tipo de industria.
- **Aguas de escorrentía pluvial:** en la mayoría de las ocasiones (sistemas de alcantarillados unitarios), las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema de alcantarillado que se emplea para la recogida y conducción de las aguas residuales domésticas e industriales.

Las aguas de lluvia no son puras, dado que se ven afectadas por la contaminación atmosférica y por los arrastres de la suciedad depositada en viales,

tejados, etc. Se caracterizan por grandes aportaciones intermitentes de caudal y por una importante contaminación en los primeros 15-30 minutos del inicio de las lluvias.

2.3.- Características de las aguas residuales urbanas

Cada agua residual es única en sus características, si bien, en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado empleado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos.

El conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas en las aglomeraciones urbanas es básico para el correcto diseño de los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las mismas.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), deben concebirse para poder hacer frente a las variaciones diarias de caudal y carga que experimentan estas aguas.

2.3.1.- Caudales de las aguas residuales urbanas

La cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana está en proporción directa con el consumo de agua de abastecimiento, y este consumo viene relacionado con el grado de desarrollo económico y social, puesto que un mayor desarrollo trae consigo un mayor y más diverso uso del agua en las actividades humanas.

Entre los factores que influyen en la cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana destacan:

- El consumo de agua de abastecimiento.
- La pluviometría (en el caso de redes de saneamiento unitarias).
- Las pérdidas, que pueden deberse a fugas en los colectores, o a que parte de las aguas consumidas no llegan a la red de alcantarillado (p.e. riego de jardines).
- Las ganancias, por vertidos a la red de alcantarillado o por intrusiones de otras aguas en la red de colectores.

Según las instrucciones para la redacción de proyectos de abastecimiento y saneamiento del agua, dictadas en su día por el Ministerio de Obras Publicas, Transportes y Medio Ambiente, MOPTMA, las dotaciones de abastecimiento para los distintos rangos poblacionales se muestran en la *Tabla 1*.

En la práctica, entre el 60 y el 85% de del agua de abastecimiento consumida se transforma en aguas residuales, dependiendo este porcentaje del consumo de agua en actividades particulares como el riego de zonas verdes, de la existencia de fugas, del empleo del agua en procesos productivos, etc.

Como consecuencia de las características y variaciones en las descargas de las aguas residuales a la red de saneamiento, del tipo de alcantarillado usado, de las diferencia en las costumbres de la comunidad aportante, del régimen de operación de las industrias servidas, del clima, etc., los caudales de las aguas residuales oscilan durante el año, cambian de un día a otro y fluctúan de una hora a otra.

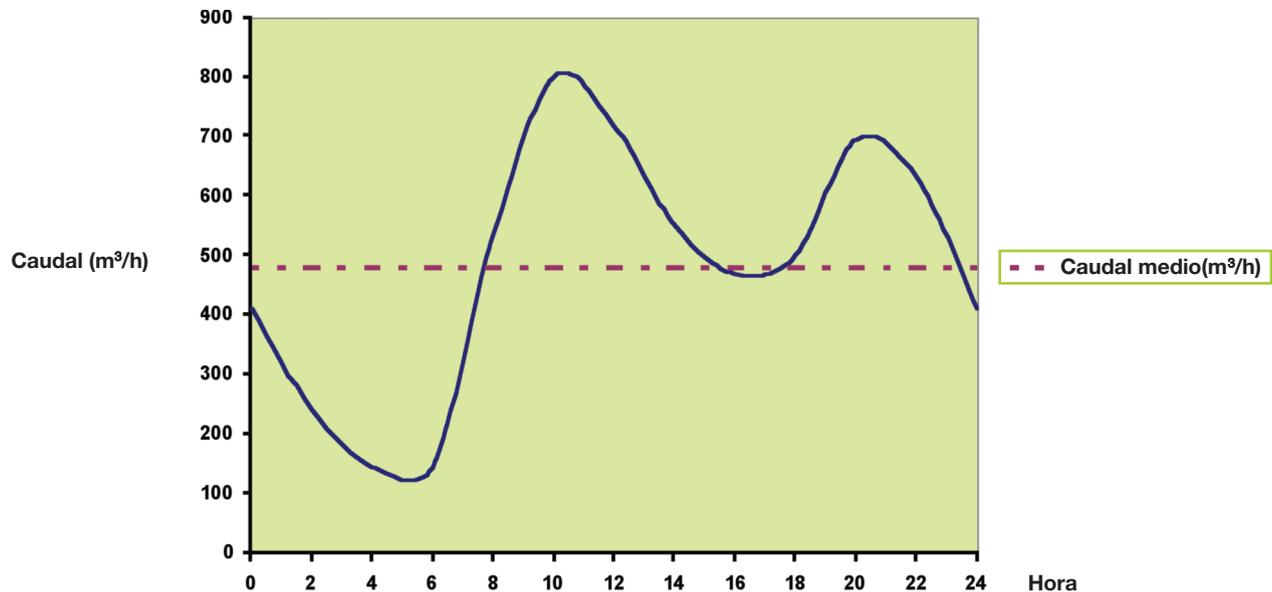
Los caudales de aguas residuales siguen una variación diaria, que es fiel reflejo de la actividad de la población del lugar (*Figura 2*). Durante la noche y primeras horas del día, en las que los consumos de agua son mínimos, también son mínimos los caudales de aguas residuales, estando estos caudales compuestos fundamentalmente por aguas infiltradas y por pequeñas cantidades de aguas residuales domésticas.

La primera punta de caudal se alcanza cuando llega a la estación depuradora el agua correspondiente al consumo punta, aproximadamente a media mañana. La segunda punta de caudal suele tener lugar a últimas horas de la tarde, entre las 19 y las 21 horas.

Tabla I. Dotaciones de abastecimiento.

| Población (habitantes) | Consumos urbanos en l/hab.d, según usos | | | | |
|------------------------|---|------------|-----------------------|-------------------------|------------|
| | Doméstico | Industrial | Servicios municipales | Fugas de redes y varios | TOTAL |
| Hasta 1.000 | 60 | 5 | 10 | 25 | 100 |
| 1.000 – 6.000 | 70 | 30 | 25 | 25 | 150 |
| 6.000 – 12.000 | 90 | 50 | 35 | 25 | 200 |
| 12.000 – 50.000 | 110 | 70 | 45 | 25 | 250 |
| 50.000 – 250.000 | 125 | 100 | 50 | 25 | 300 |
| Más de 250.000 | 165 | 150 | 60 | 25 | 400 |

Figura 2.- Evolución diaria de los caudales de las aguas residuales urbanas.



Por lo general, las curvas que representan las oscilaciones diarias del caudal de aguas residuales que llega a las estaciones de tratamiento son similares a las curvas de consumo de agua de abastecimiento, pero con un cierto retraso, como consecuencia del discurrir de las aguas por las conducciones de saneamiento, y que será tanto mayor cuanto más lejos se encuentre la EDAR de la aglomeración urbana a la que da servicio.

La evolución diaria del caudal de aguas residuales urbanas presenta un comportamiento similar al de la demanda de energía eléctrica, dado que ambos son reflejo de las actividades humanas que se van desarrollando a lo largo del día. (*Figura 3*).

Las variaciones de los caudales de las aguas residuales afectan en gran medida al diseño hidráulico tanto, de las redes de alcantarillado, como de las propias instalaciones de tratamiento.

Para las unidades de proceso que se dimensionan en base a los tiempos de retención (volumen/caudal), o a cargas superficiales (caudal por unidad de superficie), es preciso tener en cuenta los caudales punta y mínimo para lograr su correcto funcionamiento.

Para las grandes y medianas aglomeraciones urbanas, los caudales mínimos de aguas residuales pueden estimarse en torno al del 50% del caudal medio diario.

Los caudales punta pueden estimarse a partir de los caudales medios haciendo uso de la siguiente expresión empírica:

$$Q_p = Q_{med} \times (1,15 + 2,575 / Q_{med}^{0,25})$$

en la que los caudales se expresan en m³/h.

En lo referente a la relación entre el caudal punta y el caudal medio (factor de punta F_p), la *Figura 4* presenta los valores de esta relación en función de los distintos valores de Q_{med}

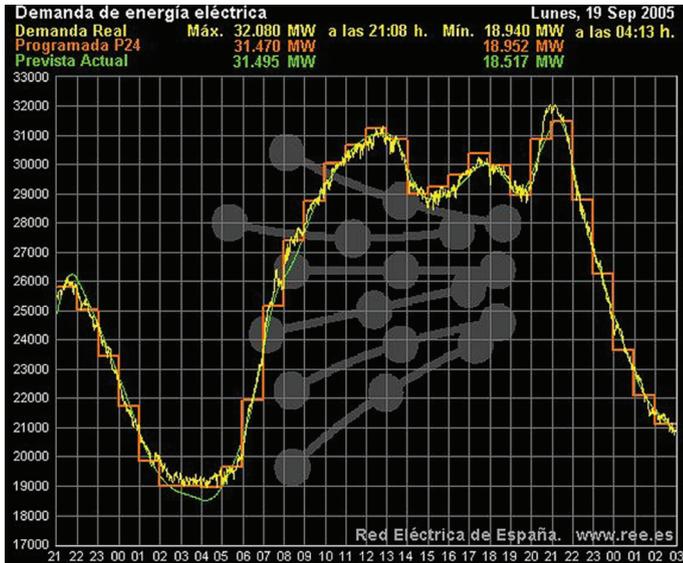
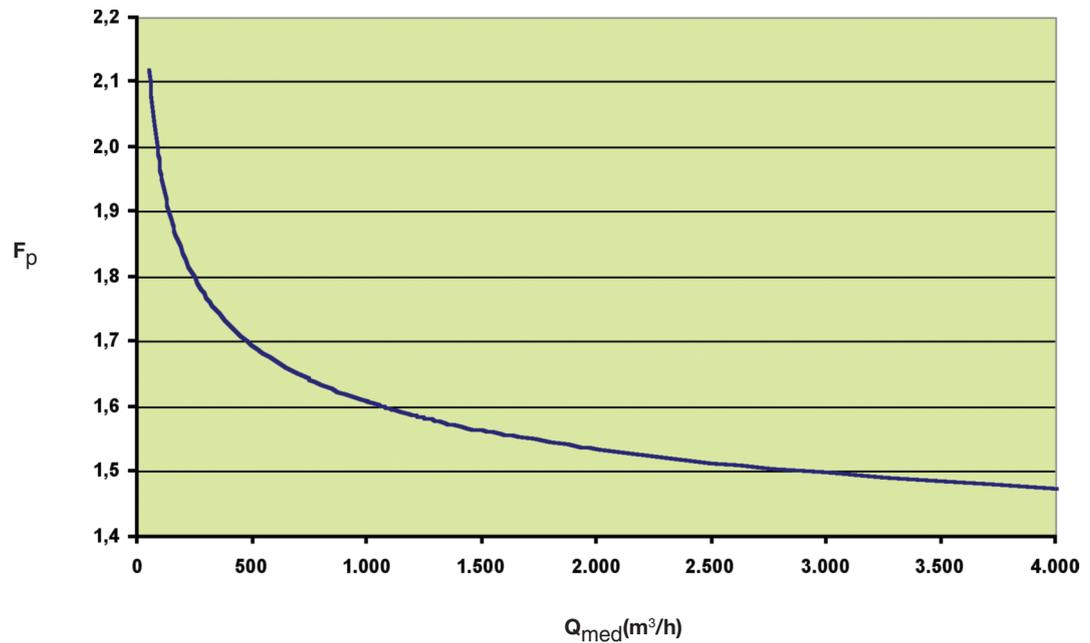


Figura 3.- Evolución diaria del consumo de energía eléctrica.
Fuente: Red Eléctrica Española

Figura 4.- Relación entre F_p y Q_{med}



2.3.2.- Calidades de las aguas residuales urbanas

Los principales contaminantes que aparecen en las aguas residuales urbanas son:

- **Objetos gruesos:** trozos de madera, trapos, plásticos, etc., que son arrojados a la red de alcantarillado.
- **Arenas:** bajo esta denominación se engloban las arenas, propiamente dichas, las gravas y las partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico.
- **Grasas y aceites:** sustancias que al no mezclarse con el agua permanecen en su superficie dando lugar a natas. Su procedencia puede ser tanto doméstica como industrial.
- **Sólidos en suspensión:** partículas de pequeño tamaño y de naturaleza y procedencia muy variadas. Aproximadamente el 60% de los sólidos en suspensión son sedimentables y un 75% son de naturaleza orgánica.
- **Sustancias con requerimientos de oxígeno:** compuestos orgánicos e inorgánicos que se oxidan fácilmente, lo que provoca un consumo del oxígeno presente en el medio al que se vierten.
- **Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo):** su presencia en las aguas es debida principalmente a detergentes y fertilizantes. Igualmente, las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico.

- **Agentes patógenos:** organismos (bacterias, protozoos, helmintos y virus), presentes en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que pueden producir o transmitir enfermedades.
- **Contaminantes emergentes o prioritarios:** los hábitos de consumo de la sociedad actual generan una serie de contaminantes que no existían anteriormente. Estas sustancias aparecen principalmente añadidas a productos de cuidado personal, productos de limpieza doméstica, productos farmacéuticos, etc. A esta serie de compuestos se les conoce bajo la denominación genérica de contaminantes emergentes o prioritarios, no eliminándose la mayoría de ellos en las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales urbanas.

En el tratamiento convencional de las aguas residuales urbanas, la reducción del contenido en los contaminantes descritos suele hacerse de forma secuencial y en el orden en que estos contaminantes se han enumerado anteriormente.

2.3.2.1.- Parámetros empleados para caracterizar las aguas residuales urbanas

Para caracterizar las aguas residuales se emplea un conjunto de parámetros que sirven para cuantificar los contaminantes definidos en el apartado anterior. Los parámetros de uso más habitual son los siguientes:

Aceites y Grasas: el contenido en aceites y grasas presentes en un agua residual se determina mediante

su extracción previa, con un disolvente apropiado, y la posterior evaporación del disolvente.

Sólidos en suspensión: sólidos que no pasan a través de una membrana filtrante de un tamaño determinado (0,45 micras). Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los sólidos sedimentables (que decantan por su propio peso) y los no sedimentables.

Sustancias con requerimiento de oxígeno: para la caracterización de estas sustancias los dos parámetros más usuales son:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5):** cantidad de oxígeno (mg/l), necesaria para oxidar biológicamente los componentes de las aguas residuales. En el transcurso de los cinco días de duración del ensayo, se consume aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** cantidad de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas.

La relación DBO_5/DQO indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas:

- $DBO_5/DQO \geq 0,4$ ➤
Aguas residuales muy biodegradables
- $DBO_5/DQO 0,2 - 0,4$ ➤
Aguas residuales biodegradables
- $DBO_5/DQO \leq 0,2$ ➤
Aguas residuales poco biodegradables

Nitrógeno: se presenta en las aguas residuales en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco (fundamentalmente) y de nitratos y nitritos. Para su determinación se recurre generalmente a métodos espectrofotométricos.

Fósforo: en las aguas residuales aparece principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. Para su determinación se emplean normalmente métodos espectrofotométricos.

Organismos patógenos: virus, bacterias, protozoos y helmintos. Al ser muy difícil su aislamiento se emplean, habitualmente, los coliformes como organismo indicador.

Los rangos habituales de estos parámetros en las aguas residuales urbanas procedentes de grandes y medianas aglomeraciones urbanas se recogen en la *Tabla II*.

Tabla II.- Valores típicos de los principales contaminantes de las aguas residuales urbanas.

| Parámetro | Rango habitual |
|---------------------------------|----------------|
| Sólidos en Suspensión (mg/l) | 150 – 300 |
| DBO_5 (mg/l) | 200 – 300 |
| DQO (mg/l) | 300 – 600 |
| Nitrógeno (mg N/l) | 50 – 75 |
| Fósforo (mg P/l) | 15 – 20 |
| Grasas (mg/l) | 50 – 100 |
| Coliformes Fecales (UFC/100 ml) | $10^6 - 10^7$ |

Elaboración propia a partir de datos bibliográficos.

