

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL

Grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## Alternativas desde la Economía Circular para la reutilización de agua y nutrientes de la EDAR de Pinedo en el cultivo de arroz de la Albufera de Valencia.

Curso 2015-2016

Autora: Carla García Ibáñez

Tutor: Guillermo Palau Salvador



Junio de 2016

Alternativas desde la Economía Circular para la reutilización de agua y nutrientes de la EDAR de Pinedo en el cultivo de arroz de la Albufera de Valencia.

**Autora: Carla García Ibáñez**

**Valencia, junio de 2016**

**Tutor: Guillermo Palau Salvador**

## **Resumen**

El presente trabajo evalúa las distintas alternativas para reutilización de aguas y nutrientes derivados del proceso de tratamiento de aguas residuales urbanas por una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), evaluando el caso concreto de la EDAR de Pinedo (Valencia). Tras una revisión del marco conceptual de reutilización de aguas y nutrientes en un contexto de economía circular, se identifican 8 alternativas: 1. Tratamiento de agua en EDAR; 2. Tratamiento de agua en filtro verde; 3. Recuperar fósforo en EDAR; 4. Realizar obras de distribución del agua para riego; 5. Reutilizar agua regenerada para riego; 6. Valorización agrícola de lodos; 7. Cogeneración y codigestión; y 8. Cultivo de algas. En el caso del sistema Pinedo se identifican los procesos de depuración del agua y recuperación de nutrientes y los posibles destinos para valorización de los productos del proceso. Se evalúan dichos destinos para el aprovechamiento agrícola y la mejora del ecosistema en la parque natural de la Albufera. Se realiza un análisis DAFO de las distintas alternativas. Se contempla la generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en alternativas que incluyen la utilización de filtros verdes y el compostaje de lodos. Se concluye que existe un potencial todavía por explotar para un aprovechamiento más eficiente de los procesos, el aprovechamiento agrícola del agua y nutrientes, la reducción de la dependencia de fertilizantes, la utilización de filtros agrícolas para completar el proceso de regeneración de agua, y la reducción de emisiones. Todas las opciones requieren inversiones y deben verse acompañadas por una formación adecuada de los usuarios de los productos del proceso, en particular de los agricultores.

**Palabras clave:** Instalaciones hidráulicas, tecnologías de riego, Gestión de residuos, gestión medioambiental, ordenación del territorio, desarrollo sostenible, EDAR, reutilización de agua y nutrientes, economía circular.

## **Resum**

El present treball avalua les diferents alternatives per a reutilització d'aigües i nutrients derivats del procés de tractament d'aigües residuals urbanes per una Estació Depuradora d'Aigües Residuals (EDAR), avaluant el cas concret de l'EDAR de Pinedo (València). Després d'una revisió del marc conceptual de reutilització d'aigües i nutrients en una economia circular, s'identifiquen 8 alternatives: 1. Tractament d'aigua en EDAR; 2. Tractament d'aigua en filtre verd; 3. Recuperar fòsfor en EDAR; 4. Realitzar obres de distribució de l'aigua per a reg; 5. Reutilitzar aigua regenerada per a reg; 6. Valorització agrícola de llots; 7. Cogeneració i codigestió; i 8. Cultiu d'algues. En el cas del sistema Pinedo, s'identifiquen els processos de depuració de l'aigua i recuperació de nutrients i les possibles destinacions per valorització dels productes del procés. S'avaluen aquests destinacions per a l'aprofitament agrícola i la millora de l'ecosistema en la parc natural de l'Albufera. Es realitza una

anàlisi DAFO de les diferents alternatives. Es contempla la generació d'emissions de gasos d'efecte hivernacle en alternatives que inclouen la utilització de filtres verds i compostatge de fangs. Es conclou que existeix un potencial encara per explotar per a un aprofitament més eficients dels processos, l'aprofitament agrícola de l'aigua i nutrients, la reducció de dependència de fertilitzants, la utilització de filtres agrícoles i naturals per a completar el procés de regeneració d'aigua, i la reducció d'emissions. Totes les opcions requereixen inversions, i s'han de veure acompanyades per una formació adequada dels usuaris dels productes del procés, en particular dels agricultors.

Paraules clau: Instal·lacions hidràuliques, tecnologies de reg, Gestió de residus, gestió mediambiental, ordenació del territori, desenvolupament sostenible, EDAR, reutilització d'aigua i nutrients, economia circular.

### **Abstract**

This study explores the options for reuse of water and nutrients from the process of treatment of urban waste water by waste water treatment plant (WWTP), evaluating the specific case of the WWTP of Pinedo (Valencia). Following a review of the conceptual framework of reuse of water and nutrients within a circular economy, 8 options were identified. 1. Improvement in WWTP processes for water treatment; 2. Water treatment through "green filters"; 3. Recover phosphorus in WWTP; 4. Improve infrastructure of distribution of water for irrigation; 5. Reuse treated water for irrigation; 6. Agricultural use of sludge; 7. Cogeneration and codigestion; and 8. Cultivation of algae. In the case of the system related to the Pinedo WWTP, the study evaluates the water treatment and nutrient recovery processes and possible destinations for water and nutrients reuses. Water and nutrients reuse contributes to agricultural development and to improve the ecosystem in the Albufera Natural Park. A SWOT analysis of the different options was carried out. Reducing GHG emissions involve the use of green filters and the sludge composting. There is a untapped potential for more efficient processes for agricultural use of water and nutrients, reduced dependence on fertilizers, using of agricultural and natural filters to complete the process, and reducing emissions. All options require investments and must be accompanied by adequate training of users of the products generated by the process, particularly farmers.

Keywords: Hydraulic systems, irrigation technologies, waste management, environmental management, land management, sustainable development, WWTP, reuse of water and nutrients, circular economy.



## **Agradecimientos**

Al finalizar la realización de este trabajo quisiera expresar mi agradecimiento:

A Guillermo Palau Salvador, tutor de este Trabajo Fin de Curso, por el apoyo y la paciencia que me ha ofrecido desde el principio hasta el fin de trabajo.

A Manuel Planells, técnico de la Comunidad de Riego Canal del Riego del Río Túria, y a los agricultores de esta comunidad que han hecho posible mi trabajo.

A Enrique Albors, gerente de la EDAR de Pinedo, por haberme permitido explorar amablemente la depuradora además de haber aprendido de primera mano sobre ella.

A Bosco Dies, técnico de la Fundación Assut, que me introdujo en la importancia de la economía circular. Cuando veo una acequia pienso en lo que cuesta llenarla y en la necesidad de administrar el agua como un recurso valioso.

A mis compañeras y compañeros de la UPV que me apoyaron durante este tiempo, especialmente a Tono.

A mis profesores de la ETSIAMN que me han permitido llegar hasta aquí.

A mis padres por su incansable ayuda.



## Índice de contenidos

<b>Acrónimos .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Justificación y objetivos .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2. Marco conceptual.....</b>	<b>10</b>
1.2.1 Economía circular en la depuración de aguas.....	10
1.2.2 Metodología .....	11
<b>1.3 Grupos de indicadores y fuentes.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Revisión de tecnologías .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Eliminación de nutrientes.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Recuperación de nutrientes .....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Fósforo .....	16
2.2.2 Nitrógeno .....	17
<b>2.3 Productos de reutilización.....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Agua regenerada.....	18
2.3.2 Lodos y fertilizantes .....	20
2.3.3 Cogeneración, codigestión y algas.....	23
<b>3. Economía circular y sistema de depuración de Pinedo.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Tratamiento de agua en EDAR.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Filtro verde V-30 .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Producción de fangos.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4 Recuperar fósforo en EDAR .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5 Distribución del agua.....</b>	<b>31</b>
<b>3.6 Uso del agua para riego.....</b>	<b>33</b>
<b>3.7 Valorización agrícola de lodos.....</b>	<b>34</b>
<b>3.8. Energía y emisiones .....</b>	<b>37</b>
<b>4. Análisis DAFO y evaluación de alternativas .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 DAFO .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Evaluación de estrategias.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3 Alternativas de emisiones en la EDAR .....</b>	<b>44</b>
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>47</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>49</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Grupos de indicadores y fuentes .....	13
Tabla 2. Beneficios ambientales y problemas de la reutilización del agua .....	19
Tabla 3. Ejemplos de cultivos que utilizan aguas residuales municipales sin tratar o tratadas parcialmente .....	19
Tabla 4. Ejemplos de cultivos regados con aguas residuales tratadas .....	20
Tabla 5. Potencial de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria.....	23
Tabla 6. Calidades de agua en distintas etapas de Pinedo II (mg/l) en 2012-13 .....	27
Tabla 7. Calidades de agua en distintas etapas de Pinedo II (mg/l) en 2015 .....	27
Tabla 8. Calidades en distintas etapas de agua regenerada el filtro verde de la V-30 (mg/l) .....	29
Tabla 9. Caudales tratados 2015 (hm <sup>3</sup> /año) .....	31
Tabla 10. Caudales de influente y efluente del sistema Pinedo proyectados y actuales en 2015 .....	31
Tabla 11. Ensayos de fertilización con lodos de depuradora.....	36
Tabla 12. Alternativas de ahorro de emisiones de GEI.....	46

## Índice de Figuras

Figura 1. Economía circular en agua y nutrientes.....	10
Figura 2. Funcionamiento y productos de una EDAR. ....	15
Figura 3. Balance de fósforo en bruto en una EDAR que recupera fósforo. Tasas de recuperación de fósforo en dos sistemas. ....	17
Figura 4. Esquema de balsa de regulación .....	19
Figura 5. Alternativas de gestión de lodos .....	22
Figura 6. Elementos valorizables y no valorizables de las EDAR.....	25
Figura 7. El sistema Pinedo .....	26
Figura 8. Filtro verde V-30.....	29
Figura 9. Caudal tratamiento terciario de Pinedo II y caudal máximo (hm <sup>3</sup> /mes). 2013 .....	32
Figura 10. Conducción Pinedo- Canal Júcar-Turia .....	33
Figura 11. Estudio del riego de arroz en parcelas en línea en la zona de la Albufera .....	34
Figura 12. Jerarquía de aprovechamiento de fangos en EDAR .....	35

## Acrónimos

ARJ	Acequia Real del Júcar
CJT	Canal Júcar-Turía
DBO5	Demanda biológica de oxígeno. Mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos.
DAFO	Debilidades-Amenazas-Fortaleza-Oportunidades
DQO	Demanda Química de Oxígeno. Mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos.
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
EPSAR	Entidad Publica de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GHG	Green House Gasses
HE	1 h-e (habitante equivalente) tiene una carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO <sub>5</sub> ) equivalente 60 gramos de oxígeno por día.
IVIA	Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias
MAGRAMA	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
MAP	Fosfato de magnesio y amonio, estruvita
MBR	Reactor biológico de membrana
MH	Materia húmeda
N	Nitrógeno
NT	Nitrógeno Total
P	Fósforo
PT	Fósforo Total
PAC	Policloruro de Aluminio
PAO	Procesos Avanzados de Oxidación
PNIR	Plan Nacional Integrado de Residuos
SS	Sólidos en suspensión
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
UE	Unión Europea
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
UV	Ultravioleta



# 1. Introducción

## 1.1. Justificación y objetivos

La transición a una economía circular, en la que los recursos se conserven y se reduzca la generación de residuos es una necesidad para alcanzar una economía sostenible, aplicada en los productos, servicios, residuos materiales, agua y energía. Un reciente informe (Ellen Macarthur Foundation, 2015) destaca los beneficios de la economía circular. La transición también conlleva costes por las inversiones necesarias, por una regulación que a veces no facilita la reutilización de recursos, y por la necesidad de un cambio cultural en la sociedad. El citado informe estima que sólo un 5% del valor de las materias primas utilizadas en la economía provienen del reciclado o del tratamiento de residuos. Añade que la economía circular podría reducir los costes de producción de alimentos per cápita en un 30%. El uso de residuos como producción de materias primas es esencial en la UE: los residuos y subproductos de productos ya utilizados entrarían en un nuevo ciclo de producción como “materias primas secundarias”.

Además de los aspectos ambientales, es la principal estrategia en Europa para generar crecimiento y empleo, obteniendo una ventaja competitiva en el marco de la globalización. Existe una fuerte motivación económica y empresarial a favor de la eficiencia de los recursos, estrategia económica Europa 2020 de la Comisión Europea.

En una economía circular, los consumidores muestran hábitos dietéticos saludables y acceden con facilidad a productos locales, frescos y de calidad. Está dirigida tanto a agentes públicos preocupados por un desarrollo sostenible en el territorio, como a agentes empresariales y sociales que buscan resultados económicos, sociales y ambientales. Pero cerrar el círculo requiere soluciones para reducir el impacto sobre el medio ambiente y favorecer la reutilización de recursos. Este es un papel que facilitan las Estaciones Depuradora de Aguas Residuales (EDARs). Este estudio explora alternativas para poner en valor los productos de la depuración.

En la Union Europea, el 70% del fósforo y de los sólidos biodegradables de los residuos urbanos nunca se recupera (Schoumans et al., 2015). Más del 95 por ciento del fósforo que se utiliza en Europa es importado como fertilizante, piensos, alimentos y otras materias primas. Por supuesto, reducir la producción de residuos es una solución para reducir los impactos ambientales, pero el sistema debe proporcionar medios para reducir la dependencia que la agricultura tiene de los fertilizantes de síntesis.

La presión pública relacionada con el riesgo que supone la descarga de nutrientes a las aguas está obligando a los gobiernos a exigir la reutilización del agua y la recuperación de nutrientes.

Este trabajo suministra información sobre las ventajas e inconvenientes que ofrece la utilización de estas materias primas, incluyendo el agua, los nutrientes y otros productos de la depuración del agua. Para ello, este trabajo tiene los siguientes objetivos:

- Identificar opciones viables para la valorización económica, social y ambiental de productos derivados de la regeneración de aguas residuales.

- Revisar el estado de las tecnologías en el contexto de la práctica actual en el área metropolitana de Valencia y la agricultura de su entorno.
- Tomar como caso la EDAR de Pinedo para evaluar la viabilidad de las distintas alternativas, identificando sus ventajas e inconvenientes a través de un análisis DAFO.
- Evaluar el alcance de distintas alternativas de tratamiento para reducir las emisiones de GEI.

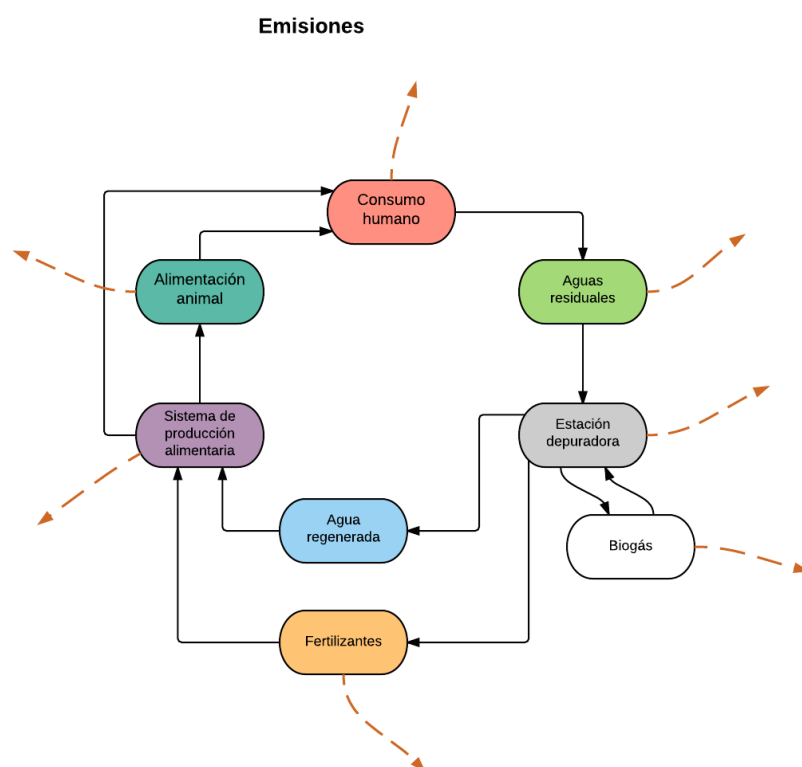
## 1.2. Marco conceptual

### 1.2.1 Economía circular en la depuración de aguas

La Ellen MaCarthur Foundation, citada anteriormente, observa la economía circular como una filosofía de organización de sistemas inspirada en los seres vivos, que persigue el cambio de una economía lineal (producir, usar y tirar) hacia un modelo circular, tal y como ocurre en la naturaleza.

La **Figura 1** muestra cómo funciona la economía circular. El ciclo se inicia con el consumo por animales y humanos de los nutrientes de los alimentos y continúa con la producción de flujos de residuos. Se estima globalmente que el contenido total de P en los desechos humanos excretados (orina y heces) podría satisfacer aproximadamente el 22% de la demanda de P (Nicholson et al., 1999). El ciclo continúa con el tratamiento de aguas residuales y finaliza con la reutilización del agua y el aprovechamiento de materias primas generadas por la regeneración. La cadena de valor agroalimentaria contribuye a cerrar el ciclo.

**Figura 1. Economía circular en agua y nutrientes.**



Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de las EDARs es producir una calidad aceptable de agua, ya sea para su reutilización o para su descarga en el medio. La reutilización de las aguas permite reducir la presión sobre los acuíferos. La reutilización del agua en la agricultura también puede contribuir al reciclado

de nutrientes a través de la sustitución de fertilizantes sólidos. El reciclado de nutrientes a través de métodos sostenibles puede producir ventajas económicas. En la última década, se han realizado esfuerzos considerables para mejorar las tecnologías de recuperación de nutrientes e integrarlas en lo posible en la infraestructura de las EDARs. Los nutrientes reciclados se pueden devolver al suelo en forma de fertilizantes. Su uso sostenible en la agricultura reduce la necesidad de fertilizantes minerales, cuya producción tiene efectos negativos para el medio ambiente y depende excesivamente de la importación de rocas fosfatadas. Las EDARs pueden hacer su función reduciendo en lo posible el consumo energético. La producción de biogás a partir de la digestión anaerobia es una estrategia viable para la recuperación de energía. Existen además procesos emergentes para un aprovechamiento energético como es la depuración de agua mediante microalgas.

