



Interreg

España - Portugal

0029_SECASOL_5_E



UNIÃO EUROPEIA
UNIÃO EUROPEIA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

PRODUCTO DEL PROYECTO N° 1 (PP1)

Potencial de la energía solar térmica de concentración en los procesos de secado en depuración de aguas residuales y tratamiento de residuos domésticos

POCTEP 2014-2020 / Proyecto n° : 0029_SECASOL_5_E
Inicio del proyecto: 01/12/2017
Duración del proyecto: 25 meses

PROYECTO SECASOL	
Fomento de tecnologías innovadoras para la mejora de la eficiencia en el proceso de secado de los lodos de Aguas Residuales y de secado de Residuos Sólidos Urbanos mediante el uso de Tecnologías Solares en Andalucía-Algarve-Alentejo	
Fecha de entrega	31/11/2018
Socio responsable	LNEG
Persona responsable	David Loureiro
Autores	Victor Mantilla (LNEG), Miguel Miranda (LNEG), Santino di Berardino (LNEG), David Loureiro (LNEG), João Cardoso (LNEG), Ivo Dias (GESAMB), Gonzalo Lobo (CENTA), António Martins (AdA)
Revisado por	
Tipo de documento	Público

Índice General

Índice General.....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	6
2.1 AGUAS RESIDUALES Y CONTAMINACIÓN.....	6
2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	8
2.3 OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	14
2.4 GRADO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES. ENCUADRE LEGISLATIVO.....	18
2.5 TRATAMIENTO DE LODOS.....	19
2.6 TRATAMIENTO DE LOS LODOS EN EDAR DE PEQUEÑA DIMENSIÓN: DESHIDRATACIÓN /SECADO EN LECHOS DE MACRÓFITAS.....	26
2.7 GESTIÓN DE LOS LODOS Y SU ENCUADRE LEGISLATIVO.....	28
2.8 LA IMPORTANCIA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PROCESOS DE DESHIDRATACIÓN / SECADO DE LODOS Y SUS POSIBLES DESTINOS.....	30
2.9 TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. SECADO DE LODOS.....	31
2.9.1 Secado térmico.....	31
2.9.2 Objetivos del proceso de secado.....	31
2.9.3 Tecnologías para el secado de lodos.....	33
2.9.4 Ventajas y desventajas del secado térmico.....	34
2.9.5 Tratamiento de la fase gaseosa.....	36
2.9.6 Algunas consideraciones económicas y financieras.....	37
3 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DOMÉSTICOS.....	39
3.1 CLASIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN.....	42
3.2 TRATAMIENTO MECÁNICO Y BIOLÓGICO.....	42
3.3 COMPOSTAJE.....	44
3.4 VERTEDERO.....	45
3.5 INCINERACIÓN.....	45
3.6 PROCESOS DE SECADO ALIMENTADOS POR ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	45
3.7 PROCESO DE SECADO EN EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS DOMÉSTICOS.....	46
3.8 PROCESOS ALIMENTADOS CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	47
4 INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS DOMÉSTICOS.....	54
4.1 ALGARVE.....	54
4.1.1 Residuos domésticos – Algar.....	56
4.1.2 Aguas residuales – Águas do Algarve.....	57

4.2 ALENTEJO.....	58
4.2.1 Residuos domésticos - GESAMB.....	60
4.2.2 Residuos domésticos – Asociación de Municipios de Alentejo Central (AMCAL).....	66
4.2.3 Residuos domésticos - RESIALENTEJO.....	67
4.2.4 Residuos domésticos - AMBILITAL.....	69
4.2.5 Residuos domésticos – VALNOR.....	70
4.2.6 Aguas residuales – Águas Públicas do Alentejo.....	71
4.2.7 Aguas residuales – Águas de Santo André.....	71
4.2.8 Aguas residuales – Águas do Centro do Alentejo.....	72
4.3 ANDALUCÍA.....	73
4.3.1 Instalaciones de secado de lodos térmicos (biosólidos) en Andalucía.....	78
4.3.2 Estaciones de tratamiento de residuos domésticos de Huelva.....	79
5 RECURSO SOLAR Y POTENCIAL DE LA APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRACIÓN.....	81
5.1 RECURSO SOLAR.....	84
5.1.1 Algarve.....	85
5.1.2 Alentejo.....	91
5.1.3 Andalucía.....	103
5.2 POTENCIAL TÉCNICO DE SECADO CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	108
5. CONCLUSIONES.....	113
6. ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	114
6.1. ÍNDICE DE FIGURAS.....	114
6.2. ÍNDICE DE TABLAS.....	117
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

1 INTRODUCCIÓN

Los procesos de tratamiento de residuos domésticos dan como resultado la deposición final de una gran cantidad de estos residuos en un vertedero controlado. Estos residuos presentan un contenido de humedad nada despreciable, que supone, por un lado, un aumento de la masa y el volumen del material a depositar y, por el otro, potencia la aparición de lixiviados. Una alternativa a la deposición en los vertederos puede ser la producción de Combustible Derivado de Residuos (en adelante CDR) pero para que sea viable económicamente debe ser producido con una humedad baja.