De manera similar a la forma que en que fluctúan a lo largo del día los caudales de las aguas residuales que llegan a las estaciones depuradoras, fluctúan también sus componentes (Figura 5).

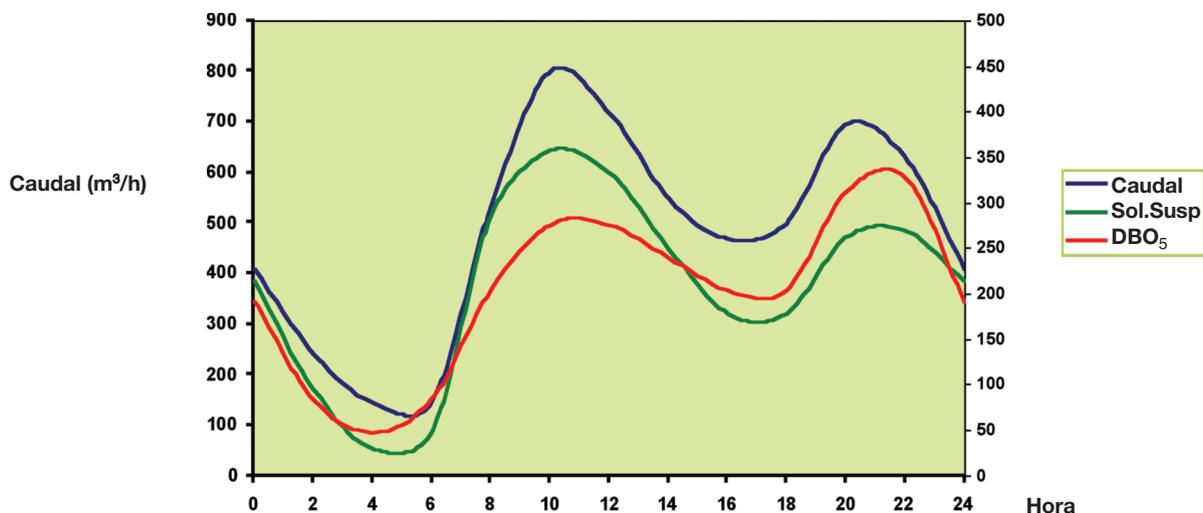
Dada la variación a lo largo del día de las características de las aguas residuales urbanas, para su correcta caracterización se precisa que la toma de muestras sea representativa. Por ello, lo correcto en una campaña de muestreo es proceder a la toma de muestras a intervalos regulares de tiempo a lo largo de todo un día, procediendo a determinar los caudales en el momento de la toma de muestras individuales. En estas muestras individuales se

determinarán los parámetros que deben medirse “in situ”: pH, Conductividad, Oxígeno disuelto y Temperatura.

Al finalizar la jornada de muestreo, se procederá a la confección de una única muestra a partir de las muestras individuales, tomando de éstas cantidades proporcionales a los caudales medidos en el momento de las tomas.

La muestra así confeccionada se remitirá, convenientemente conservada, lo más rápido posible a laboratorio, para las realización de la pertinentes determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas.

Figura 5.- Evolución diarias del caudal, de los sólidos en suspensión y de la DBO₅ en las aguas residuales urbanas.



2.4.- El concepto de habitante equivalente

De forma similar a la definición de patrones para la determinación de longitudes, pesos, tiempos, etc., se ha adoptado un patrón para la medición de la contaminación biodegradable presente en las aguas residuales. Este patrón se conoce con el nombre de **habitante equivalente** y relaciona caudales y calidades de las aguas residuales

La Directiva 91/271/CEE define el concepto de *habitante equivalente (h.e.)* como **“la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO₅) de 60 g de oxígeno por día”**.

Conocido el caudal de aguas residuales (Q) generado por una aglomeración urbana y su valor de **DBO₅**, la población equivalente se determina mediante la expresión:

$$h.e. = Q (m^3/d) \times DBO_5 (mg/l) / 60 g DBO_5 /d$$

En aquellas aglomeraciones en las que los aportes de vertidos biodegradables distintos a los de procedencia doméstica sean nulos, o de escasa importancia, la población equivalente será muy similar a la población de hecho de la aglomeración.

Se estima como valor habitual de la relación población equivalente / población de hecho un factor de 1,5 – 2.

ALGUNOS DATOS DE INTERÉS SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

Distribución típica del consumo doméstico:

| | |
|---------------|-----|
| Baño-Ducha: | 30% |
| Sanitarios: | 30% |
| Lavadora: | 20% |
| Grifos: | 10% |
| Lavavajillas: | 5% |
| Fugas: | 5% |

Consumos típicos:

| | |
|-------------------------|--------------|
| Lavadora automática: | 150 l/lavado |
| Bañera: | 100 l/baño |
| Ducha: | 60 l/uso |
| Lavavajillas: | 30 l/lavado |
| Sanitario con cisterna: | 15 l/uso |
| Lavabo: | 5 l/uso |

Aportaciones medias de contaminantes:

| | |
|------------------------|----------------------------------|
| Sólidos en suspensión: | 60 g/habitante.d |
| DBO ₅ : | 60 g/habitante.d |
| Nitrógeno: | 15 g/habitante.d |
| Fósforo: | 4 g/habitante.d |
| Aceites y grasas: | 20 g/habitante.d |
| Cloruros: | 7 g/habitante.d |
| Detergentes: | 9 g/habitante.d |
| Coliformes: | 10 ¹¹ col/habitante.d |

Elaboración propia a partir de datos bibliográficos.

3.- LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

3.1.- Necesidad de depuración de las aguas residuales urbanas

El vertido de aguas residuales urbanas sin depurar ejerce sobre los cauces receptores toda una serie de efectos negativos:

Aparición de fangos y flotantes: la fracción sedimentable de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales origina sedimentos en el fondo de los cauces, mientras que, la fracción flotante da lugar a la acumulación de grandes cantidades de sólidos en la superficie y/o en las orillas de los cauces receptores.

Los depósitos de fangos y flotantes no sólo provocan un desagradable impacto visual, sino que, además, al contener materia orgánica pueden llegar a provocar el agotamiento del oxígeno disuelto presente en las aguas y originar el desprendimiento de malos olores.

Agotamiento del contenido de oxígeno presente en las aguas: los componentes de las aguas residuales fácilmente oxidables comenzarán a ser degradados vía aerobia por la flora bacteriana presente en las aguas del cauce, con el consiguiente consumo de parte del oxígeno disuelto

en la masa líquida. Si este consumo es excesivo, el contenido en oxígeno disuelto descenderá por debajo de los valores mínimos necesarios para el desarrollo de la vida acuática. Consumido el oxígeno disponible, los procesos de degradación vía anaerobia generarán olores desagradables, al liberarse gases que son los causantes de estos olores.

Aportes excesivos de nutrientes: las aguas residuales contienen nutrientes (N y P principalmente), causantes del crecimiento descontrolado de algas y otras plantas en los cauces receptores (eutrofización). Este crecimiento excesivo de biomasa puede llegar a impedir el empleo de estas aguas para usos domésticos e industriales.

Daños a la salud pública: los vertidos a cauces públicos de las aguas residuales sin tratar pueden fomentar la propagación de organismos patógenos para el ser humano (virus, bacterias, protozoos y helmintos). Entre las enfermedades que pueden propagarse a través de las aguas contaminadas por los vertidos de aguas residuales urbanas, destacan: el tífus, el cólera, la disentería y la hepatitis A.

La baja disponibilidad de oxígeno disuelto limita la capacidad autodepuradora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales antes de su vertido a cauce.

Las estaciones depuradoras van a eliminar una elevada proporción de los contaminantes presentes en las aguas residuales, vertiendo efluentes depurados,

que puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores (Figura 6).

Puede, por tanto, considerarse a las estaciones de tratamiento como un “*complemento artificial, e imprescindible hoy en día*” de los procesos naturales que se dan en las masas acuáticas, al haberse ya sobrepasado ampliamente su capacidad de autodepuración.

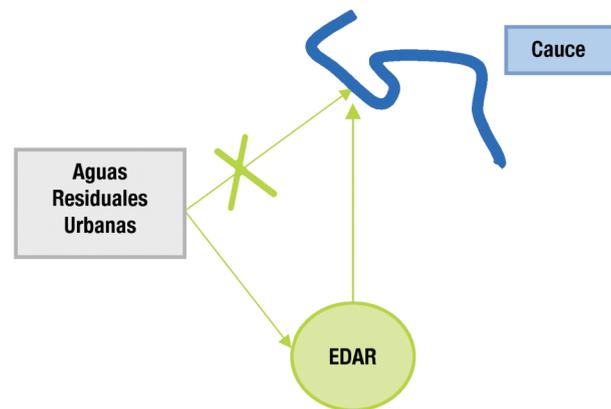


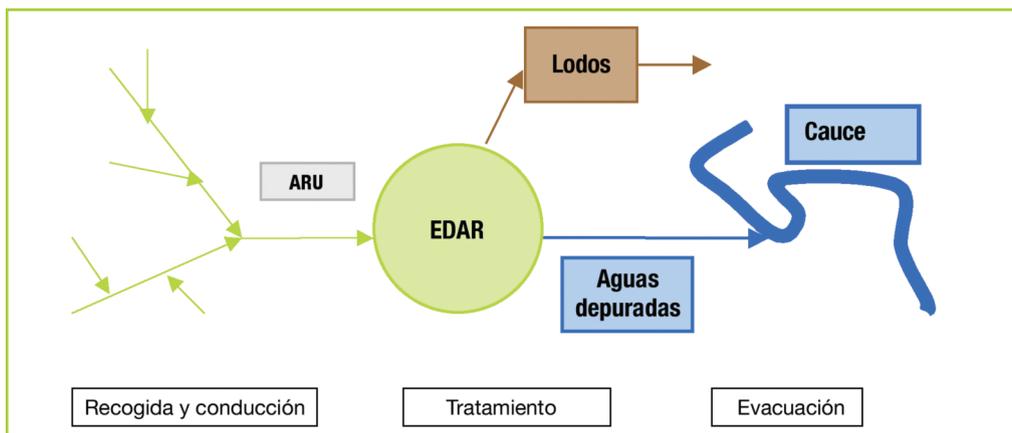
Figura 6.- Tratamiento de las aguas residuales urbanas.

3.2.- Fundamentos básicos del tratamiento de las aguas residuales urbanas

Las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales urbanas constan de tres elementos principales:

- **Recogida y conducción** de las aguas residuales hasta la estación de tratamiento.
- **Tratamiento** propiamente dicho de las aguas residuales.
- **Evacuación** de los productos resultantes del tratamiento: efluentes depurados y lodos

Figura 7.- Elementos constituyentes del tratamiento de las aguas residuales urbanas.



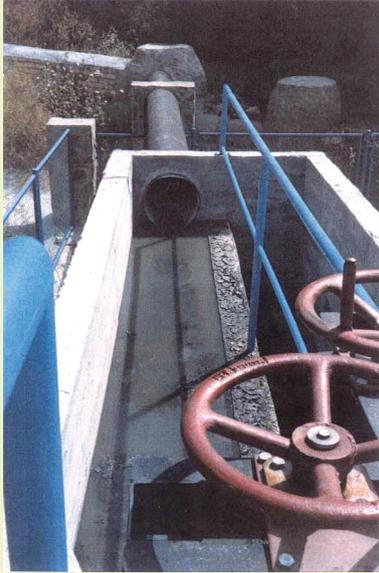


Figura 8.- Colector y aliviadero en la obra de llegada a una EDAR.

3.2.1.- Recogida y conducción

La recogida y conducción de las aguas residuales desde donde se generan hasta la estación depuradora se realiza a través de una compleja red de tuberías (*alcantarillado, colectores*). Dependiendo de la topografía, las aguas discurrirán por gravedad o será necesario recurrir a su bombeo.

Habitualmente, los sistemas de recogida son *unitarios*, es decir, la red de saneamiento recoge tanto las aguas residuales como las de lluvia. En oca-

siones, los colectores que llegan a la estación de tratamiento transportan tan sólo aguas residuales, mientras que las aguas de lluvia se recogen en colectores independientes (*sistemas separativos*).

Con el objetivo de que a la estación depuradora no llegue más caudal del proyectado, en los colectores y/o en las obras de llegada a las EDAR, se instalan *aliviaderos*, que permiten derivar los excesos de caudal. Esta situación tiene lugar principalmente en los períodos en que se registran fuertes lluvias.

Igualmente, para poder derivar todo el agua residual antes de su entrada a la depuradora, en caso de problemas de funcionamiento, se instala a la llegada de los vertidos un *by-pass general*.

También, se disponen *by-pass parciales* detrás de cada etapa del tratamiento de las aguas, para poder proceder al vertido de los efluentes de estas etapas sin pasar por la fase siguiente, en caso de que se registren incidentes operativos. Estos *by-pass* suelen descargar en una misma línea, junto con el *by-pass general* y los efluentes depurados.

3.2.2.- Tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden

en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores.

En las depuradoras convencionales de aguas residuales se distinguen dos líneas de tratamiento:

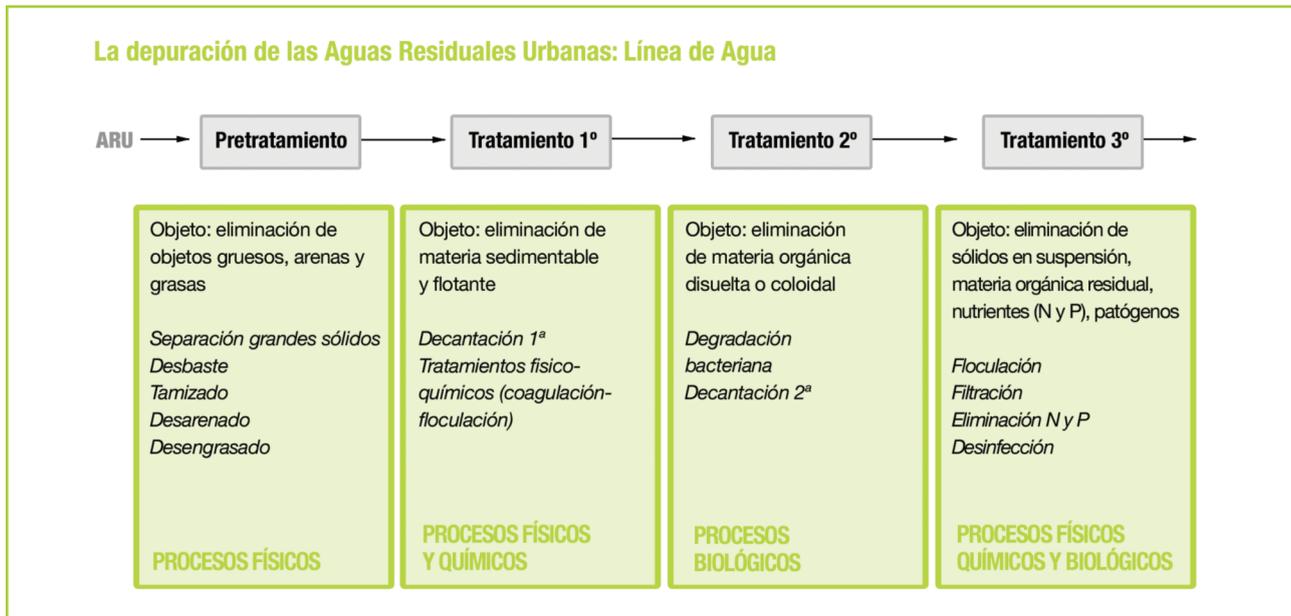
- **Línea de agua:** incluye los procesos o tratamientos que permiten reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales.

- **Línea de lodos:** en ella se tratan la mayor parte de los subproductos que se originan en la línea de agua.

3.2.2.1.- Línea de agua

La *Figura 9* muestra los distintos tratamientos englobados en la línea de agua, el objeto de estos tratamientos y la naturaleza de los procesos que en ellos tienen lugar.

Figura 9.- Etapas de la línea de agua en el tratamiento de las aguas residuales urbanas.



Pretratamiento

Las aguas residuales antes de su tratamiento, propiamente dicho, se someten a un *Pretratamiento*, que comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objetivo separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias, que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores del tratamiento.