Un problema de los flujos de residuos tratados en las EDAR es la relativamente baja concentración de nutrientes (1 a 200 mg/l) en comparación con los fertilizantes inorgánicos sintéticos. Por ello conviene evaluar la reutilización de nutrientes mediante un esquema de tres etapas, en orden secuencial:

- (1) Eliminación de nutrientes;
- (2) Recuperación de nutrientes; y
- (3) Reutilización de nutrientes.

La fase (1) es habitualmente realizada en las EDARs. En esta fase los nutrientes diluidos en las aguas residuales son acumulados y movilizados. La fase (2) de recuperación en forma de productos concentrados puede hacerse o no de manera vinculada directamente a la EDAR. La fase (3) corresponde a etapas posteriores de la economía circular como, por ejemplo, un adecuado manejo agronómico.

La EDAR constituye sólo una de las partes de un sistema que devolverá a la economía, el agua y los nutrientes. La eliminación de nutrientes puede consistir en una acumulación en biomasa como lodo activado o algas, o como concentración fisicoquímica en forma de precipitado o adsorción. El fango resultante puede ser utilizado directamente para la aplicación al suelo o, en caso de precipitación, puede generar un producto comercializable en forma de abono.

Adicionalmente, los procesos deben contribuir a las medidas de optimización energética avaladas por la estrategia de la Unión Europea establecida en el Marco 2030 en materia de clima y energía (COM, 2014) con una reducción prevista del 40% de GEI con respecto a 1990, el objetivo del 27% de energías renovables en el consumo energético, y del 27% en el ahorro energético.

### 1.2.2 Metodología

Este trabajo se desarrolla en tres fases. En la primera etapa se realiza una revisión e identificación de estrategias que posibilitan la eliminación, la recuperación y la reutilización de nutrientes. En esta fase del estudio se identifican 8 tipos de procesos o alternativas que serán evaluados posteriormente para el caso de las actividades relacionadas con el sistema de depuración de aguas residuales de Pinedo. Las alternativas que pueden ser aplicadas son las siguientes:

- Eliminación
  - o 1. Tratamiento de agua en EDAR
  - o 2. Tratamiento de agua en filtro verde
- Recuperación

- 3. Recuperar fósforo en EDAR
- Reutilización
  - 4. Realizar obras de distribución del agua para riego
  - 5. Reutilizar agua regenerada para riego
  - 6. Valorización agrícola de lodos
- Eficiencia energética
  - 7. Cogeneración, codigestión y emisiones
  - 8. Cultivo de algas

En una segunda fase, se describirán las condiciones existentes en la EDAR de Pinedo y las posibilidades de los productos de la depuración y la regeneración de las aguas residuales. Para ello se tuvieron en cuenta opiniones expertos y recientes estudios en el entorno valenciano.

En una tercera y última fase, se realizará un análisis DAFO de las estrategias aplicadas, teniendo en cuenta las condiciones locales. El análisis DAFO, también conocido como Matriz FODA (o por su acrónimo en inglés SWOT), es una metodología de estudio de la situación de una empresa, una alternativa o una propuesta, analizando sus características internas (fortalezas y debilidades) y su situación externa (amenazas y oportunidades) en una matriz ordenada<sup>1</sup>. Para la realización de los DAFO se entrevistaron agentes intervinientes en la EDAR y en actividades agrícolas relacionadas en la Comunidad Valenciana (**Anexo 1**), en particular técnicos de la EDAR de Pinedo, de la Acequia del Oro, y agricultores. Los DAFO permitieron formular una serie de conclusiones y recomendaciones sobre la viabilidad de las opciones de integración del sistema de depuración en el marco de una economía circular, con especial atención a la valorización agrícola de los productos de la depuradora. Esta fase se complementó con una evaluación de las opciones de reducción de emisiones de GEI de distintas opciones de tratamiento de aguas residuales y aprovechamiento de recursos, incluyendo los filtros verdes o el compostaje de lodos.

### 1.3 Grupos de indicadores y fuentes

Para el estudio de caso de la EDAR de Pinedo y del tratamiento se utilizaron diversos indicadores que, en conjunto, ayudan a evaluar la eficacia de las tecnologías de depuración y regeneración de aguas, de reutilización de nutrientes, y de eficiencia energética. En la **Tabla 1** resumimos los datos utilizados y su principal fuente. Cuando se utilicen estos indicadores en este trabajo, se volverá a citar la fuente utilizada.

---

<sup>1</sup> Ver <http://ctb.ku.edu/en/table-of-contents/assessment/assessing-community-needs-and-resources/determine-service-utilization/main>.

**Tabla 1. Grupos de indicadores y fuentes**

Grupo de indicadores	Fuente
Calidades de agua en distintos influentes y efluentes de Pinedo II	EPSAR, ALBORS (2014)
Mediciones de calidad del agua en campos de arroz	EPSAR, ALBORS (2014)
Calidades en distintas etapas de agua regenerada el filtro verde de la V-30 (mg/l)	EPSAR, MARTIN et al. (2013)
Coste de tratamiento del agua (secundario y terciario) en EDAR de la CV	EPSAR
Caudales tratados y proyectados por la EDAR de Pinedo I y II	EPSAR
Destino de caudales tratados en EDAR Pinedo I y II	EPSAR
Caudal mensual de tratamiento terciario EDAR Pinedo	ESTRELA (2015), CHJ.
Producción de lodos por m3 tratado en EDAR de la CV	EPSAR
Destino de los fango de depuradora	EPSAR
Efectos del riego con aguas depuradas en cultivo de arroz	MARTINEZ CORTIJO (2004)
Respuesta de cultivos a fertilización con lodos	POMARES (2013, 2014), IVIA
Consumo energético en EDAR totales, con digestión anaeróbica y con codigestión.	EPSAR
Factores de emisión de etapas de procesos en EDAR	OCCC (2015)
Análisis DAFO	Entrevistas a actores

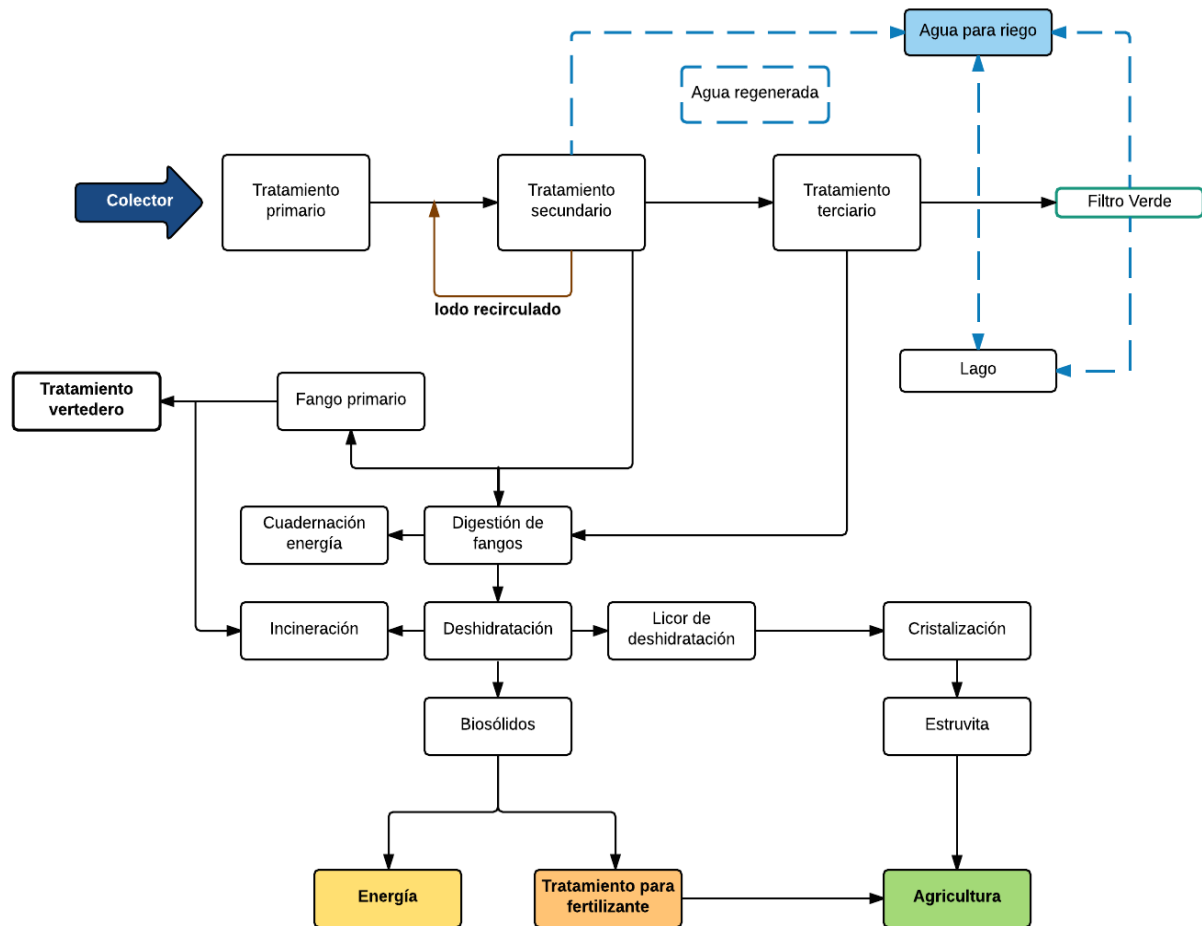


## 2. Revisión de tecnologías

### 2.1 Eliminación de nutrientes

El funcionamiento de una EDAR se representa en la **Figura 2**. Se diferencian dos procesos: líneas de aguas y líneas de fangos. Se parte de concentraciones de fósforo y de nitrógeno en las aguas residuales influentes en un rango de 4 a 20 mg/l de PT y de 30 a 100 mg/l de NT. Las concentraciones en los fangos dependen del método de tratamiento de sólidos y varían de 30 a 250 mg/l de PT y de 200 a 2000 mg/l de NT.

**Figura 2. Funcionamiento y productos de una EDAR.**



Fuente: Elaboración propia

Las aguas son desprovistas de los sólidos en suspensión (SS) en varios tratamientos sucesivos. En el tratamiento primario se separa, mediante procesos físicos, parte de los sólidos debidos a su densidad. A continuación, en el tratamiento secundario o reactor biológico, una parte de la materia orgánica es metabolizada y transformada en materia viva. La acción de microorganismos transforma la materia orgánica en sólidos sedimentables que puedan separarse fácilmente. Hay diversas tecnologías posibles, siendo habituales el tratamiento de fangos activos y la digestión anaerobia de los lodos. En las EDAR de mayor dimensión, como la de Pinedo, se añade un tratamiento terciario que se adapta al uso posterior del agua. Es un tratamiento complementario que permiten obtener mejores rendimientos en la eliminación de materia en suspensión, así como reducir nutrientes y metales que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales.

Entre los tratamientos terciarios avanzados podemos destacar la coagulación-floculación que consiste en añadir sales de hierro o de aluminio para favorecer la sedimentación de partículas sólidas, macromoléculas y coloides presentes en el agua. El tratamiento puede completarse con procesos de filtración (arena, anillas, membranas o tamiz), microfiltración por membranas (ultrafiltración y ósmosis inversa), desinfección (cloración, ozonización, UV) o por otras tecnologías como los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) o los reactores biológicos de membrana (MBR). Alcanzar niveles de 0,1 mg/l de PT es tecnológicamente factible, pero supone aumentar sustancialmente los costes de operación en una EDAR, lo que obliga a plantear alternativas sostenibles como los filtros verdes.

La línea de fangos genera una serie de subproductos (lodos), en los cuales se concentra toda la contaminación eliminada del agua y cuyo tratamiento y eliminación puede ser complicada. Las dos principales fuentes de producción de fangos son el tratamiento primario y el tratamiento secundario. Los fangos producidos poseen gran cantidad de agua (en torno al 95-99%), ocupan gran volumen y contienen gran cantidad de organismos patógenos, por lo que requieren tratamiento para estabilizarlos. Para esta operación, el método más extendido en las EDAR españolas de mayor dimensión es la digestión anaeróbica. Para el tratamiento de estos fangos se produce previamente un espesamiento, que reducirá el volumen de los fangos y también la cantidad de calor que se requiere para la digestión anaerobia. Esta operación evita los problemas de fermentación y putrefacción de la materia orgánica. Finalmente, los fangos se deshidratarán para eliminar la mayor cantidad de agua posible, y posibilitar que resulten manejables y transportables.

Existen muchas alternativas de tratamiento de aguas en las EDAR con diferentes costes y niveles de reducción de nutrientes y eliminación de contaminantes en el agua (**Anexo 2**). Existen nuevas opciones de diseño que logran mayores tasas de eliminación por m<sup>3</sup> en el reactor biológico. La eficacia puede aumentarse, por ejemplo, con biorreactores de membrana (MBR), que retienen la biomasa con una membrana en lugar de por sedimentación en un decantador, o con los procesos aeróbicos de lodo granular que permiten crear gránulos compuestos por bacterias eliminan simultáneamente el nitrógeno y el fósforo en un tanque aireado, con una reducción del volumen en comparación con la biomasa floculante convencional que debe emplear grandes decantadores secundarios.

Con el tratamiento terciario y las mejoras tecnológicas de separación de sólidos disponibles (por ejemplo, ultrafiltración de membrana y ósmosis inversa), el umbral de eliminación de nutrientes que se puede lograr en una EDAR es 0,01 mg/l de PT y de 3 mg/l de NT. La elección de tecnología es un tema delicado, pues alcanzar un nivel de PT del efluente inferior a 0,3 mg/l y de NT de 5 mg/l casi triplica los costes de funcionamiento de los tratamientos convencionales (Oleszkiewicz, 2015). El costo vuelve a duplicarse cuando el objetivo del tratamiento aspira a 0,01 mg/l de P y a 2 mg/l de N.

## 2.2 Recuperación de nutrientes

### 2.2.1 Fósforo

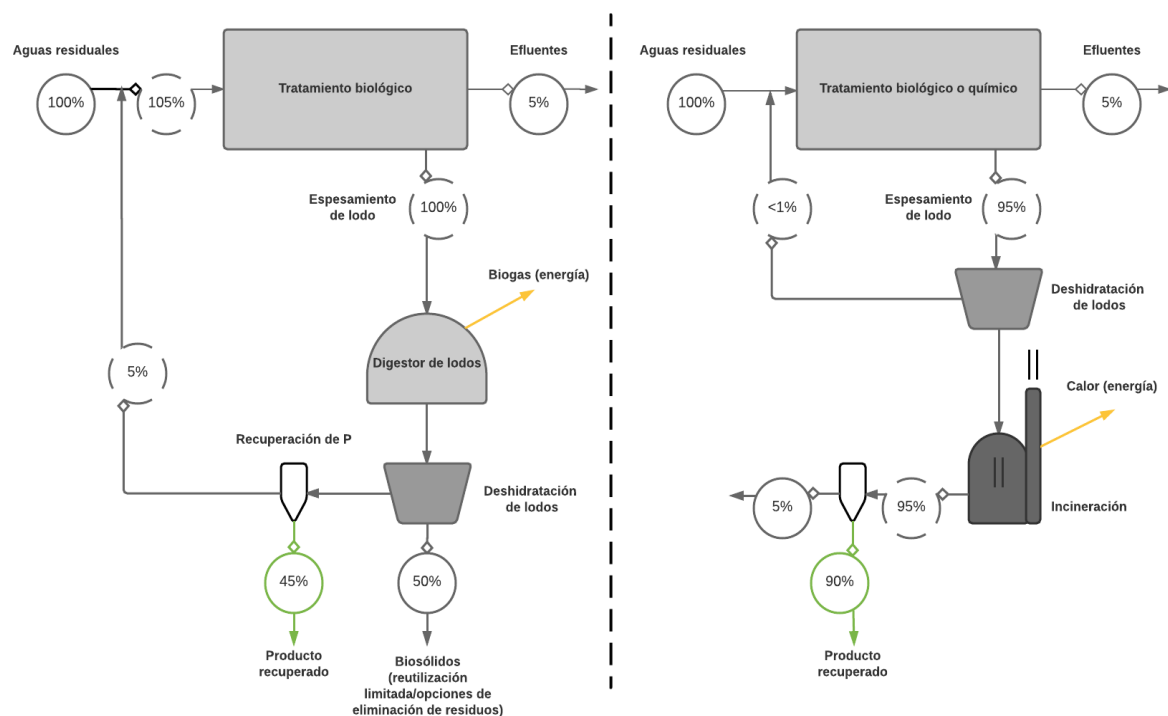
Muy pocas EDARs han puesto en marcha procesos de recuperación de fósforo *in situ*. Los expertos entrevistados para este trabajo argumentaron la escasez de incentivos económicos para instalar unidades de recuperación. Varios países de la UE restringen la aplicación directa de lodos de EDAR en el campo debido a la sobresaturación de los suelos con nutrientes, especialmente de fósforo, lo que ha motivado el interés en su recuperación. La recuperación de P en una EDAR es una necesidad cuando existen problemas derivados de la precipitación masiva de estruvita en la planta.



El precio de fósforo recuperado es otro de los factores clave, ya que el precio del mineral de fosfato llegó a alcanzar los 300 euros/t a finales de la pasada década. El creciente interés por los fertilizantes de liberación lenta (diferente del material de liberación rápida convencional) ha creado un nicho para la estruvita recuperada, que puede ser usada como fertilizante.