Por otro lado, los procesos de tratamiento de aguas residuales dan como resultado la producción de lodos que presentan un alto contenido en humedad que eleva los costes de tratamiento, particularmente, los de transporte. El secado de estos residuos tienen en si un interés económico y ecológico, permitiendo una reducción de los costes en los procesos deposición final, tratamiento, y también en la reducción del peso y volumen del material a tratar.

El secado de residuos domésticos y de lodos procedentes de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (en adelante EDAR) representa un proceso energéticamente intenso, en la medida en que requiere la evaporación del agua contenida en estos residuos en forma de humedad.

Tradicionalmente los procesos de secado de estos residuos utilizan:

- ✓ Combustibles fósiles.
- ✓ Biogás producido en vertederos o
- ✓ Procesos lentos como el biosecado, es decir la evaporación convectiva, utilizando el calor de la biodegradación aeróbica de los residuos.

El abundante recurso solar existente en la Península Ibérica, particularmente en la zona sur, podría ser aprovechado para alimentar diversos procesos térmicos, como el secado, siendo actualmente un recurso bastante desaprovechado. Además de aumentar el porcentaje de fuentes renovables en el sistema energético y contribuir a su descarbonización, la inserción de las tecnologías solares permite aumentar la seguridad energética, contribuyendo a la economía del país, a través de la utilización de una fuente de energía endógena.

En este sentido, las Tecnologías Solar Térmica de Concentración se distinguen de las otras energías renovables, por presentar un potencial único de integración en procesos que requieren calor, así como en sistemas que utilizan electricidad, disponiendo más fácilmente

de la capacidad de almacenar energía a costes competitivos a través de sistemas de almacenamiento de energía térmica.

El **Proyecto SECASOL** pretende fomentar la utilización de tecnologías innovadoras para el secado de residuos domésticos y de los lodos resultantes de los procesos de depuración de aguas residuales, utilizando para ello las tecnologías solares térmicas de concentración.

El presente informe:

- ✓ Tiene por objeto presentar una estimación del potencial de utilización de la energía solar térmica en los procesos de secado anteriormente mencionados para las regiones de Alentejo, Algarve y Andalucía.
- ✓ Realiza una descripción general de los sistemas de tratamiento utilizados para la depuración de aguas residuales y la gestión de residuos domésticos, centrándose en las distintas operaciones y procesos existentes y el grado de tratamiento que logren alcanzar, e identificando aquellos procesos de secado térmico que podrían ser alimentados por tecnologías solares de concentración.
- ✓ Estima finalmente el recurso solar disponible y la cantidad de materia por unidad de área que puede ser procesada con energía solar térmica en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y de residuos domésticos.

2 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.1 AGUAS RESIDUALES Y CONTAMINACIÓN

Se entiende por aguas residuales a todos los efluentes procedentes de los sistemas de alcantarillado, así como otros efluentes procedentes de diferentes fines y cuyas características naturales han sido alteradas.

La contaminación existente en las aguas residuales depende del uso que hayan tenido (que introduce cambios en sus propiedades naturales) y que la hacen no apropiada para el consumo o para otras aplicaciones que exijan determinados parámetros de calidad.

Tanto en el *Decreto-Lei nº 152/97* en Portugal como en el Real Decreto-Ley 11/95 en España, en donde se transponen al ordenamiento jurídico de cada Estado la Directiva 91/271/CEE, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas, las aguas residuales se clasifican de la siguiente manera:

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

Las aguas residuales domésticas contienen materia orgánica de origen fecal, orina y productos químicos. Es bastante biodegradable y posee una composición físico-química relativamente constante en el tiempo.

Las aguas residuales industriales dependen del tipo de procesamiento y presentan una composición específica y generalmente variable en el tiempo.

Las aguas residuales de origen pluvial están generalmente poco contaminadas y, normalmente, son transportadas por colectores separados del desagüe y descargadas directamente al medio receptor o reutilizadas.

De forma general, la contaminación presente en las aguas residuales se puede clasificar en cuatro categorías:

- ✓ **Contaminación física.** Tiene su origen en los materiales orgánicos e inorgánicos que se encuentran en suspensión en el agua que provocan una alteración en el color, el depósito de sedimentos y aumento de la temperatura, densidad y viscosidad.
- ✓ **Contaminación química.**
 - ✓ En efluentes domésticos procede de los compuestos químicos añadidos durante el uso del agua, tales como detergentes y desinfectantes (entre otros).
 - ✓ En efluentes industriales depende del tipo de industria, así como del correspondiente procesamiento que lleven.
 - ✓ Las escorrentías de terrenos agrícolas lleva consigo la contaminación química en los medios hídricos donde confluyen, provocando graves perturbaciones (turbidez de las aguas, variación del pH y potencial redox) que afecta a la vida biológica y la salud del medio receptor. Estas escorrentías no confluyen a la red colectora, siendo una contaminación diseminada, no tratable con sistema de depuración artificiales, aunque controlable con sistemas naturales.
- ✓ **Contaminación bioquímica.** Es generada por la materia orgánica y los nutrientes procedentes de las excreciones humanas y de origen animal, así como de los efluentes de la industria alimentaria.