El correcto diseño, y posterior mantenimiento, de la etapa de *Pretratamiento*, son aspectos de gran importancia, pues cualquier deficiencia en los mismos repercute negativamente en el resto de las instalaciones, originando obstrucciones de tuberías, válvulas y bombas, desgaste de equipos, formación de costras, etc.

Dentro del *Pretratamiento* se incluyen las siguientes operaciones:

- *Separación de grandes sólidos*
- *Desbaste*
- *Tamizado*
- *Desarenado y Desengrasado*

Separación de grandes sólidos: cuando en las aguas residuales a tratar se prevea la presencia de sólidos de gran tamaño, o una excesiva cantidad de arenas, se recurre a instalar en cabecera de la instalación de depuración un pozo de gruesos, que permita la separación de estos elementos.

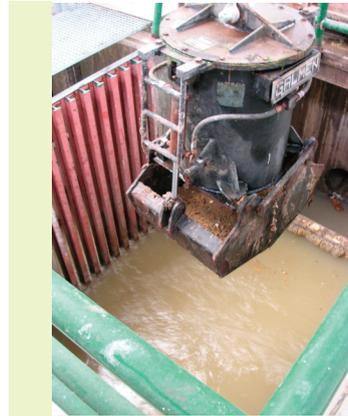


Figura 10.- Pozo de gruesos y cuchara bivalva.

El pozo de gruesos se sitúa a la entrada del colector a la EDAR, presentando su parte inferior forma de tronco de pirámide invertido, de paredes muy inclinadas, al objeto de concentrar los sólidos a eliminar en una zona específica, desde la que sea fácil su extracción.

La retirada de los sólidos depositados se efectúa mediante una cuchara anfibia, con movimientos de desplazamientos verticales y horizontales mediante polipasto y grúa pórtico.

Los residuos extraídos por la cuchara se depositan en contenedores, como paso previo a su envío a vertedero.

Desbaste: el objetivo del desbaste es la eliminación de los sólidos de tamaño mediano-pequeño (trozos de madera, trapos, raíces, etc.), presentes en las aguas residuales, que de otro modo podrían deteriorar o bloquear los equipos mecánicos y obstruir el paso de la corriente de agua.

El procedimiento más usual consiste en hacer pasar las aguas a través de rejas, que de acuerdo con la separación entre los barrotes pueden clasificarse en:

- Desbaste de gruesos: el paso libre entre los barrotes es de 50 a 100 mm.
- Desbaste de finos: el paso libre entre los barrotes es de 10 a 25 mm.



Figura 11.- Desbaste de gruesos seguido de desbaste de finos, empleando rejas rectas de limpieza manual.

En función de su geometría, las rejas pueden ser rectas o curvas y, según como se ejecute la extracción de los residuos retenidos en los barrotes, se distingue entre rejas de limpieza manual y rejas de limpieza automática.

En grandes instalaciones de depuración se hacen pasar los residuos extraídos de las rejas por mecanismos de compactación, con objeto de reducir su volumen antes de ser depositados en contenedores.



Figura 12.- Reja curva de limpieza automática.

Tamizado: tiene por objeto la reducción del contenido en sólidos en suspensión de las aguas residuales, mediante su filtración a través de un soporte delgado dotado de ranuras de paso.

Se distingue entre *tamices estáticos autolimpiantes*, *tamices rotativos* y *tamices deslizantes*.

Los *tamices estáticos autolimpiantes* constan de un enrejado, constituido por barras horizontales de acero inoxidable, rectas o curvadas, de sección triangular, orientadas de tal forma que la parte plana se encara al flujo. La inclinación de este enrejado disminuye progresivamente de arriba abajo, entre 65° y 45° aproximadamente. Con ello se consiguen, de forma sucesiva, los efectos de separación, escurrido y evacuación, de las partículas de mayor tamaño que la luz de paso del tamiz.

El agua a tratar se alimenta por la parte superior del tamiz, los sólidos de tamaño superior a la luz de paso quedan retenidos por el enrejado y, debido a la inclinación de éste, ruedan hasta un contenedor situado en la parte inferior. Por su parte, la fracción líquida, conteniendo los sólidos de tamaño inferior al tamaño de paso, atraviesa el enrejado y se recoge en una tubería situada en la parte inferior del tamiz.

Los *tamices rotativos* están constituidos por un enrejado cilíndrico de eje horizontal, formado por barras de acero inoxidable, de sección trapezoidal. El enrejado gira lentamente accionado por un motorreductor.

La alimentación al tamiz se efectúa por su parte exterior. Los sólidos de tamaño superior a la luz de paso quedan retenidos en la parte externa del cilindro, y la eliminación de la capa de sólidos retenidos en la periferia del tamiz se logra mediante la acción de una cuchilla y del propio giro de la unidad.

La fracción líquida, con los sólidos de tamaño inferior a la luz de paso, atraviesa el enrejado cilíndrico y se conduce hacia la zona de evacuación.

Los *tamices deslizantes* son de tipo vertical y continuo, su luz de paso oscila entre los 0,2 y 3 mm y se suelen emplear en la operación de *desbaste de finos*.



Figura 13.-
Tamiz estático
autolimpiante.



Figura 14.- Tamiz rotativo.



Figura 15.- Tamices deslizantes.
(Fuente: Cotragua S.L.)

Desarenado: tiene por objetivo la eliminación de materias pesadas de tamaño superior a 0,2 mm, para evitar que sedimenten en canales y conducciones y para proteger a las bombas y otros elementos de la abrasión.

Aparte de las arenas, propiamente dichas, en esta operación se eliminan también gravas y partículas minerales, así como elementos de origen orgánico, no putrescibles (granos de café, semillas, huesos, cáscaras de frutas y huevos, etc.).

Los *canales desarenadores* pueden ser de flujo variable o de flujo constante.

Los *canales desarenadores de flujo variable* se emplean en pequeñas instalaciones de depuración, y en ellos las arenas se extraen manualmente de un canal longitudinal, con una capacidad para el almacenamiento de arenas de 4-5 días.

Los *canales desarenadores de flujo constante* mantienen una velocidad de paso fija, en torno a 0,3 m/s, independientemente del caudal que los atraviesa, con lo que se logra que sedimente la mayor parte de las partículas de origen inorgánico y la menor parte posible de las de origen orgánico (< 5% de materia orgánica).



Figura 16.- Desarenador de flujo variable de doble canal.

Desengrasado: en esta etapa se eliminan las grasas y demás materias flotantes más ligeras que el agua. Dentro de los desengrasadores se distingue entre los desengrasadores estáticos y los desengrasadores aireados.

En los *desengrasadores estáticos* se hacen pasar las aguas a través de un depósito dotado de un tabique, que obliga a las aguas a salir por la parte inferior del mismo, lo que permite que los componentes de menor densidad que el agua queden retenidos en la superficie. La retirada de las grasas se lleva a cabo de forma manual, haciendo uso de un recoge hojas de piscina, o mediante el empleo de una tubería acanalada giratoria, que se sitúa al final del desengrasador.

En los *desengrasadores aireados* se inyecta aire con objeto de desemulsionar las grasas y lograr una mejor flotación de las mismas.

En plantas de tamaño medio-grande las operaciones de desarenado y desengrasado se llevan a cabo de forma conjunta en unidades de tratamiento conocidas como desarenadores-desengrasadores aireados.



Figura 17.- Desengrasador estático, con tubería acanalada giratoria para la retirada de los flotantes.



Figura 18.- Detalle interno de un desarenador-desengrasador aireado.



Figura 19.- Desarenador-desengrasador aireado.

Medición de caudal

Si bien, los dispositivos que se emplean para la medición de los caudales no ejercen ningún efecto de depuración sobre las aguas residuales, sí juegan un papel importante, al poder determinar los caudales de aguas a tratar y los realmente tratados, lo que permite ajustar las condiciones operativas de las distintas etapas del tratamiento y obtener el coste del tratamiento por unidad de volumen tratado.

La ubicación de los medidores de caudal tras el Pretratamiento pretende minimizar los problemas asociados a obturaciones, desgastes, formación de depósitos de grasas, etc.

Figura 20.- Canal Parshall con medidor de nivel por ultrasonidos.





Figura 21.- Caudalímetro electromagnético.



Figura 22.- Medición de caudal en vertedero triangular.

Tratamientos Primarios

El Real Decreto-Ley 11/95 define Tratamiento Primario como “*el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO₅ de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%*”.

El principal objetivo de los Tratamientos Primarios se centra en la eliminación de sólidos en suspensión, consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica.



Figura 23.- Decantador primario.

Los Tratamientos Primarios más habituales son la *Decantación primaria* y los *Tratamientos fisicoquímicos*.

Decantación primaria: su objetivo es la eliminación de la mayor parte posible los sólidos sedimentables, bajo la acción exclusiva de la gravedad. La retirada de estos sólidos es muy importante, ya que en caso contrario originarían fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento de la estación.

Tratamientos fisicoquímicos: en este tipo de tratamiento, mediante la adición de reactivos químicos, se consigue mejorar la reducción de los sólidos en suspensión, al eliminarse, además, sólidos coloidales, al incrementarse el tamaño y densidad de los mismos mediante procesos de coagulación-floculación.

Los *Tratamientos fisicoquímicos* se aplican fundamentalmente:

- Cuando las aguas residuales presentan vertidos industriales que pueden afectar negativamente al tratamiento biológico.
- Para evitar sobrecargas en el posterior tratamiento biológico.
- Cuando se dan fuertes variaciones estacionales de caudal.
- Para la reducción del contenido en fósforo.

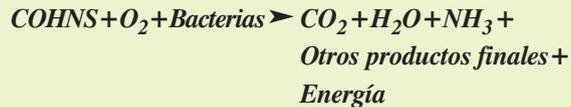
Tratamientos Secundarios

El Real Decreto-Ley 11/95 define Tratamiento Secundario como “*el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente (ver Tabla IV, Apartado 4)*”.

El tratamiento biológico se realiza con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Una parte de la materia orgánica es oxidada por la flora bacteriana, que obtiene de esta forma la energía necesaria para el mantenimiento celular.

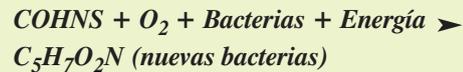
Oxidación



Donde COHNS representa los elementos predominantes en la materia orgánica presente en las aguas residuales.

De forma simultánea, otra fracción de materia orgánica se convierte en nuevo tejido celular (síntesis), empleándose para ello la energía liberada en la fase de oxidación.

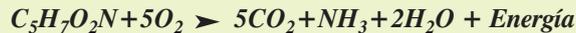
Síntesis



Donde $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ representa la composición media de los microorganismos encargados de la biodegradación de la materia orgánica (Hoover y Porges, 1952).

Finalmente, cuando se consume la materia orgánica disponible, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para su mantenimiento. Este tercer proceso se conoce como respiración endógena.

Respiración endógena



El aporte de oxígeno para el mantenimiento de las reacciones de oxidación, síntesis y respiración endógena, se efectúa introduciendo oxígeno, generalmente en forma de aire, en los recipientes en que se llevan a cabo estas reacciones, recipientes que se conocen con el nombre de Reactores Biológicos o Cubas de Aireación.

Los dos métodos más habituales para el aporte de oxígeno a los reactores biológicos hacen usos de aireadores mecánicos o de difusores.

Las nuevas bacterias que van apareciendo en los reactores, como consecuencia de las reacciones de síntesis, tienden a unirse (floculación), formando agregados de mayor densidad que el líquido circundante, y en cuya superficie se va adsorbiendo la materia en forma coloidal.

Para la separación de estos agregados, conocidos como lodos o fangos, el contenido de los reactores biológicos (licor de mezcla), se conduce a una etapa posterior de sedimentación (decantación o clarificación secundaria), donde se consigue la separación de los lodos de los efluentes depurados por la acción de la gravedad.

De los lodos decantados una fracción se purga como lodos en exceso, mientras que otra porción se recircula al reactor biológico, para mantener en él una concentración determinada de microorganismos (*Figura 24*).

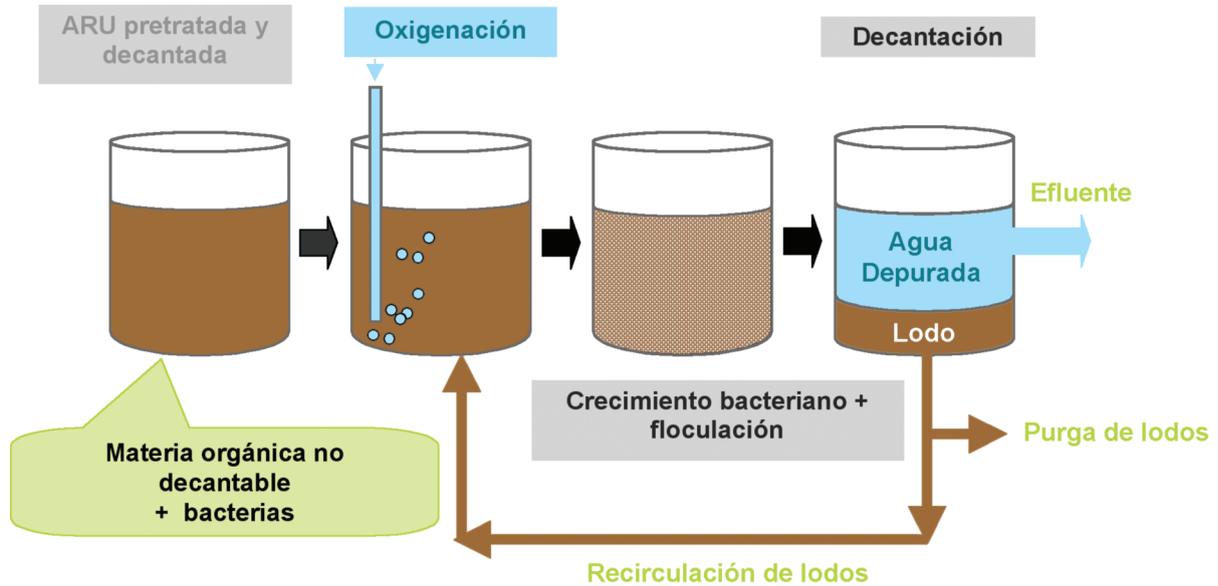


Figura 24.- Esquema básico del Tratamiento Secundario.

El proceso descrito, que se conoce como proceso de Lodos Activos, fue desarrollado en 1914 en Inglaterra por Arden y Lockett, y hoy en día, esta tecnología en sus distintas modalidades (Convencional, Flujo Pistón, Contacto-Estabilización, Aireación Prolongada, etc.), es el que se aplica más ampliamente para el tratamiento de las aguas residuales urbanas.



Figura 25.- Cuba biológica con aireador mecánico superficial.



Figura 26.- Cuba biológica con aireación por difusores.



Figura 27.- Detalle de una parrilla de difusores.



Figura 28.- Decantador secundario.

Tratamientos terciarios

Los Tratamientos Terciarios (conocidos también como tratamientos avanzados, más rigurosos, complementarios, etc.), permiten obtener efluentes finales de mejor calidad, para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes, o para que puedan ser reutilizados en otros usos.

La eliminación de materia particulada y coloidal presente en los efluentes depurados, puede lograrse mediante la aplicación de tratamientos fisicoquímicos (coagulación-floculación) y de una posterior etapa de separación (decantación, filtración).

Para la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos. No obstante, el caso del de fósforo, los procesos de precipitación química, empleado sales de hierro y de aluminio, continúan siendo hoy en día los de mayor aplicación.

En la eliminación biológica de nitrógeno se opera de forma secuencial, bajo condiciones óxicas y anóxicas, que dan como resultado final la liberación de este nutriente a la atmósfera, en forma de nitrógeno gaseoso.

Para la eliminación biológica del fósforo se combinan reactores operando bajo condiciones anaerobias, óxicas y anóxicas, quedando el fósforo almacenado en los microorganismos, que posteriormente se extraen como lodos en exceso.

Figura 29.- Reactores tipo carrusel, con zonas óxicas y anóxicas para la eliminación biológica de nitrógeno.



Combinando los procesos anteriores también es posible la eliminación conjunta de ambos nutrientes.