La **Figura 3** muestra un balance de fósforo en bruto en una EDAR en la que se realizan operaciones de recuperación (Cornel y Schaum 2009). Se estima que hasta un 95% de la carga de P puede acabar en el lodo retirado, dependiendo de la concentración de fósforo exigida en el efluente. El fósforo puede ser recuperado específicamente a partir del licor de deshidratación o de las cenizas de lodos de depuradora, aunque este último proceso conlleva un coste energético considerable.

**Figura 3. Balance de fósforo en bruto en una EDAR que recupera fósforo. Tasas de recuperación de fósforo en dos sistemas.**



Fuente: Elaboración propia a partir de CORNEL Y SCHAUM (2015).

## 2.2.2 Nitrógeno

En cuanto al nitrógeno, su recuperación extractiva en la línea de fango se puede practicar en forma de amoníaco. Este proceso sólo es interesante cuando la energía es barata (por ejemplo donde hay cogeneración de biogás). Los costes de recuperación de nitrógeno *in situ* son actualmente demasiado elevados y superiores (al menos el doble) a los convencionales para eliminar amoníaco del agua residual. Los costes de transporte del amoníaco para su uso exterior hacen que el proceso pueda ser antieconómico.

En un reactor biológico, aproximadamente el 65% del nitrógeno de entrada se elimina a través de procesos de nitrificación y desnitrificación. Según Oleszkiewicz (2015), partiendo de una concentración de descarga permitida en el efluente de 1 a 15 mg/l, aproximadamente el 10% de la carga de nitrógeno entrante termina en el efluente. Casi un 25% de la carga de amoníaco entrante se

incorpora en el lodo de aguas residuales. Un balance de nitrógeno bruto para una EDAR típica se muestra en el **Anexo 3**.

Según el estudio citado de Cornel Y Schaum, las tecnologías disponibles para la recuperación de nutrientes se pueden dividir en seis grupos: (1) recuperación de N o P de lodos generados en un proceso biológico que incluye la recuperación desde el centrifugado, el filtrado, el sobrenadante, o el lodo de digestión; (2) la recuperación de N y P del lodo químico; (3) recuperación de P de cenizas; (4) recuperación de N y P de la corriente principal; (5) la recuperación de nitrógeno solamente en forma mediante el despojamiento o intercambio iónico de amoníaco; y (6) la recuperación de orina separada.

## 2.3 Productos de reutilización

### 2.3.1 Agua regenerada

La reutilización de las aguas residuales permite disponer de un nuevo recurso para sistemas hidrológicos sometidos a mayores consumos o a reducción de las aportaciones debidas al cambio climático. La reutilización reduce la degradación de las aguas subterráneas en situación de sobreexplotación y en aguas superficiales que sufren pérdida de calidad. En el área Mediterránea, la situación se agrava por las presiones urbana y turística. Por este motivo existe una oportunidad para las EDARs que, en zonas costeras, dan salida a unos volúmenes considerables de agua que se vierte directamente al mar a través de emisarios marinos. En la Cuenca Hidrográfica del Júcar se depuran aproximadamente 470 Hm<sup>3</sup> año, de los que pueden reutilizarse de manera directa 120 Hm<sup>3</sup>/año (Estrela, 2015). Su uso principal es el riego agrícola, sobre todo de agua procedente del área metropolitana de Valencia (60 Hm<sup>3</sup>/año).

El Real Decreto 1620/2007 establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, que determina los criterios de calidad mínimos obligatorios. Este “RD de reutilización” indica los usos para los que pueden utilizarse las aguas regeneradas estableciéndose unos Valores Máximos Admisibles (VMA) de determinados parámetros de calidad (**Anexo 4**).

Según datos ofrecidos por la EPSAR, el coste medio del agua depurada para su reutilización en la Comunidad Valenciana asciende a 0,23 €/m<sup>3</sup> (0,18 €/m<sup>3</sup> en las de más 500.000 h.e.) a los que hay que añadir los costes de transporte y distribución. Este coste sigue siendo alto comparado con el precio del agua para uso agrícola (0,006 y 0,012 €/m<sup>3</sup>), por lo que el agua regenerada requiere subvención. En la **Tabla 2** se sintetizan los principales beneficios y problemas que enfrenta la depuración de agua para su reutilización.

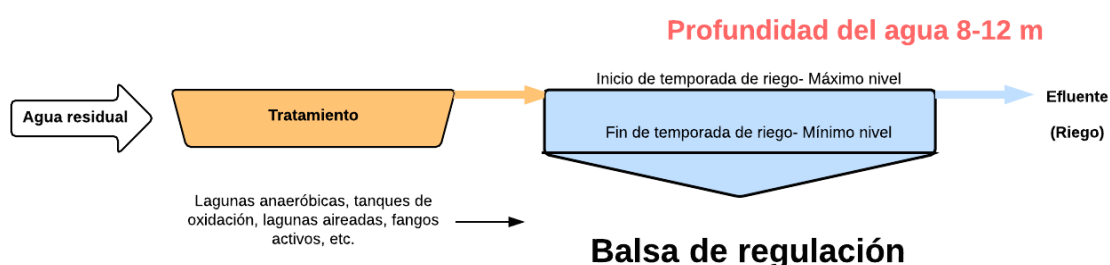
De acuerdo con Martínez Cortijo (2004), la reutilización de aguas debe tener en cuenta condicionantes de tipo sanitario, agronómico y económico. Si el uso previsto es el riego, las exigencias de calidad son inferiores en algunos parámetros. El agua reutilizada puede ser un fertilizante con un elevado contenido en nutrientes útiles. La estacionalidad de la demanda de agua es un condicionante que está marcado por el tipo de cultivo. Por otro lado, el agua en condiciones para su uso agrícola tiene que ser transportada al lugar donde se necesita este recurso, lo que implica la necesidad de disponer de sistemas de bombeo y canalización eficaces y de construir balsas de regulación para almacenar el agua regenerada que ayude a contrarrestar la estacionalidad de los cultivos (**Figura 4**). La forma de riego también es un condicionante, pues, por ejemplo, los sistemas de aspersión, y riego localizado tienen exigencias mayores de calidad para evitar la obturación de los goteos. Las aguas depuradas son, por tanto, especialmente válidas en sistemas en los que todavía es adecuado el riego por inundación, como el arroz.

**Tabla 2. Beneficios ambientales y problemas de la reutilización del agua**

Beneficios ambientales	Problemas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ahorro de volumen extraído de masas de agua superficiales y subterráneas.</li> <li>- Eliminar vertidos directos al mar.</li> <li>- Garantía de calidad del agua, sin riesgos para el medio ambiente ni para la salud pública.</li> <li>- Caudal de agua no dependiente de la estacionalidad del recurso ni del uso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estricta normativa para la reutilización.</li> <li>- Falta de infraestructura.</li> <li>- Posibles impactos adversos sobre el medioambiente.</li> <li>- Requiere monitorización y evaluación.</li> <li>- Limitaciones financieras, puesta en servicio y bajo precio de venta del agua regenerada.</li> <li>- Falta de aceptación pública.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de MENOR SALAZAR (2014) y la Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007.

**Figura 4. Esquema de balsa de regulación**



Fuente: LIBHABER (2003) y elaboración propia.

Para valorar la calidad de las aguas regeneradas para el riego se usan los mismos criterios que para las aguas superficiales o subterráneas en cuanto a su contenido en sales y en elementos potencialmente fitotóxicos como el sodio, el cloruro y el boro. Además, hay que tener en cuenta el contenido en microorganismos patógenos y en metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos que no suelen presentar problemas en el riego con agua normal. Hace falta conocer cultivo, exigencias hídricas, ciclo vegetativo, necesidades de nutrientes, sensibilidad a la salinidad y a posibles contaminantes, clima y meteorología, características de los suelos a regar (por ejemplo, el ph) y sistemas e infraestructuras para riego. En las **Tablas 3 y 4** se recogen ejemplos de cultivos que, según la FAO, pueden ser regados con aguas tratadas parcialmente y completamente tratadas, respectivamente.

**Tabla 3. Ejemplos de cultivos que utilizan aguas residuales municipales sin tratar o tratadas parcialmente**

Tipos	Ejemplos de cultivos
<b>Cultivos extensivos</b>	Cebada, maíz, avena, trigo
<b>Cultivos de hortalizas aptos para consumir crudos</b>	Brócoli, repollo, coliflor, apio, chile, tomate, lechuga, pimiento
<b>Cultivos de hortalizas aptos para consumir procesados</b>	Alcachofa, cebada, mijo, patata, espinaca, calabaza, remolacha, girasol
<b>Huertos y viñedos</b>	Árboles frutales, manzanos, cítricos, limoneros, melocotones, pistachos, ciruelos, olivos, dátiles, vides
<b>Invernaderos</b>	Flores

Fuente: FAO (2013)

**Tabla 4. Ejemplos de cultivos regados con aguas residuales tratadas**

Tipos	Ejemplos de cultivos
Cultivos agrícolas	Cebada, maíz, avena
Cultivos de hortalizas aptos para consumir crudos	Aguacate, repollo, lechuga, fresa
Cultivos de hortalizas aptos para consumir procesados	Alcachofa, remolacha, caña de azúcar
Huertos y viñedos	Naranja, melocotón, ciruela, olivos, vid
Invernaderos	Flores

Fuente: FAO (2013)

La tesis doctoral del profesor Martínez Cortijo realizó una evaluación exhaustiva del cultivo de arroz regado con agua de EDAR. Un aspecto a considerar del uso de los efluentes de las EDAR es su papel como suplemento de nitrógeno en el riego incluso con aguas regeneradas con bajas concentraciones de N total (<4 mg/l). La reutilización de las aguas residuales para riego permite reducir el costo de tratamiento de aguas residuales mediante la omisión del tratamiento terciario. Sin embargo, si las concentraciones de nitrógeno son elevadas puede haber un aporte excesivo para el cultivo, lo que en el caso del arroz puede provocar que se tienda la planta. El exceso de nitrógeno no sólo puede ser perjudicial para la planta sino que puede aumentar la lixiviación de nitratos y la contaminación de las aguas subterráneas. Las características de los suelos son, además, fundamentales en la estrategia de uso de aguas residuales para el riego, dado que el suelo actúa para la planta como depósito de agua pero a la vez interacciona con ella y con el agua, y reacciona con los componentes que lleva disueltos.

En resumen, el uso agrícola del agua residual depurada puede tener dos finalidades:

- Aumentar los rendimientos de cultivo aprovechando la materia orgánica y los nutrientes del agua. Las aguas tratadas pueden contener nitrógeno, fósforo y materia orgánica que implican un ahorro de fertilizantes.
- Establecer un sistema de tratamiento terciario que aumente la eficacia de la depuración. Esta utilidad es de gran interés como complemento a las acciones de las EDARs en sistemas naturales altamente sensibles como la Albufera de Valencia. A este aspecto aludiremos más adelante al referirnos al papel de los filtros verdes, que trataremos en el caso específico de la EDAR de Pinedo.

### 2.3.2 Lodos y fertilizantes

La reutilización de los nutrientes de los lodos de depuración reduce el consumo de roca de fosfato no renovable. Los lodos presentan propiedades variables, dependiendo de su origen y de los tratamientos a los que han sido sometidos. Se han realizado numerosos análisis para medir las propiedades específicas de los fangos en España (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2009). Se está desarrollando una amplia actividad por parte del grupo de trabajo CEN/TC308/WG1 para definir métodos normalizados europeos.

Las EDARs deben asegurar una correcta gestión de lodos (**Figura 5**), y pueden realizarla directamente o encargarla a gestores autorizados, conforme a la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. La orientación de su gestión debe realizarse respetando los principios de la política de residuos relativos a la protección del medio ambiente y la salud humana, priorizando la prevención sobre el reciclado (“el mejor lodo es el que no se produce”), otros tipos de valorización, incluida la energética, y quedando en último lugar el depósito en vertedero. En la actualidad las orientaciones para su gestión se recogen en el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) y se exige un registro público de aquellas EDAR con una carga orgánica superior a los 100.000

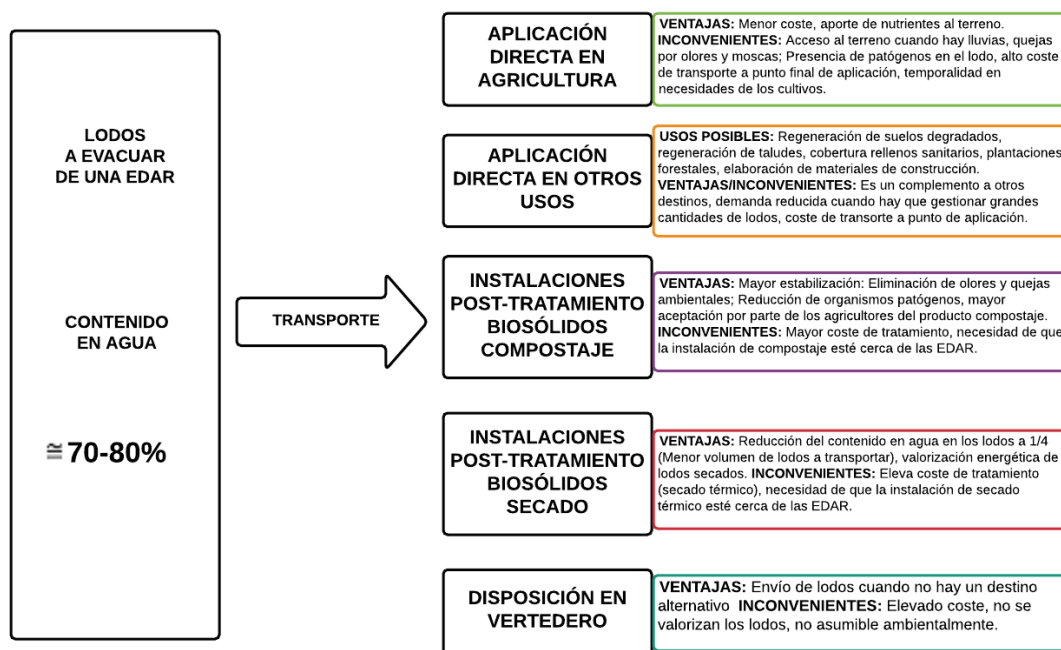
h-e. Una vez tratados, los lodos pueden ser sometidos a otras operaciones posteriores que aseguran un destino final adecuado y ambientalmente seguro. Los lodos pueden ser aplicados en los suelos agrícolas (conforme al Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, que regula la utilización de los lodos en el sector agrario), incinerados en instalaciones de incineración de residuos o co-incinerados en cementeras (Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre). La Directiva 86/278/CEE del Consejo prohíbe el empleo de fangos sin tratar, salvo en los casos de inyección directa o enterramiento en el suelo, siempre que lo autoricen los Estados miembros (en España no está autorizado). Para proteger la salud, se prohíbe la aplicación de lodos en determinados cultivos y se establecen plazos para su aplicación en los autorizados.

La Directiva señala que la utilización de los lodos en agricultura ha de tener en cuenta las necesidades de nutrientes de las plantas. También limita los contenidos en metales pesados y exige análisis periódicos de suelos y fangos. La regulación sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario establece un Registro Nacional de Lodos que incluye la información que deben suministrar las instalaciones depuradoras, las instalaciones de tratamiento de lodos y los gestores que realizan la aplicación agrícola (Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio).

En la Comunidad Valenciana, se estima que se producen unas 370.000 toneladas anuales de fango en forma de materia húmeda (74.000 en materia seca). Si se expresa con base en la población, resulta un producción de lodo per cápita de unos 40 gramos en materia seca, aún bastante inferior a la de otros países de la Unión con mejor estado de depuración (una media de 90 gramos por día y persona). Aunque la producción de fangos de EDAR se ha reducido en los últimos años, el aumento de las exigencias legales de la cantidad de agua tratada y la mejora del rendimiento de depuración pueden hacer que la cifra aumente en el futuro. En España, el objetivo es un mínimo del 85% de biosólidos tratados para su reutilización en la agricultura, que ya ha sido alcanzado en la C.V. (93% en 2012). En zonas de agricultura intensiva, con altos niveles de fósforo en el suelo, las cargas admisibles son tan reducidas que hay poco sentido económico en aplicarlas al suelo. Eso ha llevado a que en muchas regiones de la UE (Países Bajos, Suecia) la aplicación directa al suelo no sea practicada o esté prohibida. En estos países existe una tendencia hacia la recuperación de fósforo a partir de cenizas, lo que conlleva un considerable gasto energético. En España alrededor de un 3-5% de la cantidad total de lodos se incinera, por encima del umbral del 3% previsto en el Plan Nacional Integrado de Residuos (MAGRAMA, 2013, 2015). El problema que presentan estos residuos tras su incineración es la presencia de metales pesados en su composición, lo cual les convierte en potenciales contaminantes y justifica una intensa búsqueda de alternativas.

La aplicación directa al suelo de productos fertilizantes de recuperación, como la estruvita, son las principales opciones para la reutilización de los nutrientes de las EDARs. Hay una creciente presión pública sobre la aplicación al suelo debido a la preocupación por la contaminación por carga de nutrientes y la escorrentía, la acumulación de metales pesados y los efectos desconocidos de las sustancias emergentes.

**Figura 5. Alternativas de gestión de lodos**



Fuente: MARTÍNEZ MURO (2014) y elaboración propia.