En el medio receptor que recibe un efluente rico en compuestos orgánicos y nutrientes ocurren reacciones biológicas de descomposición que originan alteraciones en el color, la turbidez y la reducción del oxígeno. Además, la presencia de nitrógeno y fósforo estimula la proliferación de plantas y vegetación, provocando la eutrofización del medio receptor.

Esta contaminación es provocada por agentes patógenos, tales como bacterias y protozoos de origen intestinal, presentes en la materia fecal, pudiendo ocasionar un problema de salud pública. Hoy en día la legislación establece unos parámetros a analizar relativos a la calidad del agua según sus fines, así como de las aguas residuales.

En la Tabla 1 se resumen los principales parámetros utilizados para la caracterización de las aguas residuales (Bitton, 2005).

Tabla 1 - Parámetros de caracterización de las aguas residuales

<i>Parámetros</i>	<i>Tipología</i>
Físicos	- Temperatura
	- Color
	- Turbidez
	- Sólidos totales en materia seca
	- Sólidos volátiles
Organoléuticos	- Carbono Orgánico Total (COT)
Químicos	- Sabores y olores
	- pH
	- Alcalinidad
	- Dureza
	- Oxígeno disuelto
	- Carencia Bioquímica en Oxígeno (CBO)
Biológicos/Sanitarios	- Carencia Química en Oxígeno (CQO)
	- Coliformes totales e fecales
	- <i>Streptococcus</i> fecales
	- Colesterídeos

2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las EDAR desempeñan la tarea de eliminar los elementos contaminantes del agua y generar un efluente con concentraciones inferiores a los límites de descarga definidos por la legislación. Estos sistemas permiten preservar el equilibrio ecológico del medio receptor, teniendo un impacto significativo y directo en la salud y el bienestar, en la protección de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres y en el desarrollo urbano e industrial.

Para poder dimensionar una EDAR, es necesario definir cuáles son los parámetros que mejor representan los distintos elementos contaminantes presentes en las aguas residuales.

Generalmente, las aguas residuales se caracterizan por presentar una composición muy diversa y variable, por lo que, para poder simplificar el dimensionamiento de un sistema de tratamiento, se establecieron unos parámetros de caracterización representativos de la calidad global de las aguas residuales, que permitan:

- ✓ Evaluar de forma razonable la carga contaminante.
- ✓ Prever los impactos causados en el medio receptor.
- ✓ Hacer viable el control y el rendimiento del sistema de tratamiento.

Entre estos parámetros podemos destacar:

- ✓ **Sólidos Totales (ST)**. Cantidad de sólidos totales (materia seca) contenida en el efluente residual.

- ✓ **Sólidos Volátiles (SV).** Cantidad total de materia orgánica contenida en el efluente residual.
- ✓ **Sólidos en suspensión Totales (SST).** Cantidad de materia total existente en forma de partículas.
- ✓ **Sólidos en suspensión Volátiles (SSV).** Cantidad de materia orgánica existente en forma de partículas.
- ✓ **Demanda Química en Oxígeno (DQO).** Determinación de las sustancias orgánicas e inorgánicas susceptibles de ser oxidadas por acción de agentes oxidantes fuertes por la utilización de productos químicos o por microorganismos.
- ✓ **Demanda bioquímica en oxígeno (DBO).** Cuantificación del oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica descompuesta mediante la acción bioquímica aeróbica mediante la utilización de productos químicos o microorganismos.
- ✓ **Carbono Orgánico Total (COT).** Medida aplicada especialmente para aguas con bajos contenidos de materia orgánica donde el carbono orgánico es totalmente oxidado o convertido en anhídrido carbónico.
- ✓ **Nutrientes.** Nitrógeno amoniacal y orgánico y fosfato, siendo compuestos que provocan la eutrofización.

Las estaciones de tratamiento de aguas residuales se caracterizan por una secuencia de operaciones y procesos unitarios que buscan mejorar la calidad del efluente.

El tratamiento consta de las siguientes fases:

- ✓ **Tratamiento preliminar.** Consiste en la eliminación de elementos gruesos, grasas, arenas y partículas discretas cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento y el eficiente funcionamiento de la EDAR.
- ✓ **Tratamiento primario.** Permite la eliminación de los sólidos decantados mediante un tanque de sedimentación o una unidad de flotación apoyada por coagulantes (reactivos químicos que permite la floculación). La sedimentación elimina alrededor del 30-35% de la materia orgánica suspendida del agua residual. Esta operación genera un lodo con un 4-6% de materia concentrada que se denomina Lodo Primario.