Con relación a la desinfección de los efluentes depurados, si bien el cloro ha sido, y continua siendo, el desinfectante típico en el campo de las aguas residuales, al incrementarse el número de requisitos para lograr bajas o indetectables cantidades de cloro residual en los efluentes tratados, se hace precisa la implantación de procesos posteriores de dechloración, o bien, la sustitución de los sistemas de cloración por sistemas de desinfección alternativos, tales como la radiación UV, el empleo de ozono o el empleo de membranas.

Los rendimientos medios de depuración que se alcanzan en función de tipo de tratamiento aplicado a las aguas residuales urbanas se muestran en la *Tabla III*.

Figura 30.- Laberinto de cloración.



Tabla III.- Rendimientos medios de depuración en función del tipo de tratamiento.

| | Sólidos en suspensión % | DBO ₅ % | E. coli % |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|
| Pretratamiento | 5 – 15 | 5 – 10 | 10 – 25 |
| Tratamientos Primarios | 40 – 70 | 25 – 40 | 5 – 15 |
| Tratamientos Secundarios | 80 – 90 | 80 – 95 | 90 – 98 |
| Tratamientos Terciarios | 50 – 75 | 95 – 98 | 98 – 99 |

Elaboración propia a partir de datos bibliográficos.

La evolución del número de estaciones depuradoras implantadas en España, clasificadas en función del tipo de tratamiento que llevan a cabo, se muestra en la *Figura 31*.

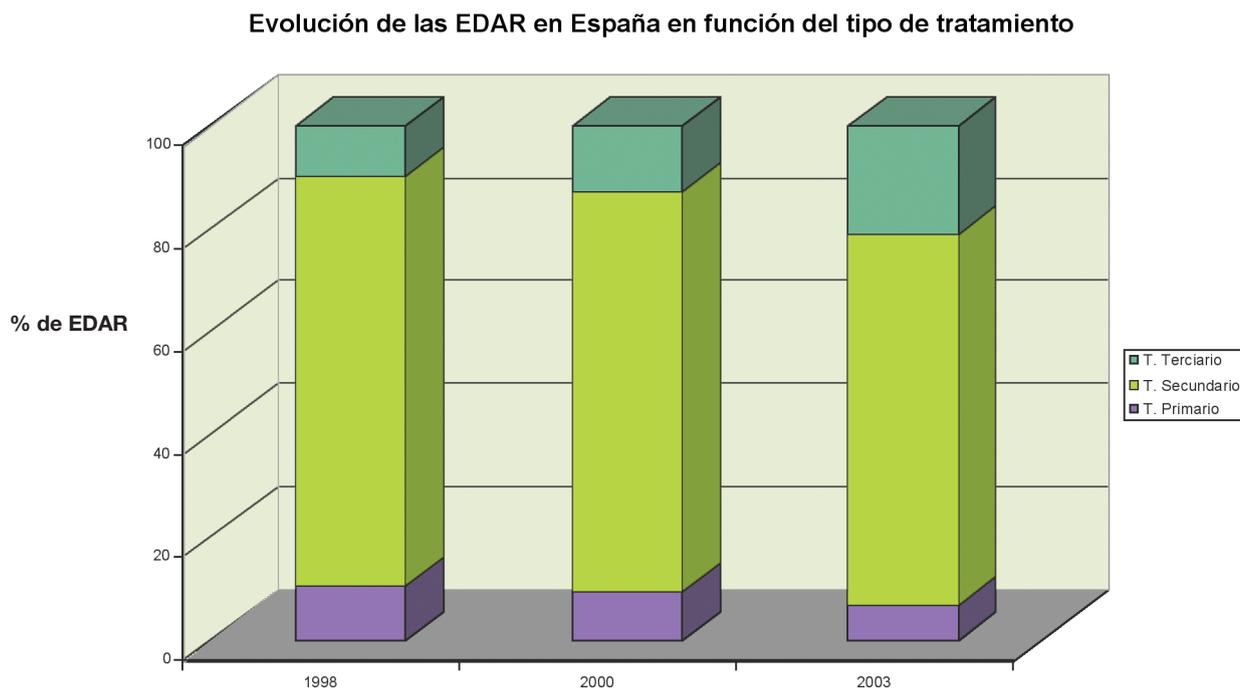


Figura 31.- Evolución de los tipos de tratamiento de las aguas residuales en España.

Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

3.2.2.2.- Línea de lodos

El tratamiento de las aguas residuales conduce a la producción de unos subproductos conocidos como lodos o fangos.

Cabe distinguir entre lodos primarios (sólidos decantados en el tratamiento primario) y lodos secundarios o biológicos (sólidos decantados en el clarificador tras el paso de las aguas por el reactor biológico).

La *Figura 32* muestra los distintos tratamientos englobados en la línea de lodos, el objeto de estos tratamientos y la naturaleza de los procesos que en ellos tienen lugar.



Figura 32.- Etapas de la línea de lodos en el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Espesamiento

Esta etapa del tratamiento incrementa la concentración de los lodos mediante la eliminación de parte del agua que contienen. Los métodos de espesamiento más habituales son por gravedad y por flotación, siendo éste último el más apropiado para el espesamiento de los lodos biológicos.

Estabilización

En esta fase se reduce la fracción biodegradable presente en los lodos, para evitar su putrefacción. La estabilización puede hacerse mediante:

- Digestión aerobia o anaerobia (se elimina en torno al 40-50% de la materia orgánica presente en el lodo).
- Estabilización química, mediante la elevación del pH por adición de cal.
- Tratamiento térmico.



Figura 33.- Espesadores de lodos, por gravedad y por flotación.



Figura 34.- Digestor anaerobio para la estabilización de los lodos.



Figura 35.- Gasómetro para el almacenamiento del biogás generado en la etapa de estabilización anaerobia de los lodos.

Acondicionamiento

En esta etapa, mediante la adición de productos químicos, se mejora la deshidratación de los lodos, facilitando la eliminación del agua que contienen.



Figura 36.- Equipo para el acondicionamiento químico de los lodos antes de su deshidratación.

Deshidratación

En esta última fase del tratamiento se elimina parte del agua contenida en los lodos, transformándolos en sólidos fácilmente manejables y transportables. Los lodos deshidratados presentan un 20-25% de materia seca.

Los métodos de deshidratación más habituales son:

- Centrifugación
- Filtros banda
- Secado térmico
- Eras de secado



Figura 37.- Centrífuga para la deshidratación de los lodos.



Figura 38.- Deshidratación de lodos mediante filtro banda.



Figura 39.- Eras de secado de lodos.

El objetivo último de una estación depuradora de aguas residuales urbanas se centra en **“lograr el tratamiento de estas aguas, al objeto de evacuar unos efluentes depurados, que cumplan los requisitos de calidad establecidos en la normativa vigente, con el mínimo coste económico y medioambiental posible”**.

Un diagrama de flujo completo de una estación depuradora de aguas residuales urbanas, basada en la tecnología de Lodos Activos, puede verse en la *Figura 40*.

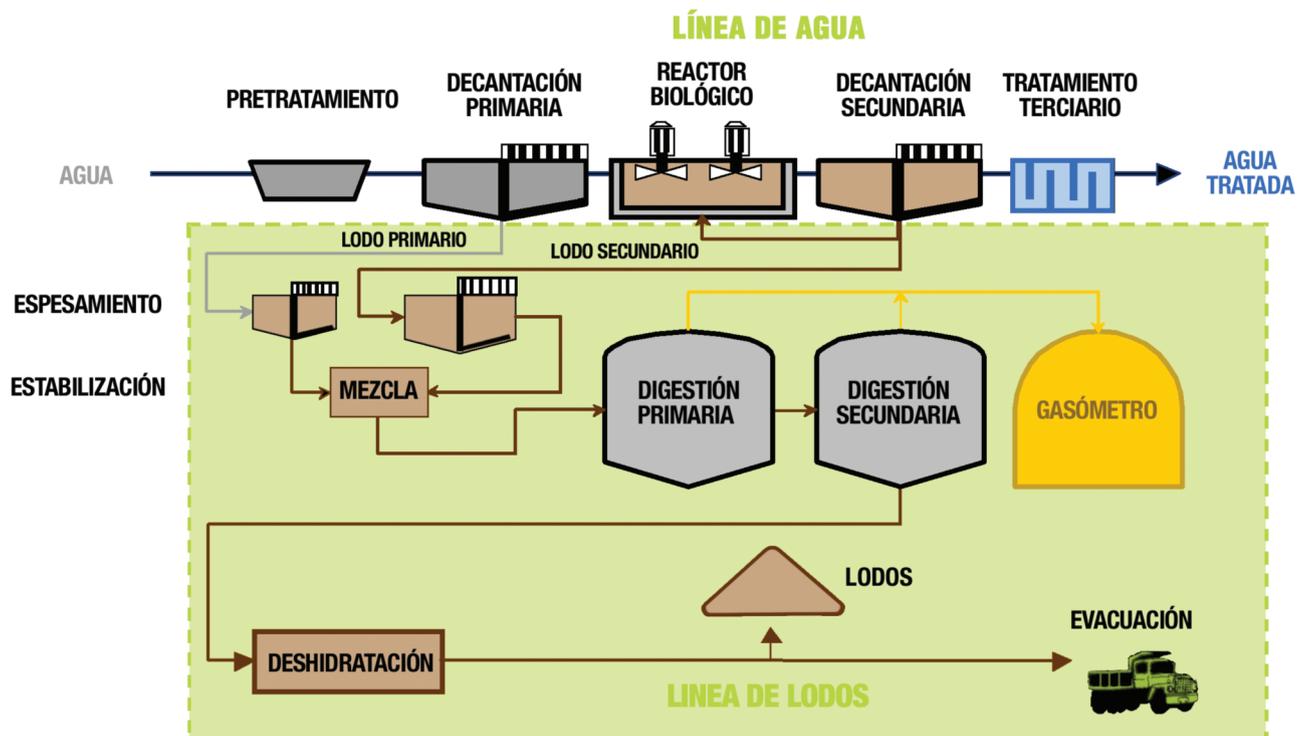


Figura 40.- Diagrama de flujo de una EDAR basada en la tecnología de Lodos Activos.

3.2.2.3.- Tratamiento de las aguas de tormenta

Para prevenir la contaminación de los cauces receptores, que ocasiona el desbordamiento de los sistemas colectores unitarios en los momentos de lluvias intensas, se comienzan a acometer actuaciones con un abanico de posibilidades complementarias:

- Implantación de aliviaderos con una relación de dilución más elevada.
- Instalación de equipos de desbaste en el vertido de los aliviaderos, al objeto de separar y retirar los elementos gruesos de las corrientes que se alivian.
- Construcción de balsas o depósitos de tormenta, para almacenar y regular la incorporación de los caudales excepcionales a las instalaciones de Tratamiento Primario de las estaciones depuradoras.

3.2.3.- Evacuación

En una estación depuradora la corriente entrante (aguas residuales urbanas), como consecuencia de los procesos de tratamiento a que se ve sometida, se transforma en dos corrientes salientes (efluentes depurados y lodos). Con la evacuación de ambas corrientes se da por finalizado el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Los efluentes depurados, si han alcanzado el grado de tratamiento requerido en cada caso, pueden ser vertidos a los cauces próximos a la estación depuradora.

Un destino alternativo de estos efluentes depurados, al que cada vez se recurre más frecuencia, consiste en su reutilización en riego agrícola, refrigeración industrial, usos recreativos, recarga de acuíferos, etc.

Recientemente (mayo de 2006), el Ministerio de Medio Ambiente ha redactado el “Proyecto de Real Decreto por el que se establecen las condiciones básicas para la reutilización de las aguas depuradas y se modifica parcialmente el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por Real Decreto 849/1986 de 11 de abril”, en la que se recogen los criterios fisicoquímicos y biológicos que deben cumplir las aguas residuales depuradas para su reutilización en los diferentes usos (urbanos, agrícolas, industriales, recreativos y ambientales).

En el punto 4.2. del siguiente Apartado, se analiza con detalle el mencionado Proyecto de Real Decreto.

En el caso de los lodos, como alternativas a su descarga en vertederos, deben contemplarse su uso agrícola y su incineración como otros posibles destinos. Hoy en día, comienza a emplearse el término biosólidos para denominar a los lodos procedentes de las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas.

La normativa referente a los lodos generados en la depuración de las aguas residuales urbanas, se recoge en el punto 4.3. del próximo Apartado.

Si bien, en el pasado el objetivo básico del tratamiento de las aguas residuales se centraba en la eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica y organismos patógenos, cada vez toma más importancia la eliminación de nutrientes, de compuestos tóxicos y la reutilización de los efluentes depurados.

Las tendencias actuales en el tratamiento de las aguas residuales se orientan a:

- Incrementar la fiabilidad de funcionamiento de las instalaciones de depuración.
- Aumentar el grado de automatización de las instalaciones.
- Potenciar la reutilización de los efluentes depurados.
- Potenciar el empleo de los lodos generados en el proceso de tratamiento.
- Potenciar la recuperación energética.
- Minimizar los impactos olfativos.

4.- EL MARCO NORMATIVO DE LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

4.1.- Tratamiento de las aguas residuales urbanas

4.1.1.- Directiva 91/271/CEE

La Directiva comunitaria relativa al tratamiento de las aguas residuales (91/271/CEE), contiene una serie de estipulaciones referentes al transporte, tratamiento y descarga de las aguas residuales urbanas.

La transposición de la Directiva 91/271/CEE se ha llevado a cabo mediante:

- **Real Decreto Ley 11/95** de 28 de Diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- **Real Decreto 509/96** de 15 de Marzo de desarrollo del Real Decreto Ley 11/1995, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

- **Resolución de 25 de Mayo de 1998** de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas por la que se declaran “Zonas Sensibles” en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.
- **Real Decreto 2116/98** de 2 de Octubre, por el que modifica el Real Decreto 509/1996, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- **Decreto 54/1999** de 2 de Marzo de la Junta de Andalucía, por el que se declaran las zonas sensibles, normales y menos sensibles en las aguas del litoral y de las cuencas hidrográficas intracomunitarias de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- **Decreto 310/2003** de 4 de Noviembre de la Junta de Andalucía, por el que se delimitan las aglomeraciones urbanas para el tratamiento de las aguas residuales en Andalucía, y se establece el ámbito territorial de gestión de los servicios del ciclo integral del agua de las Entidades Locales, a los efectos de actuación prioritaria de la Junta de Andalucía.
- **Resolución del 10 de Julio de 2006** de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, por la que se declaran las zonas sensibles en las Cuencas Hidrográficas.

Definiciones

La Directiva especifica una serie de definiciones:

- **Aglomeración urbana:** zona geográfica formada por uno o varios municipios, o por parte de uno o varios de ellos, que por su población o actividad económica, constituya un foco de generación de aguas residuales que justifique su recogida y conducción a una instalación de tratamiento o a un punto de vertido final.
- **Eutrofización:** aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno y fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta.
- **Tratamiento Primario:** el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO_5 de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%.

- **Tratamiento Secundario:** el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente (ver *Tabla IV*).
- **Tratamiento adecuado:** el tratamiento de las aguas residuales mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable.
- **Zonas sensibles:** se consideran zonas sensibles aquellos medios acuáticos superficiales que teniendo un intercambio de aguas escaso, o que recibiendo nutrientes, sean eutróficos o puedan llegar a serlo en un futuro próximo si no se adoptan medidas de protección, así como las aguas dulces de superficie destinadas a la obtención de agua potable, que podrían contener una concentración de nitratos superior a la que establecen las disposiciones vigentes para este tipo de aguas si no se tomasen medidas de protección
- **Zonas menos sensibles:** se consideran zonas menos sensibles aquellos estuarios, bahías abiertas y otras zonas marinas con un buen intercambio de aguas y que no tengan eutrofización o agotamiento de oxígeno, o en las que se considera improbable que lleguen a desarrollarse fenómenos de eutrofización o de agotamiento de oxígeno por el vertido de aguas residuales urbanas.
- **Zonas normales:** se consideran zonas normales aquellos medios acuáticos superficiales no definidos como sensibles o menos sensibles.