Los biosólidos se aplican generalmente al suelo tomando como base las necesidades de nitrógeno por los cultivos (BOUDEMANN et al., 2014). Una tasa habitual de aplicación de nitrógeno con respecto a fósforo puede ser de aproximadamente de 120 kg N/ha y año y de 20 kg de P/ha y año o sea, 6:1. Pero en los biosólidos procesados Clase A ( $<1 \times 10^3$  coliformes fecales) la proporción de N a P aplicada puede llegar a 2:1 o incluso 1:1, por lo que puede haber exceso teórico en la aplicación de fósforo a partir de lodos. La velocidad de liberación del fósforo es variable en función de la naturaleza de los biosólidos, y el agricultor corrige la dosis con la aplicación fertilizantes minerales, lo que podría conducir a una sobredosis. Los lodos de EDAR, por lo tanto, no se pueden aplicar repetidamente a un suelo para cumplir los requisitos de nitrógeno de los cultivos. Una aplicación más segura de lodos puede lograrse ajustando la velocidad de aplicación basada en las necesidades de fósforo de los cultivos, mientras que se complementa el abonado mediante la adición de fertilizantes nitrogenados. Otra estrategia para la aplicación sostenible de lodos al suelo es la aplicación de dosis agronómicas a base de N, pero con aplicaciones periódicas cada 3 a 5 años (BOUDEMANN et al., 2014). Pero la aplicación no continua de los biosólidos obliga a un almacenamiento adecuado, dependiendo del clima y el contenido de agua.

La recuperación de fósforo a partir de lodos activos acuosos (en forma de apatita o estruvita) antes de su aplicación en el suelo, permite reducir el contenido de fósforo y proporciona una relación N:P más fácil de manejar, facilitando así una gestión de biosólidos sostenible. El proceso de tratamiento de los lodos y las características físico-químicas del suelo (por ejemplo, el pH) afectan a la liberación de nutrientes y metales pesados que posteriormente determinan la tasa de aplicación de biosólidos. Por ejemplo, según MANTOVI et al. (2005), la aplicación directa de 10 t MS/ha y año de biosólidos líquidos digeridos anaeróbicamente tienen un impacto negativo en los cultivos, mientras que la aplicación de la misma cantidad de lodos compostados no mostró efectos negativos.

Tanto las propiedades de la fuente de fósforo como las del suelo condicionan la cantidad de nutrientes biodisponibles y, posteriormente, la pauta de aplicación.

### 2.3.3 Cogeneración, codigestión y algas

El tratamiento de digestión anaeróbica de lodos de decantación en las EDARs permite la generación de biogás, que puede ser utilizado para dos finalidades:

- Producir energía interna necesaria para el propio proceso, es decir, para el calentamiento necesario del digestor, así como además para obtener energía para la deshidratación o el secado térmico de los fangos.
- Exportar la energía por cogeneración, tras un proceso de limpieza del lodo, donde se reduzca la cantidad de sulfuro de hidrógeno y de siloxanos.

La optimización de la digestión anaerobia se ve fomentada por la normativa de valorización de fangos citada en el apartado anterior. Sólo pueden aplicarse en agricultura aquellos lodos que tengan muy bajos niveles en metales pesados, validados desde el punto de vista microbiológico y con bajos niveles de contaminantes orgánicos, lo que promueve la implantación de determinados pre-tratamientos como la codigestión.

#### 2.3.3.1 Codigestión

La codigestión facilita una reutilización de los residuos y su valorización energética. La codigestión consiste en el tratamiento conjunto de dos o más residuos orgánicos diferentes. La práctica se ha potenciado en los últimos años para mejorar el rendimiento de los digestores, ya que algunos de ellos están sobredimensionados.

**Tabla 5. Potencial de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria**

Tipo	Contenido orgánico	Sólidos volátiles (%)	Producción de biogás (m3/tonelada)
Intestinos + contenidos	Hidratos de carbono, proteínas, lípidos	15-20	50-70
Lodos de flotación	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	90-130
Aceites de pescado	30-50% lípidos	80-85	350-600
Suero	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Suero concentrado	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	18-22	100-130
Hidrolizados de carne y hueso	70% proteínas, 30% lípidos	10-15	70-100
Mermeladas	90% azúcares, ácidos orgánicos	50	300
Aceite soja/margarinas	90% aceites vegetales	90	800-1000
Bebidas alcohólicas	40% alcohol	40	240
Lodos residuales	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	3-4	17-22
Lodos residuales concentrados	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	15-20	85-110

Fuente: ELÍAS CASTELLS (2012), p. 646.

Sin embargo, hay que tener en cuenta determinados aspectos, como determinar la

proporción adecuada de cada sustrato en la mezcla (**Tabla 5**), ya que se pueden introducir sustancias tóxicas o inhibitorias del proceso anaerobio. Además, la codigestión no debe esconder prácticas de dilución de contaminantes, tales como los metales pesados, por lo que el control de la calidad del residuo anaerobio es obligado en la operación de estos digestores. El aumento de tasa de producción de biogás en codigestión depende del tipo de mezcla y de las características del digestor, pero la experiencia de cogeneración de energía en las EDARs de la Comunitat Valenciana ha sido satisfactoria, con aumentos de hasta el 50% en la energía cogenerada. En la Comunitat existen 17 EDARs autorizadas para codigestión por la Consellería de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural.

### **2.3.3.2 Algas**

Las microalgas pueden ser eficaces para eliminar N, P y metales tóxicos, y tienen un alto potencial regenerador, en particular como tratamiento terciario de las aguas residuales, alternativa al tratamiento químico (Hoffmann, 1998).

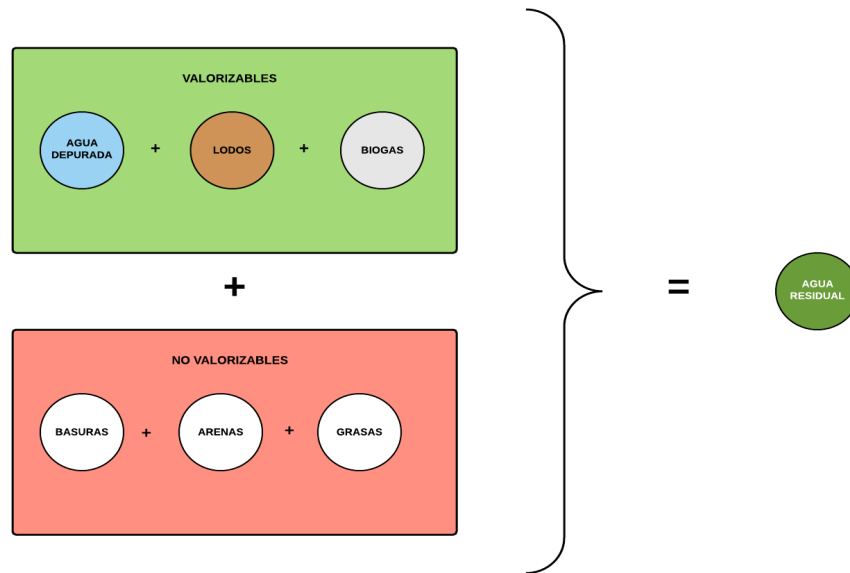
Las microalgas unicelulares verdes se han propuesto desde hace mucho tiempo como una fuente potencial de combustible renovable. Las microalgas pueden generar cantidades significativas de biomasa y de aceite adecuado para su conversión a biodiesel. Se ha estimado que las microalgas tienen una mayor productividad de biomasa que otros cultivos en relación con la superficie necesaria, lo que implica un potencial de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Pittman et al., 2011). Muchas especies de microalgas son capaces de crecer eficazmente en condiciones de aguas residuales a través de su capacidad de utilizar carbono orgánico, N inorgánico y P de las aguas residuales. Aunque el uso de microalgas en tratamiento de aguas residuales ha sido propuesto desde hace varias décadas, su utilización en EDAR es todavía experimental, con algún ejemplo piloto destacable en España como la EDAR El Torno de Chiclana (Cádiz). Un esquema de dicha planta, diseñada por el proyecto All-Gas, puede encontrarse en el **Anexo 5**.



### 3. Economía circular y sistema de depuración de Pinedo

Las depuradoras de la Comunidad Valenciana producen un volumen considerable de elementos valorizables (agua, lodos, biogás) y no valorizables, que se resumen en la **Figura 6**. A continuación vamos a estudiar varias estrategias de economía circular, todas complementarias, aplicadas al caso particular del sistema Pinedo.

**Figura 6. Elementos valorizables y no valorizables de las EDAR**



Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1 Tratamiento de agua en EDAR

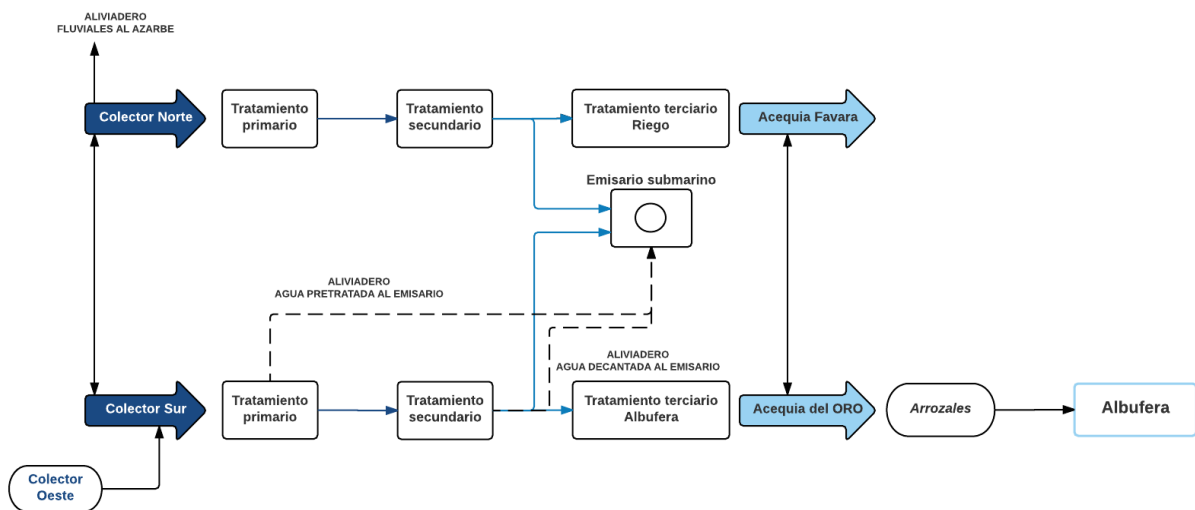
El sistema de depuración de Pinedo es la instalación para el tratamiento del agua residual más importante de la Comunidad Valenciana. En efecto, el sistema Pinedo queda integrado por varias instalaciones para la depuración de un agua residual correspondiente a una población de más de 1.011.792 de habitantes, complementadas por un emisario submarino que, con objeto de proteger las playas de l'Horta, al sur del Turia, aleja el vertido del agua, previamente tratada biológicamente, y lejos de la línea de la costa. El sistema de depuración de Pinedo trata en la actualidad la mayor parte de las aguas residuales del municipio de Valencia y de los municipios de Albal, Alcàsser, Alfafar, Catarroja, Llocnou de la Corona, Massanassa, Mislata, Picassent, Sedaví, Silla, Benetússer, Beniparrell, Burjassot, Xirivella, Paiporta, Paterna y Picanya.

Estas instalaciones para la depuración del agua residual están constituidas por una planta depuradora inaugurada en 1981 (Pinedo I) capaz para tratar un caudal de 124.800 m<sup>3</sup>/día; de una primera ampliación (Pinedo II), inaugurada en 1994, capaz de tratar 280.000 m<sup>3</sup>/día con tratamiento primario; y de una segunda ampliación (Pinedo II – ampliación), inaugurada en 1999, con tratamiento secundario, digestión y deshidratación de fangos (200.000 m<sup>3</sup>/día). Esta instalación se complementa con un tratamiento terciario, inaugurado en 2005, con capacidad para 350.000 m<sup>3</sup>/día (en principio 100.000 m<sup>3</sup>/día para regeneración de la Albufera y 250.000 m<sup>3</sup>/día para riego).

La construcción del sistema se hizo por etapas. El tratamiento biológico permite la eliminación de la mayor parte del nitrógeno, pero es insuficiente para eliminar el fósforo con los

niveles exigidos para el agua con destino final en la Albufera, lo que sólo es posible a partir de la planta tratamiento terciario. El agua llega a Pinedo I por gravedad, pero la planificación de las ampliaciones conlleva varios bombeos de agua, primero a la llegada de Pinedo II desde el colector Oeste, después a la salida del tratamiento secundario para ingresar en el tratamiento terciario, y posteriormente para ser reutilizada e incluso bombeada aguas arriba. Un esquema detallado de los procesos de depuración puede encontrarse en el **Anexo 6** y una representación simplificada se representa en la **Figura 7**.

**Figura 7. El sistema Pinedo**



Fuente: EPSAR y Elaboración propia.

El sistema de tratamiento terciario está equipado con una moderna tecnología que permite la reducción de las concentraciones de fósforo a niveles muy exigentes. El tratamiento sigue el sistema Densadeg, con siete líneas, cámara de mezcla con agitación rápida donde se añade el coagulante, cámara lenta donde el agua coagulada se pone en contacto con el floculante y con los fangos espesados recirculados, cámara de sedimentación, y proceso de decantación lamelar que atrapa los sólidos más ligeros. Se emplea policloruro de aluminio (PAC) como cloagulante/floculante. Tras pasar el agua por un filtro Aquazur (sistema de trece filtros de arena horizontal por gravedad), una fuente de 1500 lámparas ultravioletas permite la reducción de las unidades formadoras de colonias (ufc) de Escherichia Coli a un nivel inferior a 20 ufc por ml. El lodo decantado es estabilizado mediante digestión anaeróbica que permite la generación de biogás.

Las **Tabla 6** y **7** muestran los niveles de calidad del agua tratada en el sistema de depuración de Pinedo a la entrada del tratamiento primario y la salida de los tratamientos primario, secundario y terciario. En 2015, la calidad del agua a la salida del tratamiento biológico produjo un agua con un nivel medio de sólidos en suspensión (SS) de 7 mg/l, por debajo de los 20 mg/L admitidos para el riego en plantas comestibles para alimentación humana en fresco, según el "RD de reutilización". Sin embargo, para poder alcanzar un riego seguro se aconseja el tratamiento terciario que permite rebajar los SS a 3 mg/l y el PT por debajo de 0,47 mg/l.

El tratamiento biológico permite en ocasiones lograr una calidad de agua aceptable para riego si se combina con la adición de PAC. Esta práctica es aconsejable por los problemas de presencia de espumas (foaming) que pueden pasar en los tanques de sedimentación, y que se eliminan mediante la adición de reactivos, lo que incrementa los costes del tratamiento. Esto permite en ocasiones rodear (bypass) las primeras etapas del tratamiento secundario y pasar directamente a los filtros de arena o a la desinfección por UV. Sin embargo, para el agua que finalmente acaba en la Albufera, el tratamiento terciario es el que realmente garantiza los niveles requeridos de P, de modo que si el sistema falla, el agua debe ser enviada al emisario marino.

**Tabla 6. Calidades de agua en distintas etapas de Pinedo II (mg/l) en 2012-13**

Medias 2012-2013	SS	DBO5	DQO	NT	PT
Influyente	215,5	223,5	512,0	37,6	5,70
Efluente primario	99,5	136,0	316,5	36,3	4,85
Efluente biológico	16,5	8,5	35,5	10,2	1,35
Efluente terciario	3,5	3,0	18,5	8,4	0,56
Mediciones en campos irrigados de arroz en distintos períodos (2013)					
Cinegético (enero)	35	14	52	2,4	0,43
Preparación (mayo)	60	29	106	9,1	0,53
Cultivo (agosto)	41	7	33	1,7	0,36
Recolección (septiembre)	31	6	19	3,6	0,45

Fuente: EPSAR, Elaboración propia

**Tabla 7. Calidades de agua en distintas etapas de Pinedo II (mg/l) en 2015**

Media 2015	SS	DBO5	DQO	NT	PT
Efluente primario	92	146	267	47,7	5,17
Efluente biológico	7	8	30	12,9	1,20
Efluente terciario	3	7	22	8,7	0,47

Fuente: EPSAR, Elaboración propia

### 3.2 Filtro verde V-30

Estando la Albufera a unos pocos kilómetros de la EDAR, una alternativa aparentemente lógica sería utilizar el agua regenerada para mejorar los niveles de calidad del lago, el cual está sujeto a procesos de dominancia de fitoplancton. No es un problema de caudal, pues estaría disponible el

caudal generado en la EDAR que no puede ser utilizado para riego agrícola como consecuencia de la estacionalidad de esta demanda, por lo que solamente los excedentes, los caudales no aprovechables por el regadío, se destinarían a la Albufera, para lograr de esta manera una mejora significativa en su estado ecológico.

Sin embargo, la calidad del efluente, o los costes necesarios para alcanzar la calidad necesaria, hacen inviable desde la perspectiva ambiental el vertido a la Albufera. En algunos estudios se ha planteado la reducción de la presencia de nutrientes, especialmente el fósforo. El “Estudio para el desarrollo sostenible de la Albufera de Valencia” de la Confederación Hidrográfica del Júcar de 2004, recomendó una concentración máxima de fósforo del efluente de Pinedo de 0,01 mg P/l. Este umbral es antieconómico en opinión de los técnicos de la EDAR.

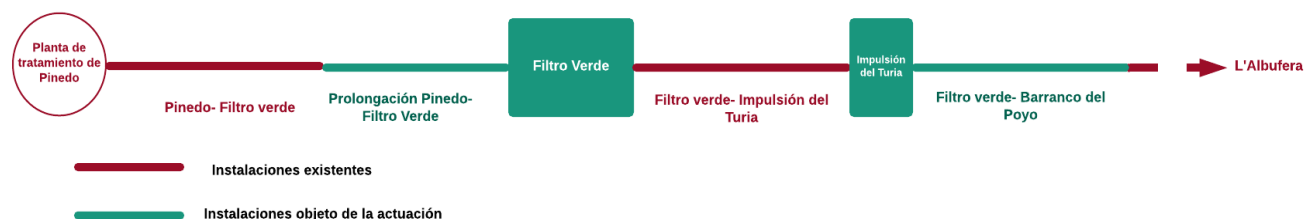
Ante la vulnerabilidad del lago de la Albufera, una conclusión del trabajo de Martínez Cortijo (2004) es que la reutilización para el riego de las aguas que, al final del proceso, acaban vertiéndose a la Albufera, de alguna manera se permite no sólo un mayor aprovechamiento de los recursos de agua, sino también una mejora de ciertos parámetros de calidad y los niveles de toxicidad son menores que si se vertiese el agua directamente al lago. Dada la capacidad depuradora del suelo-cultivo, se podría pensar que el tratamiento terciario no sería necesario siempre y cuando las aguas pasen previamente por el cultivo y no lleguen directamente al lago o a otra zona sensible. Suponiendo, claro, que el tratamiento biológico es suficientemente eficaz para lograr calidades de agua aceptables para riego.