Tras este este tratamiento, quedan aún en el agua residual la materia coloidal suspendida y la materia disuelta que se tratarán en las siguientes fases del proceso.

Una alternativa consiste en la adición de coagulantes para agregar la materia coloidal

y promover su decantación o flotación, constituyendo así un Tratamiento Primario Avanzado. Este tratamiento permite una tasa de eliminación de la materia orgánica disuelta del orden del 45-55%. Esta última solución se utiliza más en el tratamiento de los efluentes industriales.

- ✓ **Tratamiento biológico o secundario.** La restante carga orgánica biodegradable contaminante existente en el efluente residual, después de la decantación, se encuentra en forma disuelta y coloidal, siendo tratada por medio de los procesos biológicos.

Un activo conjunto de microorganismos aeróbicos, crecen y se reproducen al alimentarse de la materia orgánica y nutrientes contenidos en el efluente, formando así densos lodos. En este proceso se produce la transformación de parte de la materia orgánica en CO₂ y H₂O, por respiración. Los microorganismos formados en exceso durante este proceso son eliminados por sedimentación, formando un Lodo biológico o Secundario.

El tratamiento secundario más común es el Proceso de Lodos Activados, donde se suministra oxígeno para asegurar unas condiciones aeróbicas donde intervienen microorganismos nitrificantes. Dentro de los sistemas de tratamiento biológico, podemos destacar los sistemas de biomasa fija (sistemas de lechos percoladores) y los sistemas de biomasa en suspensión (sistemas de lodos activados), a pesar de la relevancia que tienen los sistemas de lagunas y lechos de plantas para pequeñas comunidades.

En el esquema de la Figura 1, se muestran las tres líneas de tratamiento. Concretamente, el Línea de Aguas (parte superior), Línea de Lodos (parte central) y la recuperación y utilización del biogás (parte inferior).

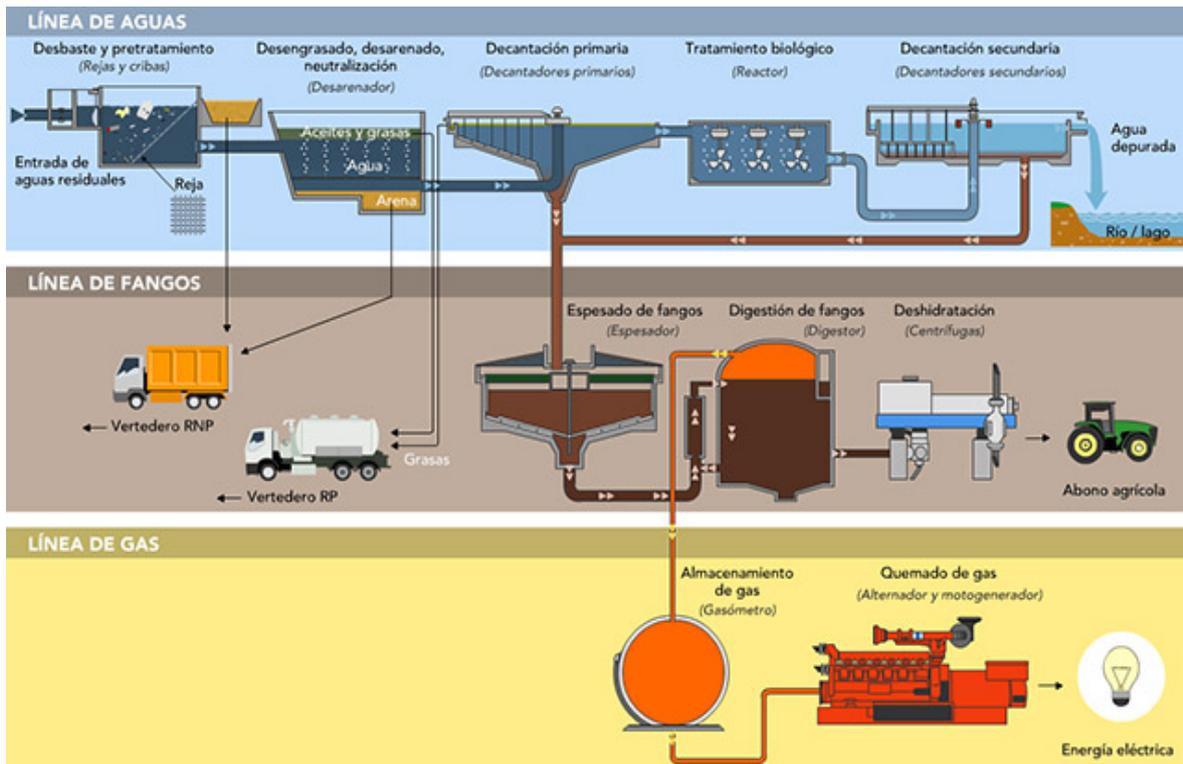


Figura 1 - Línea de aguas (parte superior). Línea de lodos (parte central). Utilización de biogás (parte inferior).
(Fuente: Trindade Rodrigues Silva Moura, 2011).