Plazos y tipo de tratamiento exigible

En función del tamaño de la población y de las características de la zona en la que se efectúe el vertido de los efluentes depurados, se establecen unos plazos temporales para que las aglomeraciones urbanas sometan a sus aguas residuales a los preceptivos procesos de tratamiento.

- **Antes del 1 de Enero de 1999**
Aglomeraciones de más de 10.000 h.e. que viertan a zonas sensibles (*Tratamiento Secundario y eliminación de Nitrógeno y Fósforo*).
- **Antes del 1 de Enero de 2001**
Aglomeraciones de más de 15.000 h.e. (*Tratamiento Secundario*).
- **Antes del 1 de Enero de 2006**
Aglomeraciones que cuenten entre 10.000 y 15.000 h.e. (*Tratamiento Secundario*).
Aglomeraciones entre 2.000 y 10.000 h.e. que viertan a zonas en aguas continentales o estuarios (*Tratamiento Secundario*).
Aglomeraciones que cuenten con menos de 10.000 h.e. que viertan en aguas marítimas (*Tratamiento Adecuado*).
Aglomeraciones de menos de 2.000 h.e. que viertan en aguas continentales y estuarios (*Tratamiento Adecuado*).

En la mayor parte de las situaciones las aguas residuales deberán someterse a un tratamiento secundario, con el que deben alcanzarse las concentraciones o los rendimientos que se recogen en la *Tabla IV*.

Con relación al rango de variación del porcentaje mínimo de reducción de DBO₅, algunos países han establecido los límites de este rango en función de la carga orgánica tratada en la estación de depuración. Así, en el caso de Francia, la *Arrêté du 22 décembre 1994*, establece un límite inferior del 70% para cargas de 2.000 a 10.000 habitantes equivalentes y un valor del 80% para cargas superiores a los 10.000 habitantes equivalentes.

En el caso en que los efluentes se viertan en zonas sensibles, además de la reducción en Sólidos en suspensión, DBO₅ y DQO, se exige la reducción en los contenidos de Nitrógeno y Fósforo de acuerdo con la *Tabla V*.

Tabla IV.- Características que deben reunir los efluentes de los tratamientos secundarios.

| Parámetro | Concentración (mg/l) | Porcentaje mínimo de reducción (%) |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| Sólidos en Suspensión | 35 | 90 |
| DBO ₅ | 25 | 70 – 90 |
| DQO | 125 | 75 |

Tabla V.- Eliminación de nutrientes en los vertidos a zonas sensibles.

| Parámetro | Concentración (mg/l) | Porcentaje mínimo de reducción (%) |
|------------------|---|---|
| Nitrógeno total | 15 si h.e. 10.000-100.000 10 si h.e. > 100.000 | 80 |
| Fósforo total | 2 si h.e. 10.000-100.000 1 si h.e. > 100.000 | 70 – 80 |

En Andalucía, las zonas sensibles y menos sensibles quedaron definidas por la *Resolución de 25 de Mayo de 1998* de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas y por el *Decreto 54/1999* de 2 de Marzo de la Junta de Andalucía.

Tabla VI.- Zonas sensibles en la Cuenca del Guadalquivir.

| Zona sensible | Núcleos afectados |
|-------------------------------------|--|
| Embalse de Sierra Boyera | Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba) |
| Embalse de Puente Nuevo | |
| Embalse de Canales | |
| Embalse de Cubillas | |
| Embalse de El Gergal | |
| Parque Natural de Grazalema | Ubrique (Cádiz) |
| Parque Natural de Cazorla | |
| Parque Nacional de Doñana y entorno | Aznalcázar, Huévar, Pilas, Sanlúcar la Mayor, Villamanrique de la Condesa (Sevilla) Almonte, Bollullos del Condado, Rociana (Huelva) |

Tabla VII.- Zonas sensibles de las cuencas intracomunitarias y de las aguas litorales de Andalucía.

| |
|---|
| Paraje Natural de las Marismas del Odiel |
| Parque Natural de la Bahía de Cádiz |
| Lagunas litorales de los ríos Aguas y Antas |
| Embalse de Guadalhorce-Guadalteba |
| Embalse de Beas |
| Embalse de los Hurones |

Tabla VIII.- Zonas menos sensibles de las cuencas intracomunitarias y de las aguas litorales de Andalucía.

| |
|---|
| Desde la desembocadura del Guadiana hasta el Cabo de Trafalgar, la franja comprendida entre el límite del mar territorial y la línea situada a una milla náutica de la línea de bajamar escorada. |
| Desde el Cabo de Trafalgar hasta el límite con la Comunidad Autónoma de Murcia, la franja comprendida entre el límite del mar territorial y la línea situada a media milla náutica de la línea de bajamar escorada. |

Con posterioridad, la resolución de 10 de Julio de 2006, de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, por la que se declaran las zonas sensibles en las Cuenas Hidrográficas, en el caso de la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir ha declarado como zonas sensibles las siguientes:

Tabla IX.- Nuevas zonas sensibles en la Cuenca del Guadalquivir.

| Zona sensible | Núcleos afectados |
|--|---|
| Embalse de Sierra Boyera | Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba) |
| Embalse de Puente Nuevo | |
| Embalse de Canales | |
| Embalse de Cubillas | |
| Embalse de El Gergal | |
| Parque Natural de Grazalema | |
| Parque Natural de Cazorla | |
| Parque Nacional de Doñana y entorno | Albaida del Aljarafe, Almensilla, Alcalá de Guadaíra, Alcalá del Río, Aznalcázar, Benacazón, Bollullos de la Mitación, Bormujos, Camas, Castilleja de la Cuesta, Ciudad del Aljarafe, Coria del Río, Dos Hermanas, El Arahál, El Viso del Alcor, Espartinas, Gelves, Gines, Guillena, Huévar, La Algaba, Las Cabezas de San Juan, La Puebla del Río, La Rinconada, Lebrija, Los Palacios y Villafranca, Mairena del Alcor, Mairena del Aljarafe, Morón de la Frontera, Olivares, Paradas, Palomares del Río, Pilas, Sanlúcar la Mayor, Sevilla, Utrera, Villamanrique de la Condesa (Sevilla) Almonte, Bollullos Par del Condado, Chucena, Escacena, Manzanilla, Paterna Rociana del Condado (Huelva) Trebujena (Cádiz) |
| Embalse de Huesna | |
| Embalse de Guadalén | |
| Ermita R. San Pedro Alanís de la Sierra | |
| La Ribera. Rivera del Huéznar. El Pedroso. | |

Otro capítulo de la Directiva, no siempre tenido en cuenta, establece que “se vigilará que las plantas de tratamiento, construidas para cumplir las exigencias descritas, estén diseñadas, construidas, operadas y mantenidas para asegurar el rendimiento suficiente bajo condiciones climáticas normales”.

4.1.2.- Directiva 2000/60/CE

La *Directiva 2000/60/CE* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, fue modificada por la *Decisión n° 2455/2001/CE* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de Noviembre de 2001.

El objetivo de la Directiva se centra en establecer un marco comunitario para la protección de las aguas superficiales continentales, de transición, costeras y subterráneas para prevenir o reducir su contaminación, promover su uso sostenible, proteger el medio ambiente, mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos y atenuar los efectos de las inundaciones y las sequías.

En síntesis, la Directiva propone:

- Los Estados miembros deberán determinar todas las cuencas hidrográficas que se encuentren en su territorio y asignarlas a distritos hidrográficos.
- A más tardar cuando hayan transcurrido cuatro años de la fecha de entrada en vigor de la Directiva, los Estados miembros deberán hacer un análisis de las características de cada distrito hidrográfico, un estudio de la incidencia de la actividad humana sobre las aguas, un análisis económico del uso de las mismas y un registro de las zonas que necesiten una protección especial.

- Nueve años después de la fecha de entrada en vigor de la Directiva, deberá elaborarse un plan de gestión y un programa de medidas en cada distrito hidrográfico teniendo en cuenta los resultados de los análisis y estudios previstos en el anterior apartado.
- Las medidas previstas en el plan de gestión del distrito hidrográfico tendrán por objeto:
 - Prevenir el deterioro, mejorar y restaurar el estado de las masas de agua superficiales, lograr que estén en buen estado químico y ecológico y reducir la contaminación debida a los vertidos y emisiones de sustancias peligrosas.
 - Proteger, mejorar y restaurar las aguas subterráneas, prevenir su contaminación y deterioro y garantizar un equilibrio entre su captación y su renovación.
 - Preservar las zonas protegidas.
- Los objetivos anteriores deberán alcanzarse quince años después de la entrada en vigor de la Directiva. Este plazo podrá modificarse siempre que se respeten las condiciones establecidas por la Directiva.

- Los Estados miembros fomentarán la participación activa de todas las partes interesadas por la aplicación de esta Directiva.
- El deterioro temporal de las masas de agua no constituirá una infracción si es consecuencia de las circunstancias excepcionales e imprevisibles ligadas a un accidente, causa natural o caso de fuerza mayor.
- A partir de 2010 los Estados miembros deberán garantizar que la política de tarificación incite a los consumidores a utilizar los recursos de forma eficaz y que los diferentes sectores económicos contribuyan a la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el uso del agua, incluidos los costes medioambientales y de gestión de recursos.
- En el Anexo X de la Directiva se presenta una lista de sustancias contaminantes prioritarias, seleccionadas de entre las que constituyen un riesgo importante para el medio acuático. Se presentarán medidas de control de estas sustancias al objeto de reducir, detener o suprimir los vertidos, emisiones y fugas de sustancias prioritarias. La Decisión nº 2455/2001/CE, de 20 de noviembre de 2001 aprobó la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, modificando la *Directiva 2000/60/CE*.
- Dos años después de la entrada en vigor de la Directiva la Comisión publicará una propuesta de medidas específicas para prevenir y controlar la contaminación de las aguas subterráneas.
- A más tardar doce años después de la entrada en vigor la Directiva, y posteriormente cada seis años, la Comisión publicará un informe sobre su aplicación.
- La Directiva prevé que los Estados miembros establezcan regímenes de sanciones eficaces, proporcionales y disuasorias aplicables a las infracciones de sus disposiciones.

4.2.- Normativa para la reutilización de aguas residuales depuradas

Hace unos años, y ante la carencia de normativa comunitaria o estatal que regulase la reutilización de las aguas residuales depuradas, algunas Comunidades Autónomas (Andalucía, Baleares, Cataluña,) dictaron un conjunto de normas para el empleo estas aguas.

En el caso de Andalucía, la Consejería de Salud redactó en 1994 los “*Criterios de reutilización de aguas residuales urbanas depuradas*”, en los que se establecían los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que debían cumplir los efluentes depurados para su empleo en riego agrícola y de zonas verdes.

Recientemente (mayo de 2006), el Ministerio de Medio Ambiente ha redactado el “*Proyecto de Real Decreto por el que se establecen las condiciones básicas para la reutilización de las aguas depuradas y se modifica parcialmente el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por Real Decreto 849/1986 de 11 de abril*”.

En este Proyecto de Real Decreto se define a las aguas regeneradas como “*aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan*”. A efectos de este Real Decreto uso de aguas regeneradas es equivalente a reutilización de aguas.

El Proyecto recoge, entre otros, los siguientes apartados:

- Requisitos para llevar a cabo la actividad de reutilización de aguas.
- Régimen jurídico de la reutilización.
- Procedimiento para obtener la autorización de reutilización de aguas.

En lo referente a los usos admitidos para las aguas regeneradas, estos son:

1- Usos urbanos

Residenciales:

- Riegos de jardines privados.
- Descarga de aparatos sanitarios.
- Sistemas de calefacción y refrigeración de aire.
- Otros usos domésticos.

Servicios urbanos:

- Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares).
- Baldeo de calles.
- Sistemas contra incendios.
- Lavado industrial de vehículos.
- Fuentes y láminas ornamentales.

2.- Usos agrícolas

Calidad 1:

- Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.

Calidad 2:

- Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior.
- Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.
- Acuicultura.

Calidad 3:

- Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.
- Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.
- Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.

3.- Usos industriales

- Aguas de proceso, limpieza y refrigeración industrial, excepto en la industria alimentaria.
- Otros usos industriales.

4- Usos recreativos

Calidad 1:

- Riegos de campos de golf.

Calidad 2:

- Estanques, caudales circulantes de uso recreativo accesibles al público (excepto baño).

Calidad 3:

- Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.

5- Usos Ambientales

Calidad 1:

- Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.

Calidad 2:

- Recarga de acuíferos por inyección directa.

Calidad 3:

- Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público.
- Silvicultura.

Calidad 4:

- Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).

Para todos estos posibles usos, el Proyecto de Real Decreto recoge los criterios de calidad que deben cumplir las aguas regeneradas.

4.3.- Normativa referente a los lodos generados en la depuración de las aguas residuales urbanas

La **Directiva comunitaria 86/278/CEE**, de 12 de Junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura, establece las características fisicoquímicas que deben cumplir los lodos para su posible empleo en agricultura.

La transposición de la Directiva 86/278/CEE se ha realizado mediante:

- **Real Decreto 1310/1990**, de 29 de Octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.
- **Orden 1993/26572**, de 26 de Octubre, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario, en la que se contempla que *“con el fin de disponer de un censo de plantas depuradoras, los Entes locales y demás titulares de estaciones depuradoras de aguas residuales, enviarán antes del día 31 de Diciembre de 1993 al órgano competente de su Comunidad Autónoma, el anexo I, Características de la planta de depuración de aguas residuales”*.
- **Orden de 22 de Noviembre de 1993**, por la que se desarrolla en el ámbito de la Comunidad Autónoma Andaluza el Real Decreto 1310/1990 y Orden de 26 de Octubre de 1993, del MAPA, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.

Por otra parte, el **Plan Nacional de Lodos de depuradoras de aguas residuales (2001-2006)**, pretende proteger el medio ambiente y especialmente la calidad del suelo, gestionando adecuadamente los lodos, así como el logro de los siguientes objetivos ecológicos:

- a) Reducción en origen de la contaminación de lodos.
- b) Caracterización de los lodos de depuradoras de aguas residuales (LD) generados en España, antes de 2003.
- c) Valorización de al menos el 80% de los LD antes de 2007.
 - i. Valorización en usos agrícolas del 25% de LD, previamente compostados, antes de 2007.
 - ii. Valorización en usos agrícolas del 40% de los LD tratados anaeróbicamente o sometidos a otros tratamientos, antes de 2007.
 - iii. Valorización energética del 15% de los LD, antes de 2007.
 - iv. Correcta gestión ambiental del 100% de las cenizas de incineración de LD.
- d) Reducción a un máximo del 20% los LD depositados en vertedero, antes de 2007.

5.- EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LAS PEQUEÑAS AGLOMERACIONES URBANAS: LAS TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES

En España unos 6.000 municipios, de los más de 8.000 existentes, cuentan con menos de 2.000 habitantes. En el caso de Andalucía, el 41% de los municipios y el 85% de los núcleos de población no superan esta población.

El **Real Decreto Ley 11/95** fijaba el 1 de Enero de 2006 como fecha límite para que las aglomeraciones urbanas menores de 2.000 habitantes equivalentes, que viertan a aguas continentales o estuarios, y que cuenten con red de saneamiento, sometiesen a sus aguas residuales a un tratamiento adecuado. Entendiendo por tratamiento adecuado: *“el tratamiento de las aguas residuales mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable”*.

En la actualidad, son estas pequeñas aglomeraciones las que presentan más carencias en lo que al tratamiento de sus aguas residuales hace referencia. Por ello, es en este tipo de población rural y dispersa donde deberá hacerse, en un futuro próximo, un gran esfuerzo para corregir sus deficiencias en saneamiento y depuración y poder cumplir la normativa vigente.

Con frecuencia, las plantas depuradoras para el tratamiento de los vertidos generados en las pequeñas aglomeraciones urbanas se han concebido y diseñado como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones de depuración. Como consecuencia directa de esta forma de actuar, las estaciones de depuración de los pequeños núcleos de población presentan unos costes de explotación y mantenimiento difícilmente asumibles por estas entidades, en las que, en general, los recursos técnicos y económicos son muy limitados.