En el caso de la EDAR de Pinedo, se han realizado mediciones en campo de parámetros de calidad de agua de riego procedente del tratamiento terciario. En la **Tabla 6** se separan varios períodos de la campaña del arroz y se muestran mediciones en campo, que reflejan el efecto regenerador del cultivo, sobre todo en los niveles de PT y menos en NT, especialmente en la etapa posterior a la preparación del campo. En este último período los niveles de nitrógeno son superiores a los del efluente de la EDAR, lo que indica que podría darse una sustitución de fertilización. Las entrevistas realizadas a agricultores no permiten observar que las pautas de fertilización sean afectadas por el hecho de utilizar aguas regeneradas.

Siendo por tanto, relevante, el filtro natural de los cultivos de arroz, se deben plantear opciones seguras y eficaces de tratamiento terciario, y podrían plantearse métodos más naturales como los filtros verdes. No obstante, por las razones que apuntamos más adelante, el filtro verde para el caso de la EDAR de Pinedo no se ha contemplado como una opción viable, después de los ensayos pilotos realizados.

En el caso de la Albufera, Acuamed proyectó un filtro verde que permitiría tratar y reutilizar agua regenerada como aporte adicional, lo que estaba condicionado por la conducción existente entre la EDAR y el filtro verde cuya capacidad sería de 1 m<sup>3</sup>/seg. Se construyó como filtro una planta piloto en la V-30, con una superficie total de 2,8 hectáreas, formada por un conjunto de nueve unidades de humedales contruidos de flujo sub-superficial en paralelo. El filtro verde de la V-30 se localizó al sur de la ciudad de Valencia, a 4 km de la EDAR de Pinedo. La vida útil prevista del filtro verde fue sólo de 3 años, después de lo cual, sería eliminado. Los resultados obtenidos servirían como base para el diseño de un sistema completo para tratar las aguas de la EDAR y se completaría con un sistema de impulsión del Turia a una conducción entre el Filtro Verde y el Barranco del Poyo desde donde el agua llegaría a la Albufera (**Figura 8**).

**Figura 8. Filtro verde V-30**



Fuente: CHJ, Elaboración propia

El porcentaje de eliminación de nutrientes se calculó a la entrada y la salida del sistema (Martin et al., 2013). La media de las concentraciones de entrada (flujo de salida de la EDAR) eran las típicas de las aguas residuales tratadas en la etapa terciaria (**Tabla 8**). La concentración media de P total para el período estudiado fue 0,52 mg/l, que fue inferior a la directriz regulada de 1,0 mg/l pero mayor que el valor de salida más exigente (y para algunos deseable), de 0,1 mg/l. La media de la concentración de N total fue de 8,9 mg/l, de los cuales el nitrato fue la forma predominante (64%). El humedal fue plantado con cañas y contenía un medio de filtración que se componía de arena y óxido de hierro, con un rendimiento de eliminación de P total mayor del 70%, con concentraciones de salida de 0,1 a 0,2 mg/l (**Tabla 8**). A finales de 2013, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente decidió suprimir la planta piloto argumentando su carácter experimental, su vulnerabilidad frente a las avenidas del río Turia y sus altos costes de operación al requerir de al menos dos bombeos que incrementaban la factura energética. Se estimó, en el citado estudio que el tratamiento en continuo de un metro cúbico por segundo, que es el efluente que Pinedo puede producir con tratamiento terciario, requeriría una superficie de 86,4 hectáreas frente a las 2,2 hectáreas que abarcaba la planta piloto situada en el nuevo cauce.

**Tabla 8. Calidades en distintas etapas de agua regenerada el filtro verde de la V-30 (mg/l)**

	Efluente EDAR Pinedo II	Calidad en filtro verde en 2012		
	Media 2013	Influente	Efluente	Tasa de eliminación
SS	3,5			%
DBO5	3	3,3	6,90	
NT	8,4	8,9	7,50	16
PT	0,56	0,52	0,15	71

Fuente: EPSAR, MARTÍN et al. (2013) y elaboración propia

### 3.3 Producción de fangos

La producción continua de lodos hace que uno de los retos más importantes desde el punto de vista ambiental y económico de la EDAR sea el tratamiento y la correcta gestión de lodos. Se estima que la producción de lodos por m<sup>3</sup> en las EDARs de la Comunitat Valenciana se sitúa en el rango 150 a 250 g de MS por m<sup>3</sup> de agua depurada, cantidad que depende de la calidad del agua

bruta (composición de sólidos) y de la cantidad de reactivos añadidos.

En una EDAR con digestión anaerobia se puede optimizar la producción de lodos, de manera que una cifra de 150 g de MS por m<sup>3</sup> es plausible. Existen procesos que pueden reducir todavía más la producción como por ejemplo la hidrólisis térmica previa al tratamiento de digestión. Asumiendo la cifra anterior y para un caudal tratado de unos 120 hm<sup>3</sup>/año, la cifra de lodos producida sería de 18.000 t/año de MS, lo que, suponiendo un 20% de MS, puede llevar a tener que gestionar unos 90.000 t/año. Las cifras reportadas por las EDAR Pinedo I y Pinedo II en el Registro Estatal de Residuos y Contaminantes se sitúan alrededor de esta cifra (**Anexo 7**).

### 3.4 Recuperar fósforo en EDAR

En la EDAR de Pinedo, tanto en el reactor biológico como sobre todo en el tratamiento terciario, la adición de sales de metales (PAC) es el método comúnmente usado de la eliminación de fósforo de la corriente principal. Las sales metálicas se unen fuertemente al fósforo, lo que hace que sea menos biodisponible y puede limitar el uso futuro de los lodos en forma de sólidos ricos en fósforo, aunque sea posible aplicarlo al suelo (Smith et al., 2002). Otras opciones de recuperación incluyen la extracción de fósforo en el mismo proceso. Existen métodos de extracción térmica / química que puede recuperar fósforo y algunos metales a partir de compuestos de fosfato unidos químicamente (Oleszkiewicz, 2015).

En los últimos años se están desarrollando técnicas que permiten recuperar el fósforo de las corrientes de retorno de los espesadores y de deshidratación, con objeto de minimizar los problemas de precipitación durante la digestión anaerobia del fango y así recuperar el fósforo en forma de un fertilizante (estruvita). Esta tecnología no sólo supone un beneficio para la EDAR en cuanto a la calidad del efluente, sino también una fuente de ingresos por la venta de dicho producto cristalizado.

La cristalización del fósforo ya se produce de manera incontrolada en la digestión anaerobia. La recuperación de fósforo mediante la cristalización controlada de estruvita supone, por tanto, un ahorro en operaciones de mantenimiento, aunque para los técnicos de la EDAR de Pinedo éste no parece ser un problema.

Con pocas excepciones, la mayoría de los procesos de recuperación incluyen la separación de fósforo por precipitación / cristalización de fosfato de calcio o fosfato de magnesio y amonio (MAP, estruvita). El fosfato de calcio o hidroxilapatita es un producto directamente comparable al fosfato mineral. En la mayoría de los casos, la precipitación espontánea de fosfato de calcio de la solución no se produce en absoluto o sólo con muy alta sobresaturación. Sin embargo, la separación de fosfato de calcio se puede lograr mediante la adición de cristales semilla, tales como arena o silicato de calcio hidratado, que son capaces de iniciar el proceso de precipitación / cristalización del fosfato de calcio.

La cantidad de fósforo que se puede recuperar y, posteriormente, los ingresos procedentes del producto final, dependen de la concentración de fosfato en solución. Es, por lo tanto, importante que los procesos de recuperación se incorporen en una etapa que libera fósforo de la biomasa. El líquido de deshidratación de lodos es especialmente adecuado para la precipitación de MAP. El proceso se lleva a cabo mediante un cristizador diseñado como reactor de tanque agitado. En la EDAR de Pinedo no se disponía de equipo para la recuperación de fósforo en forma de estruvita, según la opinión de los técnicos.

### 3.5 Distribución del agua

El sistema terciario tiene una capacidad suficiente para todo el caudal tratado en la planta. Sin embargo, la mayor parte del efluente se vierte al mar mediante un emisario submarino, con excepción de 1,1 m<sup>3</sup>/s del mismo, que es reutilizado por la Acequia del Oro para el riego de cultivos de arroz, con destino final en la Albufera. Existe también una impulsión desde la planta depuradora a la Acequia de Favara, si bien esta comunidad de regantes sólo hace uso de ella en un caudal de un máximo de 5 hm<sup>3</sup>/año (unos 12.800 m<sup>3</sup>/día de media). Considerando lo expuesto, el efluente de la planta de Pinedo constituye una fuente de recursos hídricos que actualmente está infrautilizada, con una capacidad de suministro de 121,32 hm<sup>3</sup>/año, equivalente a 10,11 hm<sup>3</sup>/mes. La **Tabla 9** muestra los caudales tratados en 2015 y su distribución con casi dos tercios del caudal tratado enviado al emisario marino, mientras que la **Tabla 10** muestra que la capacidad del tratamiento terciario está por encima del caudal efectivamente tratado por el mismo.

**Tabla 9. Caudales tratados 2015 (hm<sup>3</sup>/año)**

	Pinedo I	Pinedo II	Observaciones
Biológico	35,2		
A emisario marino	35,1		
A terciario (A. Favara)	0,1		Riego
Biológico		75,7	
A emisario marino		46,5	
A terciario (total)		29,2	
A. Oro		27,8	Riego y Albufera
A. Favara		1,4	Riego

**Tabla 10. Caudales de influente y efluente del sistema Pinedo proyectados y actuales en 2015**

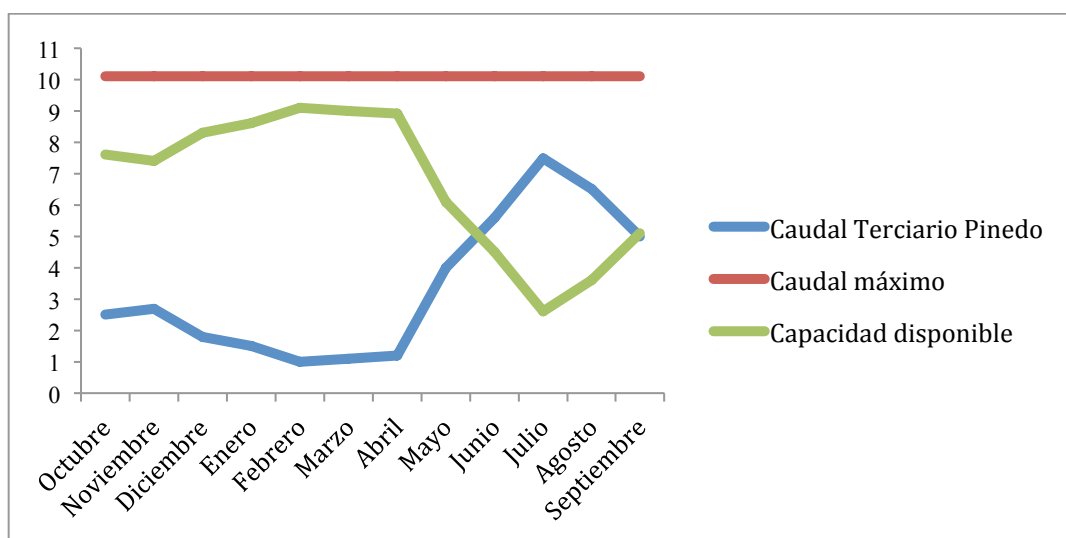
	Caudales en proyecto		Caudal tratado en 2015	
	m <sup>3</sup> /d	hm <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /d	hm <sup>3</sup> /año
Pinedo I (Primario y Biológico)	124650	45,4	96142	35,2
Pinedo II (Primario y Biológico)	200000	73,0	207351	75,7
Terciario	350000	127,8	79888	29,2

Fuente: EPSAR, Generalitat Valenciana y elaboración propia.

Existen otras zonas regables susceptibles de ser abastecidas mediante la reutilización del efluente de la planta de Pinedo que, por la existencia de infraestructuras de suministro, pueden ser utilizadas, como son la Acequia Real del Júcar (ARJ) y la zona regable servida por el Canal Júcar-Turia

(CJT). Estas infraestructuras deberían permitir utilizar los recursos disponibles de agua reutilizada que no van a ser utilizados por el riego del arroz debido a la distribución estacional de la demanda de agua, cuyo punto álgido ocurre en verano, debido a las necesidades de riego del cultivo de arroz, mientras que la capacidad de suministro de la planta de Pinedo es constante a lo largo de todo el año. Esta circunstancia motiva que de los 121 hm<sup>3</sup>/año potencialmente disponibles en la planta de Pinedo, actualmente sólo se reutiliza agrícolamente un máximo de 71 hm<sup>3</sup>/año, según el Informe de Viabilidad de la Ordenación y Terminación de la Reutilización de Aguas Residuales de la Planta de Pinedo (Acuamed, 2006). En 2015, el uso agrícola fue de sólo 29 hm<sup>3</sup>/año. En la **Figura 9** se presenta el caudal del tratamiento terciario que se ajusta por la EDAR para satisfacer mensualmente la demanda de riego en la Marjal que presenta una elevada estacionalidad. Existe un gran potencial de reutilización que no se aprovecha debido, bien a la ausencia de una demanda de riego efectiva en varios meses del año, bien por la escasez de infraestructura que lleve el agua donde se necesita, o bien por los costes de bombeo implicados en el transporte del agua a estas zonas. Existen proyectos piloto en curso que plantean el bombeo de agua desde Pinedo a zonas del interior (Chiva y Requena) aprovechando energía fotovoltaica. Esta opción, si se llega a materializar podría reducir las emisiones y ser sostenible a medio plazo.

**Figura 9. Caudal tratamiento terciario de Pinedo II y caudal máximo (hm<sup>3</sup>/mes). 2013**

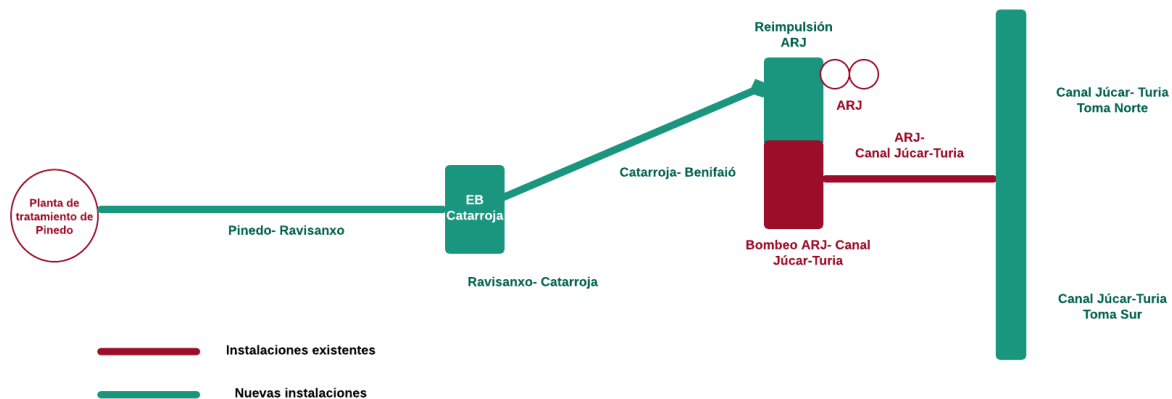


Fuente: CHJ y elaboración propia.

Se han acometido obras para poder abastecer a potenciales demandantes de agua reutilizada, como la ARJ y el CJT, al tiempo que se planteó enviar agua a la Albufera, tras su paso por un filtro verde (a partir del barranco del Poyo). Las actuaciones (**Figura 10**), destinadas para el suministro de riego han consistido en un primer canal que tiene su origen en el final de la “Conducción a la Albufera. Tramo EDAR de Pinedo – Acequia de Ravisanxo” realizada por la Generalitat, y su final en el puerto de Catarroja. En este punto se construyó una estación de bombeo que permite, gracias a la impulsión asociada, enlazar el canal con la Acequia Real del Júcar en Benifaió. Esta infraestructura se completa con otras dos conducciones que permiten suministrar recursos a varios sectores del CJR en los municipios de Alginet y Picassent. Sin embargo, la infraestructura se encuentra infrutilizada por los costes de bombeo y la disponibilidad de agua en la Acequia Real, lo que puede plantear la extensión del uso potencial de estos recursos a zonas con menor disponibilidad, y la conexión con diversos sectores de regantes del CJT, posibilitando el uso directo o la sustitución de riegos en dichos sectores.