- ✓ **Tratamiento avanzado y terciario.** Los procesos de tratamiento secundario pueden eliminar hasta el 90% del contenido orgánico de las aguas residuales.

Se conoce como Tratamientos Avanzados a los tratamientos adicionales aplicados, además del secundario, que aumentan la eficiencia global, para cumplir con los límites de descarga de los efluentes definidos por la legislación. En el caso de un medio receptor sensible, se efectúa la eliminación adicional de nitrógeno y fósforo.

La tecnología más utilizada es una combinación de los procesos biológicos de nitrificación - desnitrificación y una fase biológica anaerobia que elimina el fósforo. Este último puede ser recuperado por precipitación y reutilizado. Los sistemas de tratamiento, que incluyen la eliminación de compuestos, se designan como tratamiento secundario con la eliminación de nutrientes o terciarios.

En la Figura 2 se muestran los esquemas del proceso secundario convencional (lodos activados) con proceso de oxidación y nitrificación y, además, el proceso biológico de eliminación simultánea de nutrientes (materia orgánica, nitrógeno y fósforo).

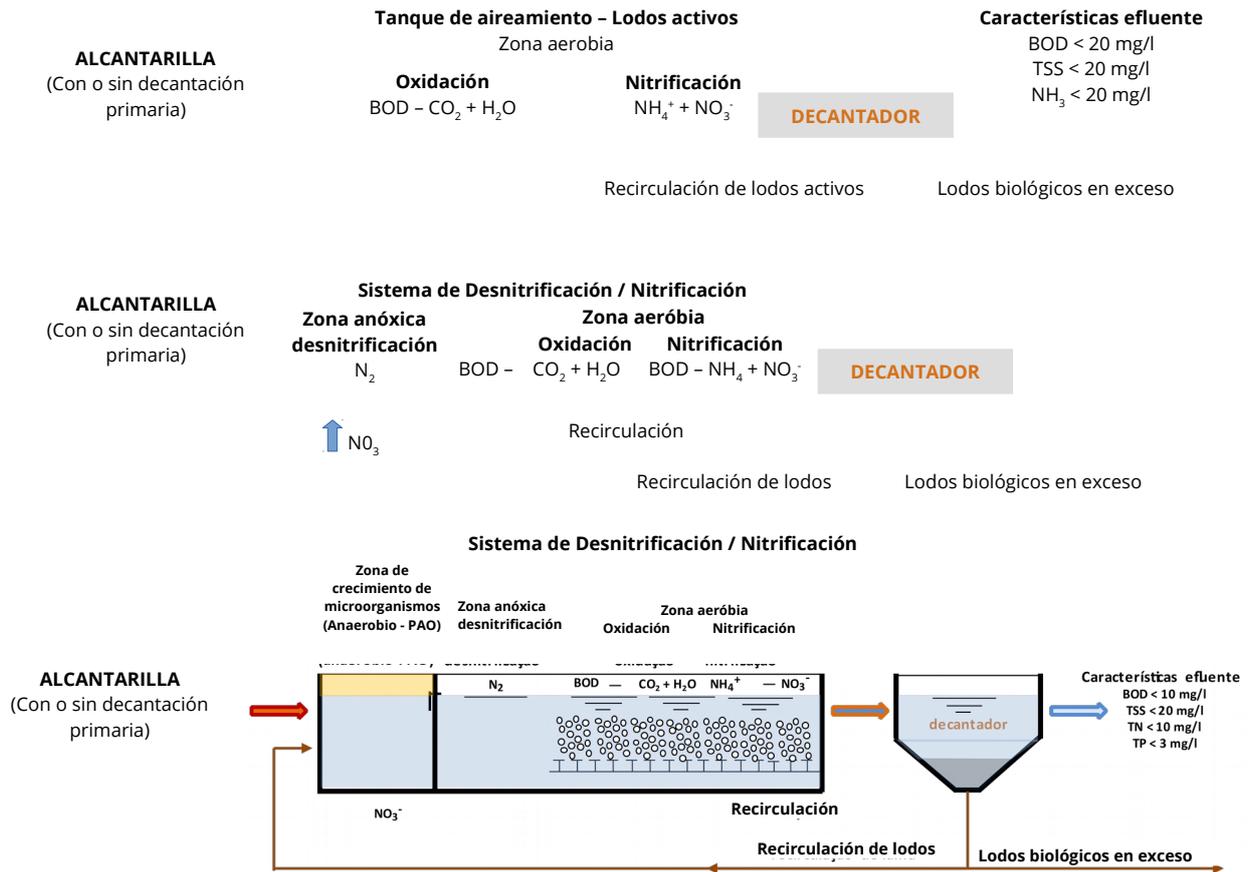


Figura 2 - Sistema de tratamiento secundario y con eliminación de nutrientes
(Di Berardino and Miranda, 2018).