En materia de tratamiento de aguas residuales, las pequeñas aglomeraciones precisan actuaciones que compatibilicen las condiciones exigidas a los efluentes depurados con técnicas de funcionamiento simple y con costes de explotación y mantenimiento que puedan ser realmente asumibles.

Por otro lado, las aguas residuales procedentes de las pequeñas aglomeraciones presentan características propias (fuertes oscilaciones de caudal y elevadas concentraciones), que deben tenerse en cuenta a la hora del diseño de las estaciones de tratamiento.

5.1.- Características de las aguas residuales urbanas en las pequeñas aglomeraciones

Los caudales y calidades de las aguas residuales que se generan en las pequeñas aglomeraciones urbanas difieren notablemente de las que proceden de los grandes núcleos de población, como consecuencia del diferente grado de desarrollo económico y social.

5.1.1.- Caudales

Cuanto más pequeño es el núcleo más fuertes son las oscilaciones del caudal de las aguas residuales que en él se generan. Pasándose, en el caso de residencias individuales, de caudales casi nulos a primeras horas de la mañana, a caudales puntas horarios que superan ocho veces el caudal medio.

En pequeñas comunidades se estima que el caudal mínimo es del orden del 30% del caudal medio, mientras que la relación entre el caudal punta y el caudal medio (factor de punta F_p), pueden estimarse haciendo uso de la siguiente expresión empírica:

$$F_p = \frac{5}{P^{1/6}}$$

Siendo:

F_p : Factor de punta (Caudal punta/ Caudal medio)

P: número de habitantes en miles

La *Figura 41* muestra la relación entre el factor punta (F_p) y el número de habitantes, para aglomeraciones inferiores a 1.000 habitantes.

5.1.2.- Calidades

Las menores dotaciones de abastecimiento que, de forma general, se registran en las pequeñas aglomeraciones urbanas, tiene una traducción inmediata en las concentraciones de las aguas residuales que se generan. La menor dotación de abastecimiento conduce a una menor dilución de los contaminantes generados por la población, lo que se traduce en incrementos de la concentración de los mismos.

La *Tabla X* recoge los rangos medios de los principales parámetros que caracterizan las aguas residuales generadas en pequeñas aglomeraciones, aguas constituidas, predominantemente, por aportaciones domésticas.

Estos datos deben tomarse meramente a título orientativo, dado que en el caso de las pequeñas aglomeraciones se hace aún más necesaria, si cabe, la realización de campañas de aforo y muestreo para la correcta caracterización de las aguas residuales, como paso previo al diseño de la unidad de tratamiento en cada situación concreta.

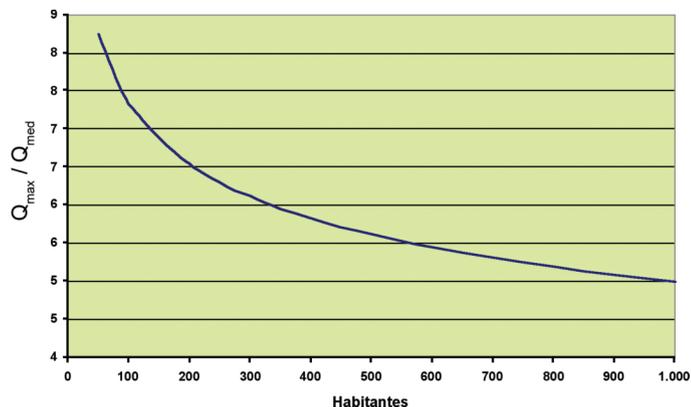


Figura 41.- Relación entre F_p y el número de habitantes, para poblaciones menores de 1.000 habitantes.

| Parámetro | Rango habitual |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Sólidos en Suspensión (mg/l) | 300 – 500 |
| DBO ₅ (mg/l) | 400 – 600 |
| DQO (mg/l) | 800 – 1.200 |
| Nitrógeno (mg N/l) | 50 – 100 |
| Fósforo (mg P/l) | 10 – 20 |
| Grasas (mg/l) | 50 – 100 |
| Coliformes Fecales (UFC/100 ml) | 10 ⁷ – 10 ⁸ |

Elaboración propia a partir de datos bibliográficos.

Tabla X.- Valores típicos de los principales contaminantes de las aguas residuales urbanas procedentes de pequeñas aglomeraciones urbanas.

5.2.- Las Tecnologías no Convencionales para la depuración de las aguas residuales de las pequeñas aglomeraciones urbanas

Las pequeñas aglomeraciones urbanas, por su propia localización geográfica y grado de desarrollo, presentan una problemática específica, que dificulta la provisión de los servicios de saneamiento y depuración.

En esta problemática destacan:

- Los efluentes depurados deben cumplir normativas de vertido estrictas.
- El hecho de no poder aprovechar las ventajas que supone la economía de escala, como consecuencia de su pequeño tamaño, lo que conduce a que los costes de implantación y de mantenimiento y explotación por habitante sean elevados. Además, en poblaciones dispersas los costes de saneamiento se incrementan notablemente.
- La escasa capacidad técnica y económica para el mantenimiento y explotación de estaciones de tratamiento de aguas residuales.

Por todo ello, a la hora de seleccionar soluciones para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los pequeños núcleos de población, debe darse prioridad a aquellas tecnologías que:

- *Presenten un gasto energético mínimo.*
- *Requieran un mantenimiento y explotación muy simples.*
- *Garanticen un funcionamiento eficaz y estable frente a las grandes oscilaciones de caudal y carga en el influente a tratar.*
- *Simplifiquen la gestión de los lodos generados en los procesos de depuración.*

Las tecnologías de depuración de aguas residuales urbanas que reúnen estas características se conocen bajo el nombre genérico de "**Tecnologías no Convencionales**" (**TNC**). Este tipo de tecnologías requiere actuaciones de bajo impacto ambiental, logrando la reducción de la carga contaminante con costes de operación inferiores a los de los tratamientos convencionales y con unas necesidades de mantenimiento sin grandes dificultades técnicas, lo que permite su explotación por personal no especializado.

Los procesos que intervienen en las *Tecnologías no Convencionales* incluyen a muchos de los que se aplican en los tratamientos convencionales (*sedimentación, filtración, adsorción, precipitación química, intercambio iónico, degradación biológica, etc.*), junto a procesos propios de los tratamientos naturales (*fotosíntesis, fotooxidación, asimilación por parte de las plantas, etc.*), pero a diferencia de las tecnologías convencionales, en las que los procesos transcurren de forma secuencial en tanques y reactores, y a velocidades aceleradas (gracias al aporte de energía), en las *Tecnologías no Convencionales* se opera a velocidad "natural" (sin aporte de energía), desarrollándose los procesos en un único "reactor-sistema".

En resumen, los procesos en que se basan las *Tecnologías Convencionales* y *no Convencionales* son similares, la diferencia estriba en:

- En las *Tecnologías Convencionales* los procesos transcurren de forma secuencial en tanques y reactores, y a velocidades aceleradas gracias al aporte de energía
- En las *Tecnologías no Convencionales* se opera a velocidad "natural", (sin aporte de energía), desarrollándose los procesos en un único "reactor-sistema". El ahorro en energía se compensa con una mayor necesidad de superficie.

Dado que los requisitos que se les exigen constituyen el carácter diferenciador de las *Tecnologías no Convencionales*, se hace preciso profundizar en los mismos.

Gasto energético mínimo

De forma esquemática, para la depuración biológica es preciso poner en contacto las **aguas residuales** con **bacterias** y con **oxígeno** (aire), y estos tres componentes deben encontrarse en las debidas proporciones.

Como resultado final del tratamiento, la corriente entrante (aguas residuales), dará lugar a dos corrientes finales: **efluentes depurados** y **lodos**, y en estos últimos se concentrarán la mayoría de los contaminantes eliminados en el proceso depurador (Figura 42).

Las aguas residuales, junto con las bacterias aportadas en las excretas humanas, llegan continuamente a las estaciones de tratamiento, siendo el tercer componente (oxígeno-aire), el más difícil y costoso de aportar.

En las Tecnologías Convencionales los costes energéticos vienen a suponer del orden de un tercio de los costes totales de explotación y mantenimiento, variando este porcentaje de forma inversamente proporcional al tamaño de la planta, pudiendo ser en plantas pequeñas 6 - 7 veces más importante que en plantas grandes. De estos costes energéticos, el apartado destinado a la aireación de las aguas a tratar (turbinas, compresores), puede llegar a suponer hasta un 75% del total.

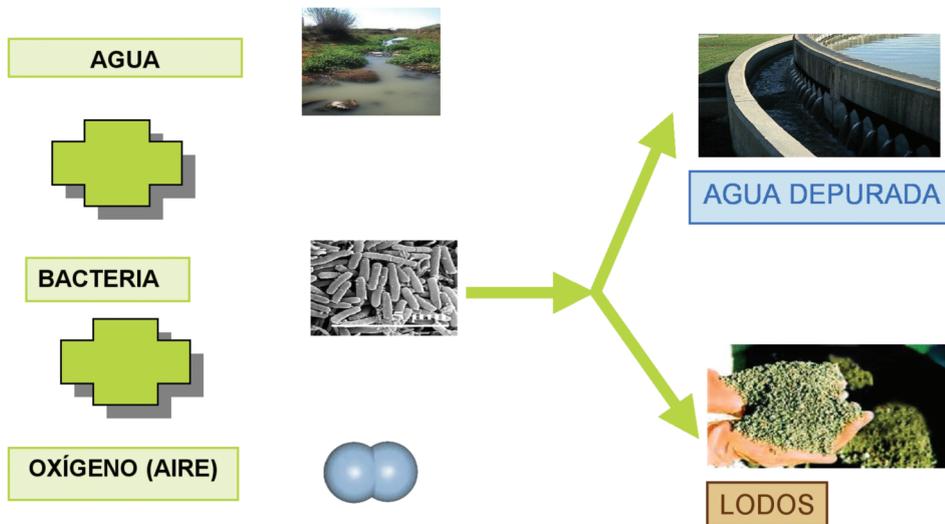


Figura 42.- Esquema simplificado de la depuración de las aguas residuales.

Las *Tecnologías no Convencionales* se caracterizan por recurrir a métodos naturales para la oxigenación de las aguas residuales a tratar, con lo que los costes asociados a esta operación son nulos o muy reducidos. Entre estos métodos naturales de oxigenación destacan: la **fotosíntesis** (Lagunajes), la **difusión de oxígeno** por las raíces de plantas emergentes (Humedales Artificiales) y la **alternancia de ciclos encharcado-secado** (Filtros Verdes, Humedales Artificiales y Filtros de Turba).

Dado que la velocidad de aporte de oxígeno por métodos naturales es muy baja en comparación a cuando se recurre al empleo de medios electro-mecánicos, la ventaja que suponen las *Tecnologías no Convencionales* en lo referente al consumo energético, se ve contrarrestada por la mayor superficie que precisan para su implantación.

Desde el punto de vista de la superficie necesaria para su implantación, puede decirse que las *Tecnologías Convencionales* son **soluciones intensivas**, mientras que las *no Convencionales* son **extensivas**, y este carácter extensivo es el que condiciona que el campo de aplicación de las *Tecnologías no Convencionales* sean las pequeñas aglomeraciones urbanas.

La *Figura 43* compara, desde el punto de vista de los requisitos energéticos y de las necesidades de superficie para su implantación, las *Tecnologías Convencionales* y las *no Convencionales*.

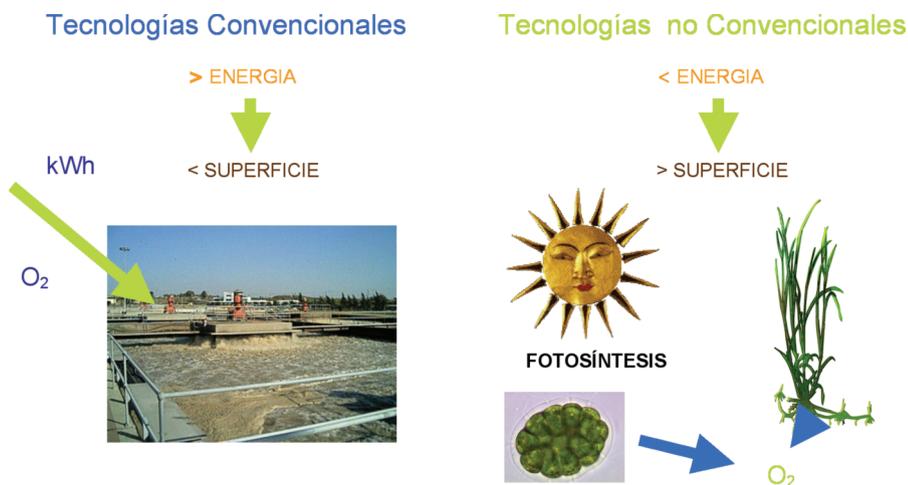


Figura 43.-
Tecnologías Convencionales
vs
Tecnologías no Convencionales.

Simplicidad de mantenimiento y explotación

Mientras que el *Mantenimiento* tiene por objeto asegurar y garantizar el normal funcionamiento de todos los equipos e instalaciones de la estación de tratamiento, la *Explotación* persigue armonizar los medios humanos y materiales, con el objeto de transformar las aguas residuales en efluentes depurados que cumplan la normativa vigente, con un mínimo coste económico y ambiental.

Los costes de personal vienen a suponer otro tercio del coste total de una estación de tratamiento convencional. Las *Tecnologías no Convencionales*, recurriendo a procesos de tratamiento muy fáciles de controlar y evitando, en lo posible, la instalación de equipos electromecánicos, permiten que las operaciones de mantenimiento y explotación puedan ser correctamente ejecutadas por personal no especializado, con el correspondiente abaratamiento de costes.

Las mayoría de las operaciones de mantenimiento y explotación de las *Tecnologías no Convencionales* son asimilables a labores agrícolas clásicas (rastrillado, cavado, siega, poda, eliminación de malas hierbas, etc.), por los que pueden ser desempeñadas correctamente por los propios habitantes de las zonas rurales.

Por otro lado, la inexistencia, o mínima presencia, de equipos electromecánicos supone eliminar, o reducir, las incidencias por averías, que en muchas ocasiones dejan fuera de servicio las estaciones de tratamiento durante largos periodos de tiempo.

Garantía de funcionamiento eficaz frente a grandes oscilaciones de caudal y carga en el influente a tratar

Como se comentó anteriormente en el apartado 5.1., los vertidos líquidos generados en las pequeñas aglomeraciones urbanas presentan a lo largo del día fuertes oscilaciones, tanto de caudal como de carga contaminante. Para hacer frente a este hecho se precisa que las estaciones de tratamiento presenten la suficiente inercia para que los rendimientos de depuración no se resientan por estas oscilaciones.

El carácter extensivo de las *Tecnologías no Convencionales* proporciona a éstas grandes volúmenes y superficies, que actúan a modo de “colchón”, para amortiguar las oscilaciones diarias de caudal y de carga.

Igualmente, y por el mismo motivo, las *Tecnologías no Convencionales* están mejor adaptadas para soportar incidencias puntuales de vertidos anómalos a la red de saneamiento.

Esta inercia que presentan las *Tecnologías no Convencionales* tiene una contrapartida que no debe obviarse, pues en el mismo modo en que son muy resistentes a los cambios en las condiciones de operación, si se sobrepasa su capacidad de tratamiento son muy lentas en volver a la normalidad.

Simplificación en el manejo de los lodos

Los lodos que se generan en los tratamientos de las aguas residuales mediante procedimientos convencionales precisan ser concentrados, estabilizados y deshidratados, antes de su evacuación.

Dado que:

- La generación de lodos es inherente a los procedimientos biológicos de depuración de las aguas residuales.
- Que cada habitante equivalente genera al día unos 80 g de lodos (expresados como materia seca).
- Que tras la operación de deshidratación los lodos presentan un contenido en humedad del 70-80%, por lo que cada habitante genera al día del orden de 0,3 l de lodos.

La gestión de estos subproductos supone una porción importante de los costes totales de explotación de una instalación de tratamiento de aguas residuales urbanas.

El problema se agrava en pequeñas instalaciones de tratamiento, en las que el hecho de no haber planificado correctamente la gestión de los lodos que se iban a generar, es una de las principales causas de su mal funcionamiento.