**Figura 10. Conducción Pinedo- Canal Júcar-Turia**



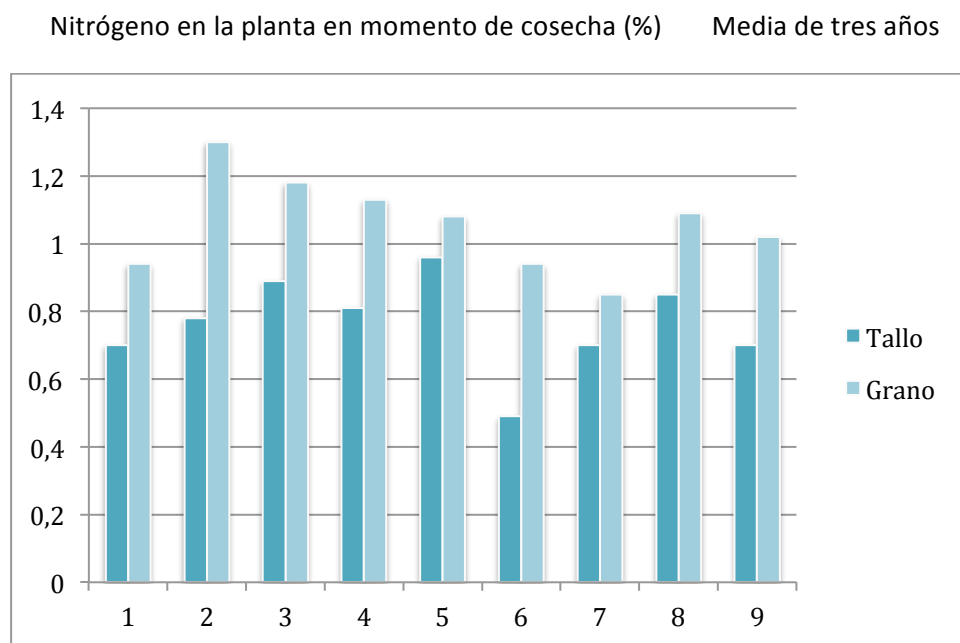
Fuente: ACUAMED (2006) y elaboración propia.

### 3.6 Uso del agua para riego

Los parámetros de calidad del tratamiento terciario de Pinedo muestran que el agua puede ser destinada al riego de cultivos de categoría A, aunque es necesario tener en cuenta las características del suelo y de los propios cultivos. Los ensayos realizados por Martínez Cortijo (2004) refuerzan esta conclusión para el caso del cultivo del arroz. En dicho estudio se evaluaron 9 parcelas separadas que se disponen en línea en dirección sur desde la primera parcela regada sólo con Aguas de la Acequia de Favara, pasando por cuatro parcelas regadas con agua de depuradora, siguiendo con dos parcelas con aguas mixtas de acequias y depuradora, y finalmente dos parcelas regadas sólo con agua del lago de la Albufera. Así se pudo estudiar la calidad del agua y la respuesta del cultivo del arroz a distintos tipos de agua. Se evaluaron muchos parámetros y en este trabajo nos centramos en uno fundamental como es el nitrógeno.

Se puede comprobar en el **Anexo 8** que la concentración de nitrógeno en las aguas de las parcelas 2, 3, 4 y 5 es superior a la encontrada en el resto. La respuesta del cultivo se observa en la **Figura 11**, donde se presenta la cantidad de nitrógeno medida en la planta en el momento de la cosecha, con porcentajes claramente superiores en las parcelas regadas con aguas depuradas, tanto en grano como en el tallo, siendo en este caso un problema para el cultivo, pues provocó tendido del cultivo. Esto revela dos interesantes conclusiones. La primera es que el agua depurada puede actuar como elemento fertilizante y que su uso implica que el empleo de fertilizantes nitrogenados deba de ser ajustado para evitar sobredosis en el suelo. La segunda es que los arrozales actúan de alguna manera como elemento descontaminante que disminuye la concentración de algunas sustancias presentes en la disolución de los suelos regados con agua residual con exceso de nutrientes, tal como la tesis muestra, no sólo con el nitrógeno, sino también con el fósforo y la materia orgánica.

**Figura 11. Estudio del riego de arroz en parcelas en línea en la zona de la Albufera**



Fuente: MARTÍNEZ CORTIJO (2004) y elaboración propia. Parcela 1: Aguas de la acequia de Favara; Parcelas 2, 3, 4, 5: Aguas de depuradora en una línea de riego; Parcelas: 6 y 7 Agua de depuradora + Acequias Nova y Rabisanxo; Parcelas 8 y 9: Agua de la Albufera

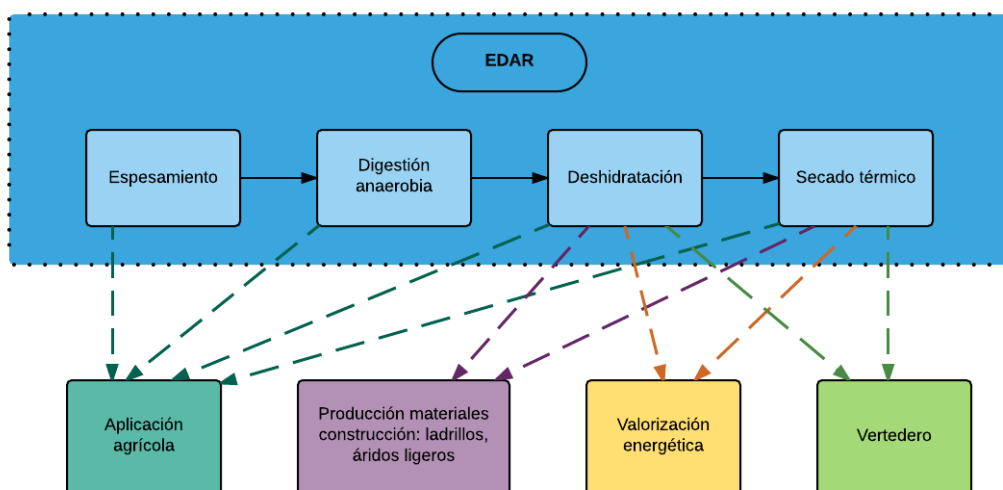
Un trabajo reciente estudió las ventajas e inconvenientes del riego con aguas de la EDAR de l’Horta Nord (Hagenvoort, 2015). Los beneficios fertilizantes fueron cuantificados por el uso de aguas residuales tratadas directamente, así como de la mezcla con agua superficial para riego. Se encontró que los agricultores no son conscientes de estos nutrientes adicionales y continúan sus prácticas tradicionales de fertilización, a las que están acostumbrados. Esta percepción se confirmó en nuestras entrevistas a usuarios de la Acequia del Oro. No se cuantificó la cuantía del ahorro en fertilizantes pero sería interesante acometer este cálculo en cada caso (incluido el de la EDAR de Pinedo) para mostrar a los agricultores cuánto pueden ahorrar. El exceso de riego en combinación con grandes cantidades de fertilizantes agregados por el agricultor podría provocar altas concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas.

Las entrevistas a agricultores realizadas para el presente trabajo mostraron que no hay un rechazo por los agricultores hacia el uso de aguas residuales tratadas para el riego. Se trata de un recurso barato que se conoce que está disponible en ciertos días de la semana, lo que puede ser importante en cultivos de huerta. Los agricultores suelen estar de acuerdo, siempre y cuando no afecte a su derecho de agua del Turia. En el caso de Pinedo, el Plan Hidrológico del Júcar (2015 – 2020) establece que aunque se de en primer orden de prioridad el uso del agua de la EDAR de Pinedo en los regadíos de la Acequia de Oro, este volumen puede ser complementado con caudales de la toma autorizada del Turia en caso de fallo o baja calidad, de acuerdo con su actual concesión. La EDAR es responsable de las aguas residuales tratadas antes de entrar en el sistema de canales. Pero una vez que el agua entra en el sistema de canales, pueden ocurrir otras fuentes de contaminación.

### 3.7 Valorización agrícola de lodos

En cuanto a la gestión de lodos, se plantea como principales escenarios de gestión los representados en **Figura 12**.

**Figura 12. Jerarquía de aprovechamiento de fangos en EDAR**



Fuente: Elaboración propia

Para la gestión de lodos, es de obligado cumplimiento el principio de jerarquía contemplado en el artículo 8 de la Ley 22/2011, del 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, que implica prevenir en la medida de lo posible, preparar el residuo para ser reutilizado, reciclar lo que no se pueda reutilizar y valorizar de otra manera. El depósito final en vertedero es la última opción. En la Comunidad Valenciana, la jerarquía se cumple al destinarse 89,4% del fango producido en EDAR a la aplicación directa en agricultura, el 3% a compostaje, el 7,4% al secado térmico y sólo el 0,2% al vertedero. El compostaje y el secado térmico no se realizan *in situ*, sino que se envían a instalaciones de post-tratamiento con una capacidad indicada en el **Anexo 9**. El secado térmico permite una valorización del lodo como material de construcción y suele aprovechar el calor generado en plantas de cemento.

En todo caso, debe intentarse cumplir un principio de proximidad. La distancia media recorrida por los lodos de depuración para aprovechamiento agrícola es de unos 80 a 90 Km, para su aplicación a las zonas menos vulnerables a la contaminación por nitratos. La reutilización de biosólidos como fertilizante contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de fertilizantes químicos. Sin embargo, el procesado de biosólidos y su transporte tienen emisiones de GEI adicional y podrían ser una dificultad que debe ser contemplada en los planes de gestión.

Muchos de los constituyentes químicos, incluidos los nutrientes, son importantes cuando se habla de la gestión final del fango procesado. El contenido en metales pesados, compuestos orgánicos, patógenos, hidrocarburos, deben ser analizados si se va a enviar a incineración o reutilización agrícola. Asimismo, el poder calorífico es un factor determinante cuando estos van a ser enviados a procesos de transformación térmica.

Dada la magnitud de los lodos generados en la EDAR, una alternativa prioritaria es su uso agrícola de los lodos. El II Plan Nacional de Lodos de Depuradora recomienda, como opción más favorable desde el punto de vista ambiental y más aceptada por los agricultores, la utilización de los lodos como enmienda orgánica en agricultura una vez que se han compostado. Sin embargo, el

mayor coste de tratamiento y la capacidad limitada de compostaje ha hecho que no se haya desarrollado suficientemente en la Comunidad Valenciana.

La aplicación en agricultura presenta algunos problemas técnicos y sociales. Los problemas técnicos, además del contenido en sustancias potencialmente peligrosas, provienen de que el lodo de la EDAR se produce continuamente durante el año, y sin embargo, al suelo sólo puede ser aplicado una o dos veces al año. A su vez, la aceptación de productos cultivados con lodos es un tema polémico. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de generar confianza entre agricultores y consumidores para lograr la aceptación social del uso de estos, interpretando las directrices del Real Decreto 1310/90 de aplicación de lodos a la agricultura.

Existen pocos datos experimentales sobre la respuesta de los cultivos a la fertilización con lodos de EDAR. Recientemente, un equipo del IVIA (Pomares, 2013, 2014) realizó experiencias con lodos de la EDAR. Aquí mencionamos dos experiencias, una con el cultivo del arroz, por su cercanía a la de EDAR de Pinedo, y otra con viñedo, en la zona de Requena. Los resultados se resumen en la **Tabla 11**, siendo los datos básicos de las experiencias de campo los siguientes. El ensayo en arroz se desarrolló en la marjal de Alzira, durante dos años. En el primer año se realizó un ensayo para evaluar los rendimientos en grano, entre otras propiedades, en respuesta a una fertilización mineral, 190 kg N / ha en forma de urea, y a dos ensayos con lodos. En el segundo año, los tres tratamientos (1, 2 y 3) recibieron el mismo abonado a base de 12000 kg de gallinaza / ha + 80 kg de N / ha en forma de urea, para así evaluar la respuesta de los cultivos en condiciones similares.

**Tabla 11. Ensayos de fertilización con lodos de depuradora**

Arroz en Valencia		Rendimientos grano en Kg/ha	
	Fertilización	Lodos 1	Lodos 2
1er año	mineral	150 Kg N/ha	225 Kg N/ha
		7203	10136
2º año		8803	9363
		10770	9584
Viña en Requena		Rendimiento uva relativo respecto testigo (=100)	
	Testigo	Fertilización	Lodos
	sin fertilización	mineral	
2012	100	90	117
2013	100	84	115

Fuente: POMARES (2013, 2014) y elaboración propia.

El ensayo en viña se realizó en Requena, en Campo de Arcis, donde se evaluaron tres parcelas de viña en secano, de la variedad Tempranillo y plantación en espaldera. En las testigo no se fertilizó. Se aplicó a la segunda parcela una fertilización mineral de 60 kg N/ha – 60 kg P2O5/ha – 60 kg /K2O/ha. A la tercera parcela se le aplicó una enmienda orgánica con lodos de la EDAR de Pinedo, a dosis de 60 kg N/ha/año de nitrógeno mineralizable.

Los resultados de los ensayos reseñados en diferentes cultivos pusieron de manifiesto claramente que la aplicación directa de los lodos al suelo bien tratados y aplicados según criterios agronómicos es una opción interesante, que repercute en una mejora de la fertilidad del suelo.

### 3.8. Energía y emisiones

Las restricciones o prohibiciones de la gestión de fangos presionan hacia un mejor aprovechamiento energético de las aguas residuales. Un esquema de una EDAR que aplica optimización energética puede encontrarse en el **Anexo 10**. Debido a la situación económica y financiera en España, la posibilidad de comercializar la electricidad generada en los sistemas de cogeneración de las EDARs se suspendió (Real Decreto-ley 1/2012, del 27 de enero), por lo que la cogeneración va dirigida principalmente a mejorar la autosuficiencia energética de la planta.

Las instalaciones de Pinedo permiten la generación de biogás y mejorar su balance energético. La digestión anaerobia y la codigestión son los procesos que en teoría presentan mayor eficacia. Las medidas de eficiencia energética tienen que ver con el mantenimiento de la temperatura de los procesos, del volumen útil del digestor y de las condiciones de la obra civil. En cuanto a la producción de biogás, su fuente principal es la digestión anaerobia, que permite reducir en un tercio el consumo de energía por m<sup>3</sup> tratado.

El biogás generado en la etapa de digestión se almacena en un gasómetro. Este biogás puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica (cogeneración) y enviado a calderas para aumentar la temperatura de la digestión en caso de ser necesario. En la codigestión, además del fango en exceso generado en el proceso de tratamiento del agua, el digestor puede recibir subproductos orgánicos que se utilizan para incrementar la producción de biogás en esta etapa. La producción de biogás no depende linealmente de la cantidad de materia orgánica sino de muchos otros factores. Se deben controlar los subproductos para la máxima producción de biogás.

En el caso de la EDAR de Pinedo, sólo pueden emplearse subproductos autorizados por EPSAR y que estén en el catálogo de códigos LER (Lista Europea de Residuos) autorizados por la Consellería. Los subproductos deben no ser peligrosos y deben tener una elevada carga orgánica (> 20.000 mg/l DQO), con bajo contenido en sulfatos y sulfuros, y sin presencia de biocidas. Pueden proceder de la industria agroalimentaria y de otras procedencias (biocombustibles y lixiviados vertederos RSU), y deben entregarse en cubas, contenedor GRG (Gran recipiente a Granel) o depósito.

Se podrían plantear además procesos en desarrollo para un aprovechamiento energético directo del agua residual como los sistemas anaerobios de depuración mediante algas o bacterias generadoras de electricidad en *Microbial Fuel Cells*. Sin embargo, en la EDAR de Pinedo esta opción no se ha planteado seriamente.

Las EDAR son importantes emisores de gases de efecto invernadero (GEI). Los principales GEI producidos en la EDAR son los siguientes: CO<sub>2</sub> (de aireación, combustión, el uso de electricidad); CH<sub>4</sub> (combustión, eliminación); N<sub>2</sub>O (eliminación de nitrógeno); y otros (hidrofluorocarbonos HFC, los PFC perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre SF<sub>6</sub>). Es importante tener en cuenta el hecho de que las emisiones aumentan a medida que los parámetros de calidad del efluente son más exigentes. Los depósitos aireados son los principales emisores de N<sub>2</sub>O en los procesos de eliminación biológica de nitrógeno. La incineración, como método de tratamiento de fangos tiene un coste energético elevado y es productora de GEI.

En el próximo capítulo se contemplarán alternativas de reducción de emisiones como el tratamiento terciario de todos el influente, el filtro verde y el compostaje de lodos.

En cuanto a los contaminantes emergentes, es un tema de preocupación. La evidencia científica no es clara sobre el impacto de los procesos de eliminación de nitrógeno en la eliminación de sustancias nuevas de interés. La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que algunos de los contaminantes emergentes, tales como diversos estrógenos (por ejemplo, E1, E2, E3 o EE2) pueden ser completamente eliminados o reducido significativamente en las plantas que emplean eliminación biológica de nitrógeno (Oleszkiewicz, 2015).

## 4. Análisis DAFO y evaluación de alternativas

### 4.1 DAFO

Para los análisis DAFO se tuvo en cuenta la discusión realizada en las secciones anteriores y las entrevistas realizadas a agricultores, técnicos de la comunidad de regantes, expertos en aprovechamiento de lodos y en depuración de aguas. El DAFO se refiere en la medida de lo posible a valorar las posibilidades de reutilización de agua y nutrientes del sistema Pinedo. A continuación las matrices reflejan las características internas, que son las Debilidades y Fortalezas, y las externas, Amenazas y Oportunidades.