- ✓ **Tratamiento terciario y desinfección.** Si el efluente se utiliza en el riego agrícola, con el tratamiento secundario es suficiente, pero se debe prever el almacenamiento y la desinfección durante el período de sequía. Si el medio receptor es una zona de baño, es necesaria la filtración con arena o microtamizadores, seguido de procesos de desinfección por clorado, radiación ultravioleta u ozono.

Si se desea un efluente de alta calidad para la reutilización industrial, se pueden aplicar procesos adicionales, fundamentalmente la ultrafiltración, la ósmosis inversa y la nanofiltración.

De acuerdo con los requisitos establecidos para la calidad del efluente a tratar en la EDAR (función de la sensibilidad del medio receptor y/o de la reutilización del efluente generado), el proceso de tratamiento puede variar entre secundario, cuando el efluente generado es descargado en un medio menos sensible, y terciario /tratamiento avanzado, en el caso de medio hídrico sensible o reutilización del efluente.

Además, hay que señalar que la materia orgánica no biodegradable puede ser eliminada por adsorción usando carbón activado o por la oxidación con ozono u otro fuerte oxidante. Existen varias combinaciones de procesos de tratamiento que pueden ser implementadas y pueden garantizar la calidad necesaria para cualquier tipo de reutilización.

En el esquema de la Figura 3 se presentan dos combinaciones de uso frecuente. Otras hipótesis constan en la bibliografía (Metcalf & Eddy, 2004).

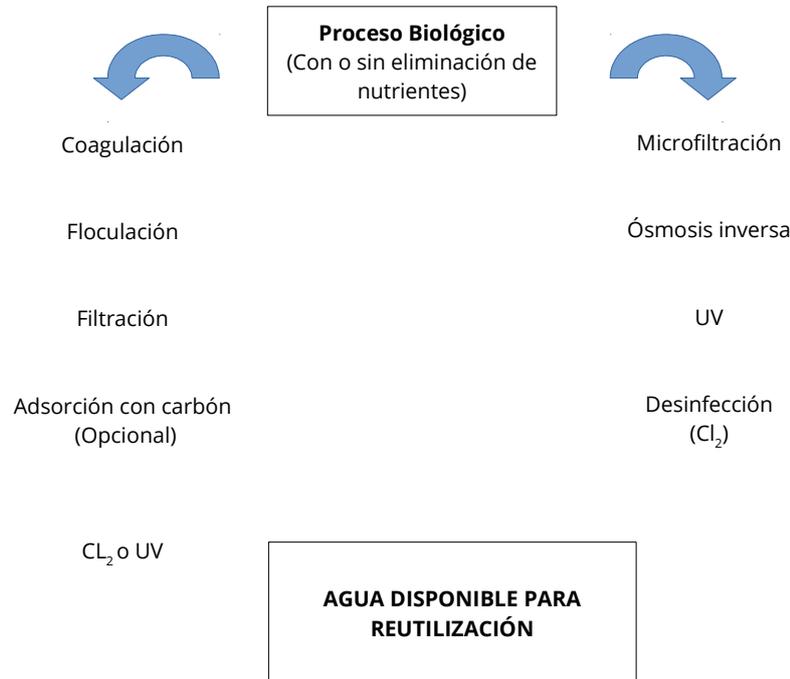


Figura 3 - Procesos de tratamientos avanzados o terciarios

Como se indica en el esquema mencionado anteriormente, las depuradoras convencionales eliminan una parte de la materia orgánica (50-60%), convirtiendo la parte restante en un producto más concentrado y con menor volumen, definido como lodo. De la sedimentación primaria resulta un lodo putrescible que necesita tratamiento. En el tratamiento biológico la materia orgánica no es completamente oxidada, siendo una parte (40-50%) convertida en lodos biológicos, que contienen la mayoría de los contaminantes presentes en el efluente. Todos los lodos deben ser tratados y colocados en destino final apropiado, siendo necesario su tratamiento.

En el caso de las aguas residuales, se observa una disminución de contaminantes microbianos y también de compuestos tóxicos (metales pesados), mutagénicos o carcinógenos, por medio de mecanismos indirectos (absorción, adsorción y oxidación, entre otros) eliminando una amplia gama de contaminantes (Metcalf & Eddy, 2004).

Durante el proceso de tratamiento, se forman otros tipos de residuos. El material separado es tratado dentro del sistema de tratamiento de residuos, las arenas pueden ser lavadas y reutilizadas y las grasas pueden ser digeridas y transformadas en biogás (en vertederos o digestores apropiados).