Las *Tecnologías no Convencionales* simplifican la gestión de los lodos mediante mecanismos diferentes:

- En los Filtros Verdes los sólidos en suspensión, presentes en las aguas a tratar, quedan retenidos en la superficie del terreno y en las proximidades de los puntos de alimentación, mineralizándose y reciclándose de forma natural.
- En los Lagunajes los lodos se extraen cada 5-10 años de operación. Estos largos períodos de almacenamiento permiten la estabilización anaerobia de los lodos a temperatura ambiente, con la consiguiente, e importante, reducción de su volumen.



Figura 44.- Sistemas de aplicación superficial al terreno: Filtro Verde.



**Figura 45.- Sistemas de aplicación subsuperficial al terreno: Zanja Filtrante.
(Fuente: Trinity College, Dublín)**

- En los Filtros Turba no se manejan lodos, sino costras secas, que no precisan estabilización y que son fácilmente manipulables.

Bajo el epígrafe *Tecnologías no Convencionales* se cabe distinguir:

- Las que recurren al empleo del suelo como elemento depurador:
 - *Sistemas de aplicación superficial*: Filtros Verdes.
 - *Sistemas de aplicación subsuperficial*: Zanjas, Lechos y Pozos Filtrantes.
- Las que simulan las condiciones propias de los humedales naturales:
 - *Humedales Artificiales en sus distintas modalidades*: Flujo Superficial y Flujo Subsuperficial (vertical y horizontal).
- Las que tratan de imitar los procesos naturales de depuración que se dan en ríos y lagos:
 - *Lagunajes*.
- Las que se basan en la filtración de las aguas a tratar a través de un carbón natural:
 - *Filtros de Turba*.

**Figura 46.-
Humedal Artificial.**



Figura 47.- Lagunaje.



Figura 48.- Filtros de Turba.

Todas estas tecnologías se describen en detalle en el conjunto de monografías, que constituyen el presente ***Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales.***

Lamentablemente, en muchas ocasiones se ha confundido simplicidad de mantenimiento y explotación con simplicidad de diseño y de construcción, por lo que no se ha prestado la suficiente atención a la fase de dimensionamiento de los sistemas de tratamiento *no Convencionales*, ni a su posterior etapa constructiva.

Este error conceptual ha tenido su reflejo en que numerosas instalaciones no alcancen los resultados esperados como consecuencia de diseños y/o construcciones inapropiados, lo que, lamentablemente, ha provocado que en muchas ocasiones se

culpase del mal funcionamiento a las propias *Tecnologías no Convencionales*, sin llegar a realizar un análisis detallado de las causas de este deficiente comportamiento.

Objetivo básico de este Manual es aportar la información necesaria sobre los fundamentos, parámetros de diseño, características constructivas y rendimientos que alcanzan las distintas *Tecnologías no Convencionales* existentes, para que, correctamente diseñadas y ejecutadas, puedan compararse, en pie de igualdad, con las *Tecnologías Convencionales*.

Principios básicos sobre la depuración de las aguas residuales

Esquemáticamente depurar vía biológica supone poner en contacto: agua residual, bacterias y oxígeno (aire), en las debidas proporciones. Agua residual y bacterias llegan juntas a la EDAR, la dificultad estriba en su oxigenación.

Todos los procesos biológicos que se emplean en el tratamiento de las aguas residuales derivan de los que ocurren en la naturaleza, y por los que los microorganismos estabilizan de la materia orgánica. Los técnicos sólo intentan acelerar y optimizar estos procesos naturales.

Las EDAR deben ser diseñadas como “trajes a medida” para cada situación concreta. Ello conlleva un conocimiento riguroso de los caudales y calidades de las aguas a tratar y de las características de la aglomeración a la que va a dar servicio (población y evolución de la misma, climatología, clasificación de la zona a la que se vierte, etc.).

Las EDAR deben ser diseñadas para que puedan hacer frente a crecimientos de los caudales y cargas a tratar durante su vida útil (unos 20 años).

El proyecto y la construcción de una EDAR dura tan sólo meses, el mantenimiento y explotación se extienden a lo largo de toda la vida útil de la EDAR.

Ninguna tecnología de depuración funciona por sí sola, con coste cero de explotación y mantenimiento.

Ninguna actuación en materia de depuración tendrá éxito si no se cuenta con los recursos financieros para su implantación y para su operación y mantenimiento de forma permanente.

6.- EL PLAN I+D DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA

El **Plan I+D de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales** es una iniciativa impulsada en el año 1987 por la Junta de Andalucía, a través de su antigua Dirección General de Obras Hidráulicas. Desde comienzos del 2005 la **Agencia Andaluza del Agua**, que se constituye como organismo autónomo dependiente de la **Consejería de Medio Ambiente**, coordina todas las competencias autonómicas en materia de aguas y mantiene su apoyo al mencionado Plan de Investigación y Desarrollo.

Este Plan destaca sin duda por su visión estratégica, su perspectiva de futuro y su apuesta por tecnologías diferentes de las convencionales para resolver los problemas de depuración de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones andaluzas.

Prueba del marcado carácter innovador de esta iniciativa es que hoy, veinte años después de su inicio, mantiene una línea de continuidad, se ha consolidado como una experiencia de notable singularidad en el ámbito europeo y continúa proporcionando resultados relevantes.

Cuando en el año 1984 la Consejería de Obras Públicas asume las competencias en materia de aguas, toma conciencia inmediata de dos hechos relevantes: la importancia en número de los núcleos rurales y dispersos en Andalucía y las dificultades técnicas y económicas de estas entidades para hacer frente a la depuración de sus vertidos mediante tecnologías con un cierto grado de complejidad.

Para dar respuesta a esta problemática, el Plan debería aportar soluciones para la depuración de los vertidos urbanos, compatibles con las particularidades territoriales y socioeconómicas andaluzas.

Entre estas posibles soluciones, las **Tecnologías no Convencionales (TNC)** se presentaban como una alternativa real, dado que: su versatilidad y adaptabilidad, su integración en el entorno y su menor coste de implantación y explotación, las hacían especialmente indicadas para la depuración de los vertidos urbanos del medio rural, en el que las limitaciones técnicas y económicas pueden comprometer seriamente la viabilidad y eficacia del tratamiento de las aguas residuales.

Por otra parte, la climatología andaluza, ideal para el funcionamiento de este tipo de tecnologías, consolidaba la visión de que su implantación de manera intensiva y planificada pudiera llevarse a cabo con éxito en Andalucía.

Sin embargo, frente a estas ventajas indudables de las *Tecnologías no Convencionales*, la Junta de Andalucía se encontraba, tras asumir las competencias en depuración y saneamiento, con un conjunto de dudas razonables que era preciso despejar: la enorme dispersión de información (a veces contradictoria) relacionada con este tipo de tecnologías, la disparidad de los criterios técnicos para su diseño recogidos en la bibliografía, posicionamientos extremos acerca de la eficacia de estos sistemas, etc.

En el ánimo de no comprometer un programa de implantación de *Tecnologías no Convencionales*, y con la voluntad de ampliar al máximo posible sus conocimientos al respecto, la Junta de Andalucía aplicó una sistemática racional, desarrollando un plan de investigación orientado a conocer las particularidades del diseño, mantenimiento, explotación e implantación de este tipo de tecnologías: **EL PLAN DE I+D DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**. Este Plan, que se inició en el año 1987, se ha venido desarrollado en tres fases:

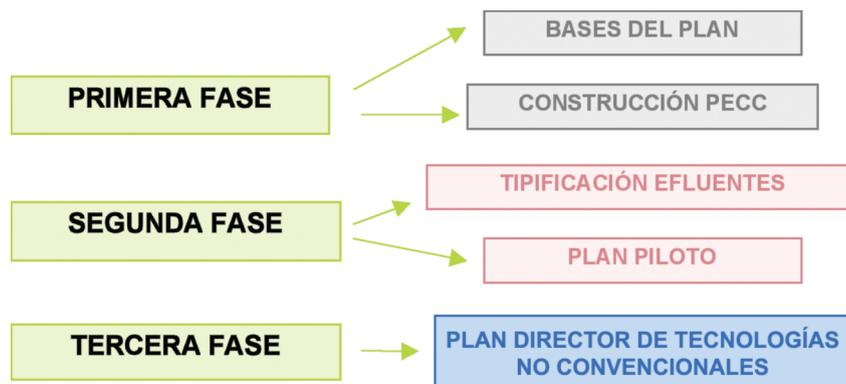


Figura 49.- Fases del Plan I+D de *Tecnologías no Convencionales*.

6.1.- Plan I+D: Primera Fase

6.1.1.- Bases del Plan

Como primera actuación, se llevó a cabo un exhaustivo estudio bibliográfico sobre el estado de las *Tecnologías no Convencionales* a nivel mundial, constatándose, que la mayoría de estas tecnologías contaban con una dilatada experiencia, y que Andalucía, por sus características climáticas y socioeconómicas, presentaba las condiciones idóneas para su implantación.

Para profundizar en aspectos relacionados con el diseño, construcción y explotación, se realizaron una serie de visitas a instalaciones de depuración basadas en técnicas no convencionales, ubicadas en países con una aquilatada experiencia en las mismas.

Con base a toda la información recabada en la revisión bibliográfica y en las visitas a instalaciones, se desarrolló una primera aproximación sobre la aplicabilidad de las *Tecnologías no Convencionales* en Andalucía. Para ello, y en base a datos relativos a: climatología, hidrología, geología, hidrogeología, usos del suelo, etc., se procedió a dividir el territorio andaluz en **zonas homogéneas**, para las que se establecía una selección de las posibles tecnologías a aplicar, de acuerdo con sus propias peculiaridades.

Tres factores básicos condicionan la posible aplicación de *Tecnologías no Convencionales*: la distribución por tamaños de la población, la climatología y el grado de industrialización de los municipios. En el caso concreto andaluz, estos factores presentan las peculiaridades siguientes:

Distribución por tamaños de la población

La *Figura 50* muestra la distribución, por rangos de tamaño, de los núcleos de población con que cuenta Andalucía. Como se observa, el 85% de los núcleos cuentan con menos de 2.000 habitantes, rango poblacional donde las *Tecnologías no Convencionales* presentan su principal campo de aplicación.

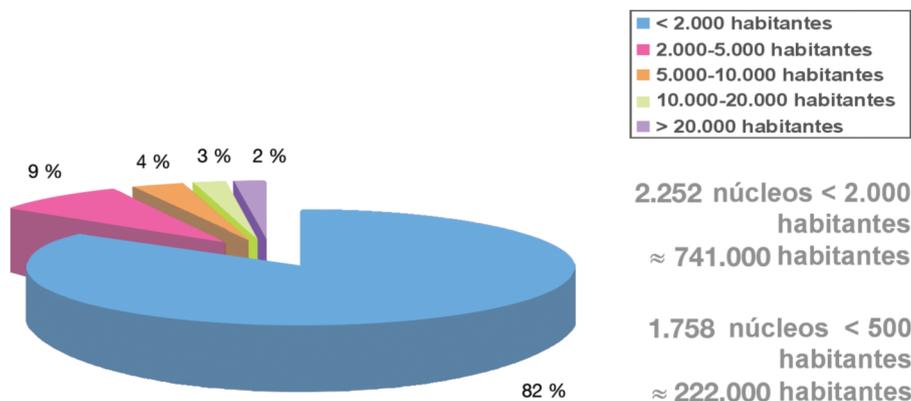
Climatología

La climatología andaluza, caracterizada por temperaturas medias anuales entorno a los 15 °C, precipitaciones escasas e irregulares y por una insolación media próxima a las 3.000 horas anuales de sol, propicia que la mayor parte del territorio presente las condiciones idóneas que se requieren para la implantación de *Tecnologías no Convencionales*.

La *Figura 51* recoge los mapas andaluces de: temperaturas medias anuales, precipitaciones anuales, evapotranspiración potencial anual y de la duración anual media de la insolación

Figura 50.- Distribución por tamaño de los núcleos de población andaluces.

2.734 núcleos de población



Nota: sólo se tienen en cuenta los núcleos de población de ≥ 10 habitantes

TEMPERATURA MEDIA ANUAL

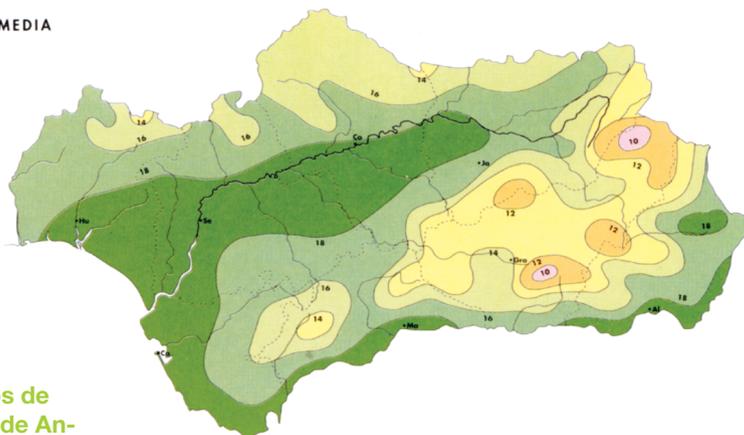
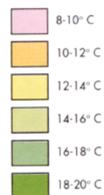
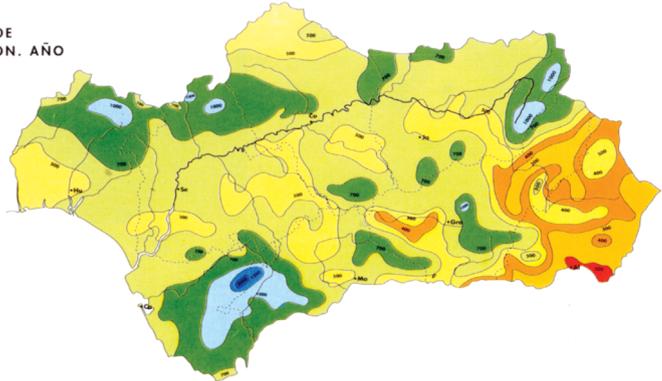
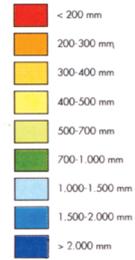
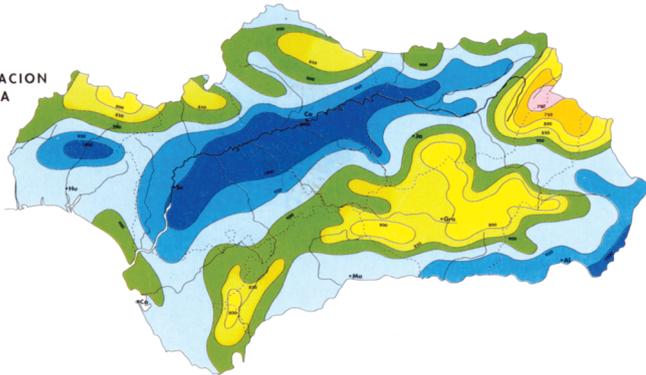
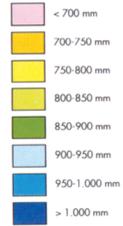


Figura 51.- Mapas climatológicos de Andalucía (Fuente: Atlas básico de Andalucía, Consejería de Educación y Ciencia, Junta de Andalucía).

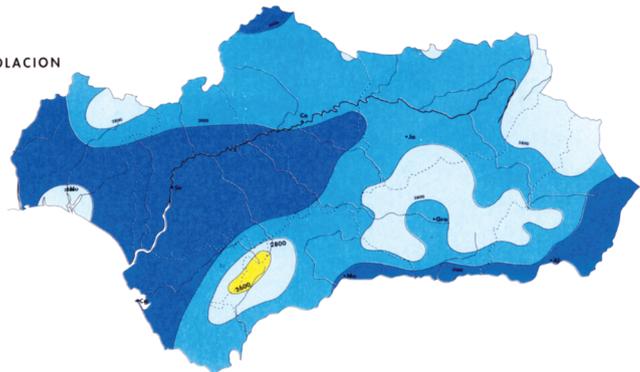
ALTURA MEDIA DE LA PRECIPITACION. AÑO



EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA



DURACION MEDIA ANUAL DE LA INSOLACION



Grado de industrialización

En lo referente al grado de industrialización (*Figura 52*), la mayoría de los pequeños núcleos andaluces se ubican en el ámbito rural, con muy escaso grado de industrialización, que normalmente se encuadra en el sector agroalimentario. Esta circunstancia conlleva, que las aguas residuales que se generan en las pequeñas aglomeraciones sean típicamente domésticas, sin vertidos anómalos que invaliden o dificulten los procesos biológicos de depuración.