#### 1. Regeneración de agua en EDAR

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Necesidad de bombes para transportar el agua entre etapas del proceso.</li> <li>La precipitación química es eficaz pero costosa.</li> <li>Para la Albufera se requieren estándares muy exigentes de calidad del agua.</li> <li>Puede no ser eficaz para eliminar contaminantes emergentes (medicamentos, estrógenos, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los recortes presupuestarios penalizan opciones de reutilización del agua.</li> <li>Los costes de inversión y funcionamiento son elevados.</li> <li>Las opciones de reutilización para riego requieren obras hidráulicas costosas y bombes con emisiones de GEI.</li> <li>Debe haber opciones alternativas de suministro de agua en caso de que el tratamiento falle.</li> </ul>
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>La capacidad instalada es suficiente para tratar el caudal del influente</li> <li>Existen opciones tecnológicas para mejorar la eficiencia de los procesos (posibilidad de bypass entre tratamientos).</li> <li>La tecnología de tratamiento terciario puede ser eficaz para reducir los niveles de nutrientes.</li> <li>Pueden alcanzarse estándares de calidad muy exigentes para la preservación de la Albufera, aunque a un coste elevado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La estacionalidad de la demanda de agua de los cultivos requiere garantía de agua en los momentos de más estrés hídrico.</li> <li>Existe un caudal susceptible de ser reutilizado con uso agrícola y ecológico.</li> <li>El agua regenerada utilizada para riego tiene efectos positivos sobre los cultivos.</li> <li>La conservación de la Albufera implica una demanda social y ambiental para agua regenerada.</li> <li>El potencial regenerador del cultivo del arroz puede complementar el proceso de mejora de calidad del agua que llega a la Albufera.</li> </ul>

#### 2. Tratamiento de agua en filtro verde

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>El agua de Pinedo tenía que ser bombeada al filtro de la V-30.</li> <li>El agua del filtro verde requería bombeo posterior y transporte a la zona de riego, lo que implica obras hidráulicas.</li> <li>Se requiere una extensión mínima (mínimo 80 ha) para un proceso eficaz, más allá de la experiencia piloto.</li> <li>El tratamiento previo biológico puede ser insuficiente para la calidad requerida entrante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los recortes presupuestarios penalizan finalizar las obras de reutilización.</li> <li>El filtro verde puede tener un efecto regenerador insuficiente antes del vertido a la Albufera.</li> </ul>

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la calidad biológica de los sistemas donde se vierte el agua.</li> <li>• Permite un tratamiento adicional para la reducción de N y P.</li> <li>• Algunas especies vegetales son muy eficaces en la absorción de nutrientes.</li> <li>• Hay experiencias concretas en el proyecto piloto de la V-30 mostrando eficacia en la mejora de la calidad.</li> <li>• Si falla el sistema de tratamiento, las aguas se pueden verter al mar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un proceso de regeneración natural, bajo en emisiones de GEI.</li> <li>• Existen trabajos de investigación mostrando los beneficios de los filtros verdes en la mejora de la calidad del agua.</li> <li>• Gracias al flujo de agua de calidad, el sistema natural de la Albufera mejora el uso recreativo (caza) y el turismo en la zona.</li> </ul>

### 3. Recuperar fósforo en EDAR

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los metales presentes en los sistemas de eliminación de fósforo químico, reducen el rendimiento de recuperación.</li> <li>• Necesita una infraestructura adecuada en cristalizadores que se implante en una etapa del proceso con altas concentraciones de fósforo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El coste de producción de fertilizante todavía es elevado.</li> <li>• No existen incentivos económicos suficientes para la implantación de cristalizadores y la comercialización de estruvita.</li> <li>• Las tecnologías todavía están escasamente implantadas en las EDARs españolas.</li> </ul>
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La recuperación de fósforo en forma de cristalización es una alternativa menos costosa que otros métodos como de recuperación a partir de las cenizas o de los lodos.</li> <li>• Hay tecnologías eficaces para recuperar el fósforo de las corrientes de retorno.</li> <li>• Supone un ahorro en operaciones de mantenimiento y es una alternativa a la precipitación mediante sales.</li> <li>• La recuperación in situ es atractiva para corregir la precipitación masiva de estruvita en la digestión anaeróbica de las EDARs.</li> <li>• El líquido de deshidratación de lodos es especialmente adecuado para la precipitación de MAP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se puede fabricar un fertilizante con liberación lenta de fósforo, muy atractivo para uso agrícola.</li> <li>• Permitirá reducir la dependencia del mineral de fosfato en la fabricación de fertilizantes.</li> <li>• Es una alternativa mejor, libre de patógenos, que la aplicación de lodo en los suelos.</li> <li>• Permite fabricar fertilizantes con una relación N:P manejable.</li> </ul>

### 4. Realizar obras de distribución del agua para riego

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El agua tiene que tener una calidad suficiente a la salida de la EDAR para que pueda ser reutilizada, sobre todo en la Albufera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las zonas donde hay necesidad no siempre están próximas a la EDAR, lo que incrementa el coste.</li> <li>• Las actuaciones no implican ser un cambio de</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>Faltan obras complementarias que lleven el agua reutilizada a donde hay demanda.</li> <li>Transportar con lleva bombeo (puerto de Catarroja) con coste energético y emisiones.</li> <li>Las actuaciones, sobre todo en la fase de construcción, tienen un impacto ambiental y afección de espacios protegidos.</li> <li>Hay un impacto socioeconómico derivado de expropiaciones y cambios en los usos del suelo.</li> </ul>	<p>comportamiento en el consumo de agua por los agricultores.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El porcentaje de recuperación de costes por los usuarios puede ser insuficiente.</li> <li>Se requiere de financiación pública para las actuaciones, posiblemente dependiente de fondos europeos.</li> </ul>
<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se incrementa la disponibilidad de recursos para riego.</li> <li>Se adapta el caudal constante de efluente de la EDAR a la estacionalidad de la demanda de riego.</li> <li>Los excedentes de agua no utilizada para riego suponen aporte adicional a la Albufera.</li> <li>Los riegos fortalecen el efecto regenerador del agua.</li> <li>Se reducen los vertidos de agua depurada al mar.</li> <li>La seguridad de recursos hídricos mejora la competitividad de la agricultura.</li> <li>Las balsas de regulación y reparto pueden contribuir a optimizar el uso de agua reutilizada de acuerdo con la estacionalidad de las necesidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El Plan Hidrológico del Júcar prevé la reutilización de agua regenerada en Pinedo: Asignación de 32 hm<sup>3</sup>/año para la Acequia de Oro, 8 hm<sup>3</sup>/año como reserva de la Vega de Valencia, y 20 hm<sup>3</sup>/año para el Canal Júcar-Turia y Acequia Real del Júcar.</li> <li>La mejora de la Albufera como espacio natural puede fortalecer el uso recreativo del parque.</li> <li>Se están desarrollando sistemas de canalización y bombeo más sostenibles (fotovoltaica).</li> </ul>

## 5. Reutilizar agua regenerada para riego

<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>La reutilización necesita obras hidráulicas que tienen un impacto ambiental y energético.</li> <li>La acumulación de nitrógeno en la planta supone un riesgo de tendido en el cultivo de arroz.</li> <li>A veces hay que mezclar con agua de acequia para garantizar el caudal suficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se modifican los hábitos de riego.</li> <li>Puede haber una sobre fertilización en las superficies regadas por aguas regeneradas.</li> <li>La calidad del agua del efluente de la EDAR tiene que ser adecuada, y algunas características como el pH y los contaminantes emergentes deben vigilarse.</li> <li>Fallos en los tratamientos obligan a disponer de alternativas de suministro.</li> </ul>
<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>La EDAR puede garantizar un caudal de agua para riego en zonas de escasez.</li> <li>El agua regenerada cumple niveles de calidad con reducción de patógenos y contaminantes.</li> <li>Los niveles de nutrientes del arroz y cultivos de huerta no se ven negativamente afectados.</li> <li>Los rendimientos de los cultivos pueden verse beneficiados, con ahorro en fertilizantes.</li> <li>Tiene beneficios ambientales por la reducción de los niveles de nitrógeno y fósforo en el campo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hay una demanda de frutas y hortalizas frescas que se ve beneficiada por el riego con agua de calidad.</li> <li>Las demandas sociales y ambientales para la Albufera irán creciendo.</li> <li>Los agricultores no tienen una actitud negativa en cuanto a regar con aguas depuradas.</li> <li>Estudios científicos respaldan los beneficios productivos y ambientales del riego con agua regenerada.</li> </ul>

## 6. Valorización agrícola de lodos

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede haber riesgo para la salud humana por contacto directo o consumo directo de los productos obtenidos.</li> <li>• Falta normalización de sus propiedades a nivel europeo.</li> <li>• Si no se controlan las propiedades del lodo a la salida de la EDAR, existe el riesgo de potencial contaminantes, como los metales pesados.</li> <li>• Puede haber exceso de fósforo en el lodo y ello requiere aumentar las dosis de nitrógeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos municipios son reticentes a su aplicación por olores puntuales y falta de información.</li> <li>• Hay zonas sensibles en las que la aplicación de lodos está restringida legalmente.</li> <li>• Los procesos en la EDAR deben mejorar para controlar las propiedades de los lodos.</li> </ul>
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un elemento orgánico eficaz para suelos y cultivos.</li> <li>• Permite práctica agraria sostenible.</li> <li>• Existe una producción considerable en las EDARs de la C.V.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La valorización de lodos ofrece una oportunidad para convertir en valor lo que de otra forma serían simples residuos.</li> <li>• Reducción de la dependencia de fertilizantes de síntesis (reducción de emisiones).</li> <li>• Las exigencias legales sobre la calidad del agua depurada implican un aumento de la producción de lodos de EDAR.</li> </ul>

## 7. Cogeneración y codigestión

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen pérdidas de calor por lo que la obra civil debe ser adecuada y sujeta a mantenimiento.</li> <li>• Los sistemas de control de la dosificación no son lo suficientemente eficaces para buscar la “dieta” óptima con los subproductos utilizados.</li> <li>• La utilización de subproductos exige una capacidad mínima de almacenamiento.</li> <li>• Se debe disponer de capacidad suficiente en los digestores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe controlarse que sólo industrias autorizadas suministren los subproductos necesarios.</li> <li>• Se debe controlar la presencia de sustancias inhibitoras del proceso anaerobio, como los sulfatos y los sulfuros.</li> </ul>
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los costes energéticos de las EDARs con digestión anaeróbica son un 20% inferiores a las EDARs sin este proceso.</li> <li>• La codigestión puede aumentar en un 50% la producción de biogás de la EDAR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen industrias agroalimentarias en la CV con subproductos válidos para la codigestión.</li> <li>• La normativa sobre producción de lodos promueve su reutilización para su valorización energética.</li> <li>• Se está investigando sobre métodos de digestión que permiten mejorar la eficiencia energética y la calidad de los lodos producidos.</li> <li>• La mejora del balance energético reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> (el 64% de la huella de carbono de las EDAR procede del consumo de electricidad).</li> </ul>

## 8. Cultivo de algas

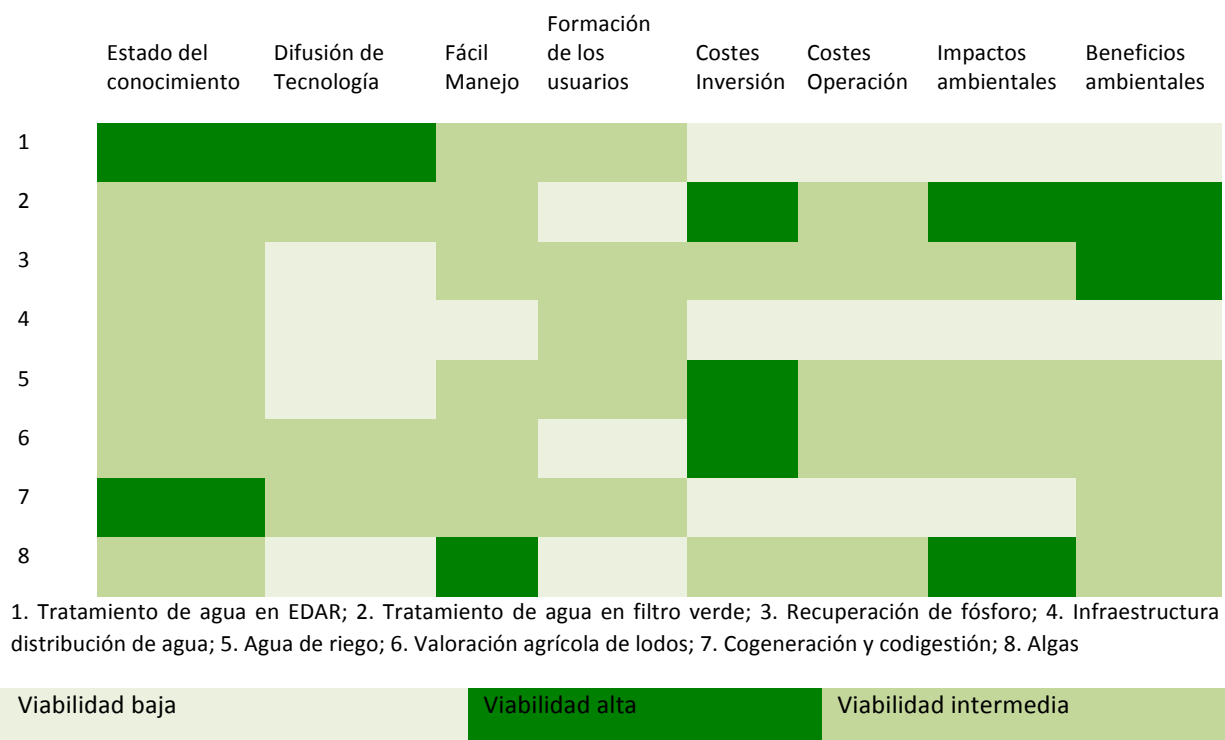
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La escasa densidad de microalgas en un sistema abierto hace costosa la recolección.</li> <li>• La tecnología de producción a gran escala se encuentra aún en fase experimental.</li> <li>• Requiere dimensión para ser rentable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tecnología está todavía en fase experimental.</li> <li>• La inversión, al estar en sus primera fases de desarrollo, necesita apoyo para investigación.</li> </ul>
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen variedades eficaces para eliminar N y P, sobre todo como tratamiento terciario.</li> <li>• La algas permiten reducir la producción de lodos, siendo un método alternativo para eliminar P.</li> <li>• Existen variedades de algas que se desarrollan bien en aguas residuales.</li> <li>• Mejora las posibilidades de reutilización de la energía generada en las plantas de depuración.</li> <li>• La tecnología es sencilla y puede ahorrar costes de inversión en plantas de depuración.</li> <li>• Se reutilizan nutrientes de aguas residuales, lo que reduce los costes de producción de la biomasa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay investigaciones sobre nuevas variedades de algas con alto contenido en lípidos y, por tanto, potencial para producir biocarburantes.</li> <li>• El cambio climático obliga a adoptar soluciones con bajo nivel de GEI.</li> </ul>

Aunque los DAFOs son bastante explicativos, se ha subrayado algunos elementos más destacables en el apartado Conclusiones y Recomendaciones. Todas las alternativas presentan oportunidades interesantes. En particular,

- Las EDARs (alternativa 1) son una herramienta necesaria para garantizar el recurso del agua en situaciones de déficit.
- Las alternativas 2, 7 y 8 (filtro verde, codigestión y algas) permiten reducir las emisiones de GEI.
- Las alternativas 3 y 6 (recuperación de fósforo y valoración de lodos) conducen a una menor dependencia de fósforo mineral.
- Las alternativas 4 y 5 (obras hidráulicas y agua de riego) son esenciales para el uso agrícola, cada vez más factibles si se recurre a la energía fotovoltaica de bombeo, lo que se beneficia de una actitud positiva por parte de los agricultores.

## 4.2 Evaluación de estrategias

Como complemento al análisis DAFO realizado a lo largo del capítulo, hemos evaluado las estrategias estudiadas a través de varios criterios, siguiendo el esquema propuesto por Mehta et al. (2014).



Las estrategias dependen del estado del conocimiento, reflejado en el desarrollo de las tecnologías, su difusión (número de usuarios), su facilidad de manejo, la información a los usuarios, los costes de inversión y funcionamientos, y los costes y beneficios ambientales. La valoración se ha basado en opiniones de expertos, en la revisión de la bibliografía y en la discusión realizada en los capítulos 3 y 5. Hay alternativas muy consolidadas tecnológicamente como la 1 y la 7 que resultan costosas. Otras como la 2 y la 3 tienen efectos ambientales positivos pero se requiere más difusión y formación. Los costes e impactos de las obras hidráulicas (alternativa 4) son su principal factor limitante. La mejora de la calidad del efluente y los valores agronómicos de los fangos pueden aumentarse con altos costes de inversión en las EDARs (alternativas 5 y 6). Las algas (alternativa 8) se encuentra en una fase inicial de implantación.

## 4.3 Alternativas de emisiones en la EDAR

El uso directo de energía en la EDAR genera emisiones medibles. En el tratamiento de agua residuales se generan impactos como ocurre con el consumo de energía y otras operaciones que se evalúan en la **Tabla 12**, para la que hemos tomado Factores de Emisión que se han extraído de un estudio para el cálculo de emisiones en EDAR (OCCC, 2015). Los consumos medios de energía eléctrica han sido proporcionados por la EPSAR, teniendo en cuenta una EDAR como Pinedo que realiza digestión anaeróbica. Los caudales de agua depurada y regenerada son los de la EDAR de Pinedo, con datos de 2013, año en que se aprovechó casi el 95% de capacidad de la EDAR. Hemos supuesto en este ejercicio una producción de fangos de 70.000 toneladas de M.H. y que un 10% de la

misma se destina a plantas de compostaje. Como vemos, algunas operaciones generan metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O) y su efecto total se expresa en términos de gramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Según los datos de OCCC (2015), el vertido al medio natural del agua tratada tras un tratamiento biológico (Factor 111 g. de CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup>) genera un impacto de más de 8 mil toneladas de CO<sub>2</sub> eq. por degradación de la materia orgánica, que se podría ahorrar si se sometiera el influente a un tratamiento terciario, aunque esta operación también tendría un impacto en emisiones (factor 49,6). El compostaje es una operación que incrementa las emisiones por consumo de energía, pero la operación puede valer la pena. En este ejercicio no hemos tenido en cuenta las emisiones generadas por el transporte a la planta de compostaje.

Hemos evaluado varias alternativas con respecto al escenario de referencia, el cual, según nuestros cálculos, produce unas emisiones de 30 mil toneladas de CO<sub>2</sub> eq. Las alternativas son:

**A1.** Se somete todo el caudal influente a tratamiento terciario (lo que supone que 75,6 hm<sup>3</sup> son ahora adicionados al tratamiento terciario y restados del vertido al mar). Su factor de emisión se reduce de 111 a 49,6 g. de CO<sub>2</sub> eq. y se ahorran las emisiones derivadas del vertido al medio natural.