En una depuradora existen una fracción gaseosas, en particular el biogás producido en el tratamiento de los lodos que, debido a su poder calorífico, permite su valorización energética. También existen olores y emisiones en el aire que conducen a potenciales problemas ambientales y sanitarios, por lo que necesitan de un tratamiento adecuado.

Así una estación de tratamiento está dotada de tres líneas de tratamiento:

- a) Línea de Aguas (nivel secundario o terciario).
- b) Línea de lodos (depuración).
- c) Línea de biogás y tratamiento del aire.

2.3 OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales se efectúa a través de un conjunto de operaciones y procesos con vistas a la reducción y/o eliminación de los contaminantes existentes en el el agua residual.

En la Tabla 2 se presentan las operaciones y procesos usualmente aplicados en el tratamiento de aguas residuales, siendo estos de tipo físico, químico y biológico.

En la Tabla 3 se describe la eficiencia en la eliminación de contaminantes que es posible alcanzar en el tratamiento primario, secundario, terciario y avanzado.

En la Tabla 4 se describen los tratamientos biológicos más utilizados.

En la Tabla 5 los tipos de tratamientos terciarios que pueden aplicarse.

Tabla 2 - Operaciones y procesos usados para el tratamiento de aguas residuales

Operaciones y Procesos	Metodología de Tratamiento	Contaminantes eliminados
Operaciones físicas	<ul style="list-style-type: none"> - Gradación - Cribado - Filtración - Sedimentación - Flotación - Adsorción 	Sólidos en suspensión
Procesos químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Coagulación química - Floculación - Precipitación - Desinfección 	Sólidos en suspensión coloidales
Procesos biológicos y actividades biológicas	<ul style="list-style-type: none"> - Oxidación aeróbica de lodos activados - Reactor película-fijo (filtros biológicos) - Discos biológicos rotativos - Sistemas de lagunas y Sistemas fito-naturales - Digestión (aerobia y anaerobia) - Filtración intermitente con arena - Sistemas físico-químicos 	Compuestos orgánicos biodegradables
Procesos terciarios	<ul style="list-style-type: none"> - Nitrificación / desnitrificación - Nitrificación y desinfección (película fija) - Extracción (stripping) del nitrógeno amoniacal - Intercambio iónico - Clorado - Sistemas fito-naturales - Lagunas de macrófitas 	Nutrientes y nitrógeno
	<ul style="list-style-type: none"> - Coagulación / Sedimentación - Eliminación biológica - Sistemas naturales 	Nutriente y fósforo
Procesos avanzados	<ul style="list-style-type: none"> - Filtración en arena - Microtamizadores - Coagulación de la precipitación 	Eliminación adicional de sólidos em suspensión
	<ul style="list-style-type: none"> - Desinfección (por ejemplo, cloro e hipocloración) - Cloruro de bromo - Ozonización - Radiación ultravioleta - Sistemas naturales 	Organismos patógenos
Procesos avanzados	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorción con carbón activado - Ozonización - Procesos por Membranas - Sistemas naturales 	Compuestos orgánicos refractario
	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación química - Intercambio iónico - Sistemas naturales - Electrodialisis - Osmosis inversa - Ultrafiltración - Nanofiltración 	Sólidos orgánicos disueltos. Metales pesados
Tratamiento del aire	<ul style="list-style-type: none"> - Purificadores químicos - Adsorción con carbono - Biofiltros - Filtros de compostaje 	Compuestos orgánicos volátiles. Olores

Tabla 3 - Eficiencia de eliminación de contaminantes químicos - Niveles de tratamiento primario, secundario, terciario y avanzado

Contaminantes	Eficiencia del tratamiento (%)				Total
	Primario	Secundario	Terciario	Avanzado	
CBO	19	74	5	N.A.	98
SST	40	55	4	N.A.	> 99
COT	21	64	8	7	> 99
ST	9	10	6	72	96
Turbidez	12	74	14	0	> 99
N-NH ₄	5	52	1	39	97
P-PO _i	16	28	54	0	98
Arsenio	3	19	30	30	82
Boro	0	0	13	3	16
Cadmio	17	0	67	0	84
Cálcio	3	7	0	88	98
Cloretos	3	0	0	90	93
Cromo	0	32	24	26	82
Plata	0	75	0	0	75
Sulfatos	9	0	0	91	> 99
Zinco	6	64	27	0	97
Sódio	3	0	0	91	94
Hierro	11	59	22	2	94
Plomo	0	0	93	0	93
Magnesio	1	0	82	13	96
Manganeso	4	37	57	0	98
Mercurio	33	33	0	0	66
Níquel	0	33	11	45	89
Cobre	0	33	52	0	85
Selénio	0	16	0	64	80