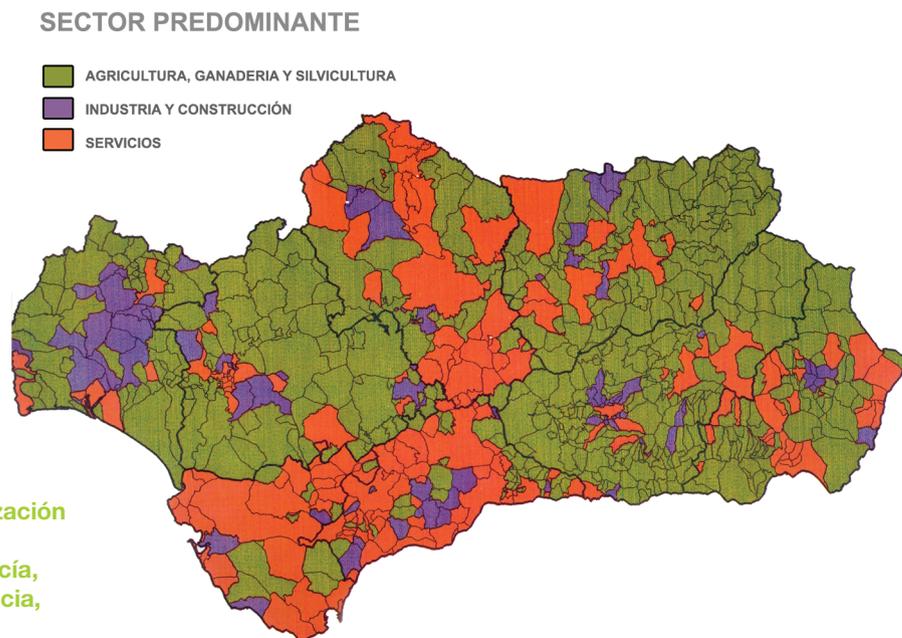


Figura 52.- Grado de industrialización de los municipios andaluces.
(Fuente: Atlas básico de Andalucía, Consejería de Educación y Ciencia, Junta de Andalucía).

6.1.2.- Construcción de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC)

Una vez admitida la validez de las *Tecnologías no Convencionales* para abordar la depuración de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas, era preciso obtener experiencias concretas y aplicables a la realidad del territorio andaluz, y comprobar, por tanto, la validez de los criterios de diseño disponibles en la bibliografía.

Para ello, se procedió a la implantación de una Planta Experimental en el municipio sevillano de Carrión de los Céspedes, que comenzó a operar en el año 1989, y que acogía un amplio abanico de *Tecnologías no Convencionales*, diseñadas a escala piloto, lo que permitía desarrollar las investigaciones con un mayor grado de economía y flexibilidad, a la par que permitía la interconexión entre las distintas tecnologías instaladas.

Figura 53.- La Planta Experimental de Carrión de los Céspedes en sus orígenes.



Los objetivos que se perseguían con la implantación de la Planta Experimental eran:

- La realización de investigaciones para poder fijar los parámetros de diseño de las diferentes tecnologías, adaptándolos a las condiciones propias del territorio andaluz.
- La divulgación de las *Tecnologías no Convencionales* mediante la recepción de visitas a las instalaciones y la publicación de trabajos e informes.
- Servir de centro de demostración y para la formación del personal de mantenimiento.

Figura 54.- La Planta Experimental de Carrión de los Céspedes en la actualidad.



www.plantacarrion-pecc.com

6.2.- Plan I+D: Segunda Fase

6.2.1.- Tipificación de efluentes

Dado que el principal campo de aplicación de las *Tecnologías no Convencionales* iban a ser las pequeñas aglomeraciones urbanas, y que, al contrario de lo que ocurría en las poblaciones de gran tamaño, las aguas residuales generadas en los pequeños núcleos no se encontraban bien caracterizadas (ni en cuanto a caudales ni a calidades) y, teniendo en cuenta que el buen conocimiento de estas aguas (“materia prima”) era básico para el correcto dimensionamiento de la instalaciones de tratamiento, dentro del Plan I+D de *Tecnologías no Convencionales* se procedió a la realización de una **Tipificación de Efluentes**.

Para esta tipificación se seleccionaron 20 localidades, suficientemente representativas del conjunto de los pequeños municipios andaluces, en las que se llevaron a cabo tres campañas de aforo y muestreo de sus vertidos.

La tipificación de efluentes permitió determinar, sobre el terreno, las dotaciones reales de caudal y carga por habitante, en función de los distintos rangos poblacionales.

Figura 55.- En la fase de tipificación de efluentes se caracterizaron las aguas residuales urbanas de una veintena de municipios andaluces.



6.2.2.- Plan Piloto

Los resultados obtenidos en las investigaciones llevadas a cabo sobre las diferentes *Tecnologías no Convencionales* instaladas a escala reducida en la Planta Experimental, precisaban ser contrastados a escala real, puesto que en este centro, y por su carácter experimental, el seguimiento y control de las unidades de tratamiento era mucho más exhaustivo que el que se realiza en las estaciones depuradoras municipales.

Por ello, dentro del Plan I+D de *Tecnologías no Convencionales*, se procedió a la construcción de una serie de **Plantas Piloto**, que junto al beneficio que suponían al depurar las aguas residuales de los municipios donde se implantaban, aportaban una valiosa información, que permitía ajustar los parámetros de diseño obtenidos en la Planta Experimental. En estas Plantas Piloto estaban representadas todas las *Tecnologías no Convencionales* implantadas en el centro de investigación.

La construcción de estas plantas se efectuó en virtud de Convenios Marco suscritos con distintos Ayuntamientos y Diputaciones, y fue financiada al 100% por la Consejería de Obras Públicas y Transportes, debiendo los Ayuntamientos correspondientes ceder los terrenos necesarios para la ejecución de las obras y aportar el personal para el mantenimiento de las instalaciones.

Una vez construidas, las Plantas Piloto se sometieron a un seguimiento exhaustivo al objeto de contrastar la idoneidad de los criterios de diseño adoptados, y de poder comparar su comportamiento con las unidades similares dispuestas en la Planta Experimental.

La ubicación de las Plantas Piloto en distintos escenarios territoriales andaluces (campiña, sierra, costa), permitía estudiar el comportamiento de las diferentes *Tecnologías no Convencionales* operando bajo distintas condiciones climatológicas.



Figura 56.- EDAR de Alcalá del Valle (Cádiz), incluida en el Plan Piloto.



Figura 57.- EDAR de Pedroche (Córdoba), incluida en el Plan Piloto.

6.3.- Plan I+D: Tercera Fase

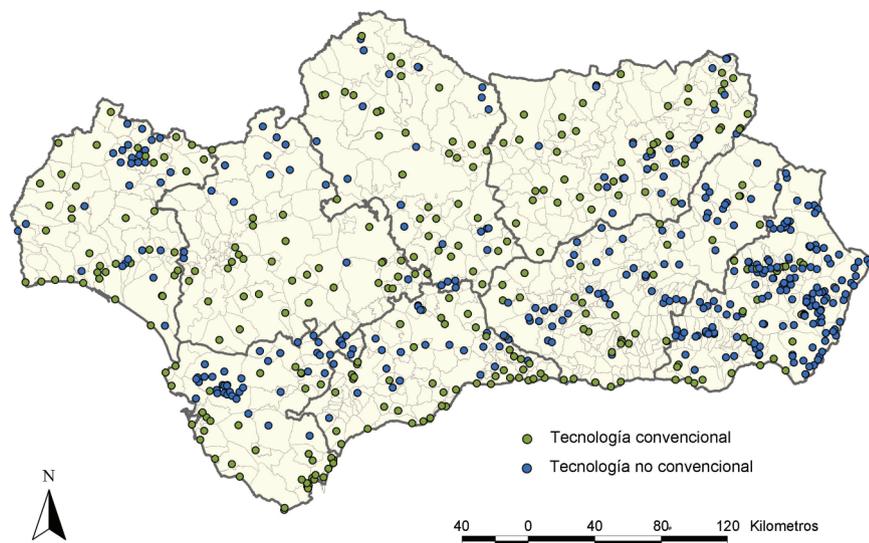
6.3.1.- Plan Director de Tecnologías no Convencionales

Con la redacción de este Plan, en el que se recogía toda la experiencia acumulada en las dos Fases anteriores, se planificaba la aplicación de las diferentes *Tecnologías no Convencionales* para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los pequeños núcleos de población andaluces, a la vez que se definían los costes de instalación/explotación de estas soluciones y las tarifas subsiguientes, y se analizaba las posibilidades de su financiación.

6.4.- Situación actual de las Tecnologías no Convencionales en Andalucía

Tras veinte años del inicio del Plan I+D de *Tecnologías no Convencionales*, y como consecuencia directa del mismo, en la actualidad, aproximadamente la mitad de las estaciones depuradoras con que cuenta Andalucía recurren a la aplicación de este tipo de tecnologías (*Figura 58*).

Figura 58.- Estaciones depuradoras de aguas residuales en Andalucía.



La *Figura 59* muestra el reparto, en función de la tecnología aplicada, de las instalaciones andaluzas de depuración de aguas residuales.

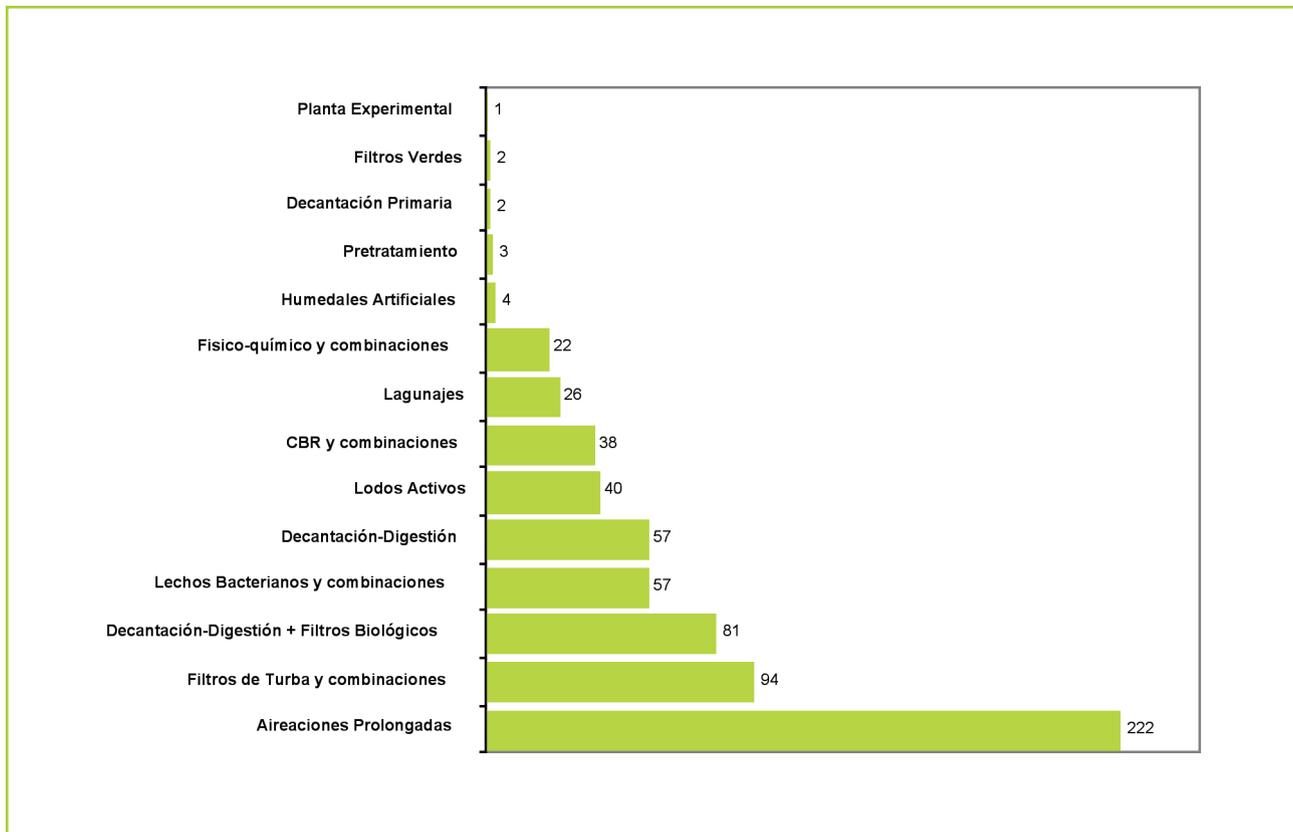


Figura 59.- Reparto de las EDAR andaluzas en función de la tecnología aplicada.

BIBLIOGRAFÍA

Consejería de Educación y Ciencia. Junta de Andalucía (1992). Atlas básico de Andalucía. *Ediciones Anel, Albolote (Granada).*

ANQUE (1994). Diseño y explotación de sistemas de depuración de aguas residuales en pequeños núcleos y comunidades. *Asociación Nacional de Químicos Españoles, Agrupación Territorial de Castilla la Mancha, Sección Técnica de Medio Ambiente.*

Catalán, J. (1997). Depuradoras “Bases Científicas”. *Bellisco Librería Editorial (Madrid).*

CENTA (2004). II Curso Experto Universitario en “Diseño y Cálculo de Infraestructuras Hidráulicas Municipales. Módulo IV “Depuración de Aguas Residuales. Tratamientos Biológicos III. Tecnologías no Convencionales.”. Universidad Internacional de Andalucía. Sede de Santa María de la Rábida. (Huelva).

CENTA-Secretaría General de Aguas (2004). Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Informe 1999-2002. *Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.*

Collado, R. (1992). Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades. *Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Señor nº 12. Ed. Paraninfo. S.A. (Madrid).*

Comisión Europea (2003). Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales. Adaptados a las pequeñas y medias colectividades (500 – 5.000 H. E.). *Oficina de las publicaciones oficiales de las comunidades europeas (Luxemburgo).*

Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. *McGraw-Hill Interamericana, Santa Fe de Bogotá (Colombia).*

Crites, R., Middlebrooks, E. y Reed, S. (2006). Natural Wastewater Treatment Systems. *CRC Press, Taylor & Francis Group.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1989). Plan de Investigación y Desarrollo de Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1991). Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. Seguimiento del Plan de Investigación y Desarrollo. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1993). Seguimiento del Plan I+D Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. Memoria del Segundo Año de Experimentación. Junio 91-Junio 92. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1994). Seguimiento del Plan I+D Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. Memoria del Tercer Año de Experimentación. Junio 92-Junio 93. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1995). Seguimiento del Plan I+D Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. Julio 1993-Diciembre 1994. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1997). Planta Experimental de Depuración de Aguas Residuales. Evolución y Experiencias. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (2000). Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Nuevas Experiencias. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Emasesa (1988). Aplicación de tecnologías blandas en el Centro Experimental de aguas residuales de Ranilla (Sevilla).

Hoover, S. y Porges, N (1952). Assimilation of dairy wastes by activated sludge. II. The equation of synthesis and rate of oxygen utilization. *Sewage and Ind. Wastes, 24, 306-312.*

Metcalf&Eddy (2000). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. *McGraw-Hill. Inc.*

Ritmann, B. y McCarty, P. (2001). Biotecnología del Medio Ambiente: Principios y Aplicaciones. *McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U.*

Secretaría General de Aguas, Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (2004). Planta Experimental de Carrión de los Céspedes, informe 1999-2002.

Tragsatec (1993). Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural. *Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Centro y Canarias. Ed. Agrícola Española S.A. (Madrid).*