**A2.** Todo el fango generado se somete a operaciones de compostaje (no se cuenta el impacto del transporte, que suponemos neutral con respecto al impacto del transporte a las zonas donde habitualmente se aprovecha agrícolamente). Se añaden 63.000 t de lodo a las 7.000 actualmente tratadas, para completar el tratamiento de 70.000 t de lodo producido.

**A3.** Se adoptan las alternativas A1 + A2 simultáneamente.

**A4.** Todo el caudal que actualmente se vierte al medio natural se somete a un tratamiento de filtro verde. Vamos a asumir que ello conlleva un impacto derivado del bombeo de 75,6 hm<sup>3</sup> de agua (factor de emisión 39,68 g CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>), que no es vertida al mar (factor 111 g CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>), y tampoco a tratamiento terciario. El filtro verde también produce materia orgánica y emisiones, pero no consideramos que este impacto es apreciable. Tiene también un impacto significativo en la captación de CO<sub>2</sub>, pero no lo tenemos en cuenta en el ejercicio. Por tanto, asumimos un factor de emisión neto cercano a cero. Estamos suponiendo, de todos modos, que el tratamiento biológico es suficiente para alcanzar concentración de fósforo en el efluente de 0,6 mg/l, por lo que el terciario sólo sería un mecanismo de seguridad complementario.

**A5.** Se adoptan las alternativas A2 + A4 simultáneamente.

Se puede comprobar que la alternativa A4 es claramente ventajosa en cuanto a los GEI evitados, pues supone un ahorro de emisiones del 17,8 por ciento. La alternativa A5 también es interesante, en cuanto que permite la producción de un fertilizante de mejor calidad. Sin embargo, las alternativas A4 y A5 suponen que esté en funcionamiento una instalación adecuada de filtro verde, lo que también conllevaría un factor de emisión no contabilizado en este ejercicio, derivado de las obras necesarias. La alternativa A1 no conlleva más operación que someter todo el influente a un tratamiento terciario, lo que supondría un ahorro de emisiones del 15,4 por ciento, aunque con un mayor coste de operación que no hemos contabilizado.

**Tabla 12. Alternativas de ahorro de emisiones de GEI.**

	Consumo energía	Emisiones mix energético	Factores de emisión	Caudales Tratados (2013)	Emisiones Total	
	Kwh/m3	g/Kwh	g CO2 eq/m3	hm3	t CO2 eq.	
Bombeos	0,16	248	39,68	117,3	4654	
Tratamiento biológico	0,32	248	79,36	117,3	9309	
Tratamiento terciario	0,2	248	49,6	41,7	2068	
Emisiones CH4 degradación materia orgánica			1	117,3	117	
CH4 y N2O tratamiento biológico			13	117,3	1525	
CH4 y N2O digestión anaeróbica			34	117,3	3988	
Producción de biogás (antorchas)			0,7	117,3	82	
Vertido al medio natural			111	75,6	8392	
			g CO2 eq/t	t fango MH		
Compostaje de fangos			20207	7000	141	
Total escenario base					30277	
Escenarios alternativos y variación con respecto a escenario base					Variación (t)	%
Alternativa 1	Tratamiento terciario de todo el caudal (no emisiones marinas)				-4642	-15,4
Alternativa 2	Compostaje de todo el fango (70000 t, aumento de 63000 con respecto a escenario base)				1273	4,2
Alternativa 3	A1 + A2				-3005	-9,9
Alternativa 4	Filtro verde sin emisiones de vertido al medio natural (con bombeo)				-5392	-17,8
Alternativa 5	A2 + A4				-4119	-13,6

Fuente: OCCC (2015),EPSAR y elaboración propia.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

Para el primer objetivo del trabajo, se han identificado opciones para la valorización de productos de la EDAR. Se han considerado alternativas para mejorar la reutilización de recursos relacionados con el ciclo integral del agua, en sus fases de depuración y reutilización. Las alternativas se han subdividido en varios ejes:

- Eliminación de nutrientes:
  - o 1. Tratamiento de agua en EDAR
  - o 2. Tratamiento de agua en filtro verde
- Recuperación de nutrientes:
  - o 3. Recuperar fósforo en EDAR
- Reutilización de agua y nutrientes
  - o 4. Realizar obras de distribución del agua para riego
  - o 5. Reutilizar agua regenerada para riego
  - o 6. Valorización agrícola de lodos
- Eficiencia energética
  - o 7. Cogeneración, codigestión y emisiones
  - o 8. Cultivo de algas

Adicionalmente, se ha tenido en cuenta la combinación de algunas acciones para la reducción de emisiones derivadas del proceso de reutilización de aguas.

El segundo objetivo del trabajo consistió en un estudio de las tecnologías existentes, que se acometió a través de una revisión de la literatura. Para el tercer objetivo se evaluaron las alternativas tomando el caso de la EDAR de Pinedo sobre el destino del agua y los nutrientes derivados del proceso. La evaluación de las distintas opciones se realizó mediante un análisis DAFO (apoyado por las entrevistas a expertos). De su realización se deducen algunas conclusiones y recomendaciones que se presentan a continuación.

En los últimos años, se ha realizado un esfuerzo importante en la instalación y ampliación de la EDAR de Pinedo I, Pinedo II y Ampliación, con una capacidad instalada suficiente para tratar 120 hm<sup>3</sup> de influente al año, y con la posibilidad de realizar un tratamiento terciario eficaz. Sin embargo, dos tercios del efluente se vierten todavía al mar, por lo que se pierde un potencial de regeneración de agua que podría ser vertido al lago de la Albufera tras los oportunos tratamiento y una infraestructura hidráulica adecuada.

El recurso a la precipitación química para la eliminación de nutrientes durante el tratamiento terciario puede ser eficaz pero resulta una alternativa costosa e insuficiente.

La EDAR supone un avance para alcanzar agua con calidad requerida. Sin embargo, este trabajo demuestra que el tratamiento de agua residual debería ser complementado por diversas estrategias, muchas de ellas todavía en fase de investigación. Con incentivos suficientes, se pueden plantear alternativas como el cultivo de algas, la mejora de los sistemas de digestión anaerobia y los filtros verdes.

Para la calidad del agua exigida en el Parque Natural de la Albufera, es útil el tratamiento natural que ofrece el cultivo del arroz, según la evidencia constatada, pero sería necesario desarrollar la opción del filtro verde para la EDAR de Pinedo. Sin embargo, esta alternativa requiere una dimensión suficiente para superar la fase piloto y los costes de instalación y bombeo del agua.

La posibilidad de hacer llegar un caudal de calidad a la Albufera permitirá mejora el uso recreativo y el turismo en la zona, además de corregir la eutrofización del lago.

Para consolidar otras opciones de reutilización en la Acequia Real del Júcar y el Canal Júcar Turia es necesario completar obras hidráulicas para hacer llegar el agua a las zonas de riego donde es más necesario, en el momento oportuno. El Plan Hidrológico del Júcar prevé dotar una reserva para estas zonas. Pueden explorarse opciones de transporte del agua más sostenibles, como el bombeo por energía fotovoltaica.

Es necesario destacar que toda actuación de mejora de la calidad y la dotación de agua de riego viene respaldada por los efectos beneficiosos que el agua tratada puede realizar en los cultivos, teniendo en cuenta la calidad requerida en productos agrícolas para consumo humano. Sin embargo, se requiere una constante mejora en la actitud de los agricultores hacia una mayor eficiencia del uso del agua y en las prácticas de fertilización, puesto que la acumulación de nitrógeno puede suponer un riesgo de tendido en el uso de arroz.

La línea de fangos cumple una función importante al producir lodos cuyo aprovechamiento agrícola es posible y viable si se cumple un control adecuado a la salida de la EDAR, sobre todo en la concentración de metales pesados.

El exceso de fósforo en el lodo requiere unas pautas de aplicación agrícola que suponen la periodificación de su uso y una dosificación adecuada de nitrógeno. Con estas precauciones, se ha comprobado la eficacia de los lodos de EDAR como fertilizante, sobre todo si los lodos se someten a tratamiento previo de compostaje.

La reutilización de fósforo a través de los lodos permite reducir la dependencia de fertilizantes de síntesis (reducción de emisiones). La reutilización de fósforo se vería mejorada por una infraestructura adecuada de cristalizadores de estruvita que se implantara en etapas del proceso con altas concentraciones de fósforo, como los líquidos de deshidratación.

La eficiencia energética de las EDARs puede ser mejorada por sistemas de cultivo de microalgas, que todavía se encuentra en fase experimental, pero que podría mejorar la eficacia del tratamiento terciario, con una tecnología relativamente sencilla.

Finalmente, se planteó como objetivo de este trabajo analizar el alcance de distintas alternativas de tratamiento para reducir las emisiones de GEI. Se observa que la mejora del balance energético reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>. Así, las prácticas de codigestión reducen sustancialmente la huella de carbono de la EDAR que procede principalmente del consumo de electricidad.

Como se ha indicado, se ha realizado una evaluación de las 8 alternativas de reutilización del agua y nutrientes. En resumen, se puede decir que la alternativa 1 dispone de una valoración alta en cuanto estado del conocimiento tecnológico, la alternativa 2 presenta claros beneficios ambientales aunque requiere dimensión, las alternativas 5 y 6 dependen sobre todo de las prácticas de cultivo de los usuarios, pero presentan bajos costes de inversión, las alternativas 7 y 8 son viables desde la perspectiva ambiental, pero presentan altos costes de inversión. Se puede decir, que la combinación de todas la alternativas podría ayudar a viabilizar una economía circular en las operaciones de reutilización de agua y nutrientes. Para eso hace falta intensificar la investigación en estas prácticas de economía circular.

Finalmente, se ha realizado una evaluación de alternativas para la EDAR de Pinedo, que tenga en cuenta el ahorro de emisiones. A este respecto, un fortalecimiento del tratamiento terciario, la utilización del filtro verde y el compostaje de fangos presentan ventajas que podrían reducir entre un 10 y un 18% las emisiones de GEI. Sin embargo, el coste económico de estas alternativas hace necesario seguir investigando para hacerlas viables.



## 6. Bibliografía

ACUAMED (2006): Informe de viabilidad de la actuación 3.2.c ordenación y terminación de la reutilización de aguas residuales de la planta de Pinedo (Valencia). [http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/informe\\_viabilidad\\_3\\_2\\_c\\_reutilizacion\\_pinedo\\_tcm7-27115.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/informe_viabilidad_3_2_c_reutilizacion_pinedo_tcm7-27115.pdf) (consultado en abril de 2016).

ALBORS, E. (2014). "La gestión del tratamiento terciario de la EDAR de Pinedo". Presentación realizada en la Jornada "La Reutilización del Agua: ¿Ficción o Realidad?", organizada por iAgua, Madrid, 20 de mayo de 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=0GCwuliv1cw> (recuperado en abril de 2016).

BOUDEMAN, L., DAVIS, B., MCNEILL, A., BEECHER, N., RUBIN, R., STEPHANOFF, B., BRISOLARA, K. (2014). "Phosphorus in biosolids: How to protect water quality while advancing biosolids". Water Environment Federation. Fact Sheet. <http://www.wrrfdata.org/PhosphorusFS/WEF-PhosphorusFactSheet2014.html> (recuperado en abril de 2016).

COM (2014). *Un marco estratégico en materia de clima y energía para el periodo 2030*. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Bruselas, 22.1.2014

CORNEL, P. y SCHAUM, C. (2009). "Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs". *Water science and technology*, 59(6), 1069-1076.

ELÍAS CASTELLS, J. (2012), *Tratamiento y valorización energética de residuos*, Ediciones Díaz de Santos, Madrid.

EPSAR (2015). *Memoria de Gestión, 2014*. Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunitat Valenciana. Generalitat Valenciana.

ESTRELA, T. (2015). "La utilización de las aguas regeneradas y desalinizadas en la Confederación Hidrográfica del Júcar". Ponencia presentada al XXXIII Congreso Nacional de Riegos. Valencia, 16 – 18 de junio de 2015.

FAO (2013). *Reutilización del agua en la agricultura ¿Beneficios para todos?* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

FINNVEDEN, et al. (2009). "Recent developments in life cycle assessment". *Journal of environmental management*, 91(1), 1-21.

HAGENVOORT, J. (2015). *The conjunctive use of treated wastewater and surface water for irrigation in a traditional irrigation system in Valencia, Spain. Case study research: The Real Acequia de Moncada*. Wageningen University - Universitat Politècnica de València.

HOFFMANN, J. P. (1998). "Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae". *Journal of Phycology*, 34(5), 757-763.

LIBHABER, M. (2003). "Wastewater Reuse for irrigation, the Stabilization Reservoirs Concept". Presentation in the World Bank Water Week, Washington, D.C. [http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1213366294492/5106220-1213366309673/15.1M.Libhaber\\_wasterwater\\_reuse\\_for\\_irrigation.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1213366294492/5106220-1213366309673/15.1M.Libhaber_wasterwater_reuse_for_irrigation.pdf) (recuperado en abril de 2016).

MACARTHUR, E. (2015). *Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe*. Informe elaborado por Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Centre for Business and Environment y Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit (SUN), junio de 2015.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO (2009). *Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España*. [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/lodos\\_depuradoras\\_tcm7-146317.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/lodos_depuradoras_tcm7-146317.pdf) (recuperado en abril de 2016).

MAGRAMA (2013). *Lodos de depuración de aguas residuales*. <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/Default.aspx> (recuperado en abril de 2016).

MAGRAMA (2015). *Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022* [http://www.magrama.gob.es/imagenes/es/pemaraprobado6noviembrecondae\\_tcm7-401704.pdf](http://www.magrama.gob.es/imagenes/es/pemaraprobado6noviembrecondae_tcm7-401704.pdf) (recuperado en abril de 2016).

MANTOVI, P., BALDONI, G., TODERI, G. (2005). Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Research*, 39, 289–96.

MARTÍN, M., GARGALLO, S., HERNÁNDEZ-CRESPO, C., & OLIVER, N. (2013). "Phosphorus and nitrogen removal from tertiary treated urban wastewaters by a vertical flow constructed wetland". *Ecological Engineering*, 61, 34-42.

MARTÍNEZ CORTIJO, F.J. (2004) *Estudio agronómico y ambiental del riego con aguas residuales depuradas en el cultivo del arroz. Aplicación a una línea de riego en el parque natural de la Albufera (Valencia)*. Editorial Universitat Politècnica de València. Valencia.

MARTÍNEZ MURO, J.L. (2014) La aplicación de lodos en la agricultura en la Comunidad Valenciana, 1ª Jornada sobre el aprovechamiento de recursos disponibles en una EDAR, 19-21 de febrero, Valencia. <http://www.serglo.es/congresos/2014/depuracion2014/M23-Fernando%20Pomares.pdf> (recuperado en abril de 2016).

MENOR SALAZAR, C. M., (2014). "Hacia el Vertido Cero gracias a la reutilización de aguas residuales en las Demarcaciones Hidrográficas de España". Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid, 24 al 27 de noviembre de 2014. <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711577.pdf> (recuperado en abril de 2016).

MEHTA, C. M., KHUNJAR, W. O., NGUYEN, V., TAIT, S., & BATSTONE, D. J. (2015). "Technologies to recover nutrients from waste streams: a critical review". *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(4), 385-427.

NICHOLSON, F. A.; CHAMBERS, B. J.; WILLIAMS, J. R.; UNWIN, R. J. (1999). "Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales". *Bioresource Technology*, 70 (1), 23- 31.

OCCC (2015). Cálcul de les emissions de GEH Derivades del Cicle de l'Aigua de les Xarxes Urbanes de Catalunya, Oficina Catalana del Canvi Climàtic, [http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/campanyes\\_i\\_comunicacio/publicacions/publicacions\\_de\\_canvi\\_climatic/Estudis\\_i\\_docs\\_mitigacio/Aigua\\_i\\_cc/150213\\_Metodologia-de-calcul-emissions-consum-aigua\\_CAT\\_vf.pdf](http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/campanyes_i_comunicacio/publicacions/publicacions_de_canvi_climatic/Estudis_i_docs_mitigacio/Aigua_i_cc/150213_Metodologia-de-calcul-emissions-consum-aigua_CAT_vf.pdf) (recuperado en abril de 2016).

OLESZKIEWICZ, J. (2015). *Options for improved nutrient removal and recovery*. University of Manitoba-Canadian Water Network, <http://www.cwn-rce.ca/assets/resources/pdf/Oleszkiewicz-Nutrients/Oleszkiewicz-KI-Report-March-2015.pdf> (recuperado en abril de 2016).

POMARES, F. (2013) Valoración agronómica de los lodos de EDAR en cultivo de arroz. *Retema, Revista Técnica de Medio Ambiente*, 169, 84 – 91

POMARES, F. (2014) Beneficios y riesgos para los suelos y los cultivos derivados de la aplicación de lodos, 1ª Jornada sobre el aprovechamiento de recursos disponibles en una EDAR, 19-21 de febrero, Valencia, <http://www.serglo.es/congresos/2014/depuracion2014/M23-Fernando%20Pomares.pdf> (recuperado en abril de 2016).

PITTMAN, J. K., DEAN, A. P., & OSUNDEKO, O. (2011). "The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources". *Bioresource technology*, 102(1), 17-25.

SCHOUMANS, O. F., BOURAOUI, F., KABBE, C., OENEMA, O., VAN DIJK, K. C. (2015). "Phosphorus management in Europe in a changing world". *Ambio*, 44(2), 180-192.

SMITH, S.R., TRINER, N.G., KNIGHT, J.J. (2002). "Phosphorus Release and Fertiliser Value of Enhanced- Treated and Nutrient-Removal Biosolids". *Water Environmental Journal*, 16, 127–134.