N.A. – No aplicable

Tabla 4 - Tratamientos biológicos más utilizados y sus ventajas e inconvenientes

Tipo de Tratamiento	Descripción/Metodología	Ventajas	Inconvenientes
Lodos activados	Tratamiento basado en microorganismos que se encuentran suspendidos en medio líquido, en el interior del reactor y con una ventilación adecuada. Al final del proceso es necesario proceder a la decantación para la separación de los lodos del efluente tratado.	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada eficiencia de eliminación - Sistema compacto - Elevada capacidad de tratamiento del efluente 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado consumo de energía - Elevada producción de lodos - Mantenimiento significativo - Difícil operación
Lecho bacteriano	Sistema donde el efluente se regula uniformemente sobre un soporte que contiene un biofilm (formado por bacterias, protozoos y hongos). La acción microbiana permite que los compuestos orgánicos sean transportados a través del biopelículas para degradarlos. Con el transcurrir de la degradación, se verifica el aumento del biofilm y cuando se alcanza las condiciones de límite de oxígeno y nutrientes, se da su desagregación (llevando a que éste sea eliminado del efluente final por un clarificador)	<ul style="list-style-type: none"> - Resistente a la corrosión - Menores costes energéticos de operación (comparados con lodos activados) - Buena capacidad para manejar variaciones en el caudal. - Sistema más simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Poca resistencia a efluentes con características tóxicas o ácidas - Capacidad de operación reducida (susceptible de producirse obstrucciones en el sistema de distribución) - Formación de olores desagradables - Elevado mantenimiento - Sistema que presenta dificultades en el arranque

Tabla 4 - Tratamientos biológicos más utilizados y sus ventajas e inconvenientes (Continuación)

<i>Tipo de Tratamiento</i>	<i>Descripción/ Metodología</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Inonvenientes</i>
Embalse	<p>Sistema formado por un conjunto de lagunas anaerobias facultativas y de maduración, que presentan características de tratamiento diferenciadas para el tratamiento del efluente.</p> <p>A pesar de que son poco utilizadas a nivel nacional, se observan algunos usos en el tratamiento de efluentes procedentes de la producción animal</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costes de construcción, operación y mantenimiento reducidos. - Reducción significativa de los niveles de agentes patógenos. - Gran capacidad de tratamiento de efluentes con grandes concentraciones de metales pesados - Gran capacidad para absorber variaciones hidráulicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren grandes áreas para operar - Incapacidad de contención de olores y proliferación de insectos (por ejemplo, mosquitos) - Grandes concentraciones de sólidos suspendidos (algas) en el efluente final
Biodiscos	<p>Sistema formado por una serie de discos rotativos en cuya superficie se forma un biofilm. Los discos están dispuestos en un eje que, debido a su rotación, permite que la biomasa entre en contacto (alternativamente) con la materia orgánica presente en el efluente y con el aire ambiente. La rotación del eje también sirve de sistema de corte permitiendo así la eliminación del exceso de sólidos en el disco. Estos son posteriormente tratados en un clarificador</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada eficiencia en el tratamiento (comparado con otros sistemas de lecho fijo) - Sistema compacto, de operación y mantenimiento simplificado 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema sensible a sobrecargas de material orgánico - Sistema susceptible a averías en el eje de rotación - Sistema influenciado por la temperatura ambiente - Sistema más orientado al tratamiento de efluentes procedentes de pequeñas poblaciones

Tabla 5 - Tratamientos terciarios

<i>Tipo de Tratamiento</i>	<i>Tratamiento Terciario</i>	<i>Descripción</i>
Físico-químicos	Adsorción	Proceso de acumulación de una sustancia en interfaz líquido / sólido y que permite eliminar contaminantes orgánicos específicos (por ejemplo, hidrocarburos, clorobenzenos, cloetanos, fenoles, entre otros). El carbón activado es uno de los adsorbentes más utilizados.
	Filtración (arena y carbón)	Proceso que consiste en la filtración del efluente para garantizar la eliminación de partículas que no hayan sido eliminadas en los procesos anteriores. La elevada eficiencia del sistema se debe principalmente al carbón que presenta una elevada porosidad.
	Desinfección	Proceso que permite eliminar la fracción de microorganismos patógenos (que aún pueden existir en el efluente) por diferentes vías (por ejemplo, radiación ultravioleta, ozono y químicos).
	Intercambio iónico	Proceso que permite la eliminación y recuperación de metales y la eliminación de nutrientes a través del intercambio iónico entre los dos medios (solución y el efluente). El intercambiador iónico está formado por un recipiente donde se encuentra un lecho compuesto por una resina que puede ser lavada y regenerada.

Tabla 5 - Tratamientos terciarios (Continuación)

Físico- químicos	Oxidación avanzada	El proceso que involucra la conversión (oxidación) de diferentes contaminantes orgánicos (por ejemplo, ácidos, alcoholes, compuestos aromáticos, aminas, éteres, cetonas, colorantes, y varios compuestos inorgánicos) y agua con agentes oxidantes (reactivos).
	Osmosis inversa	Proceso de alto nivel de eficiencia en la eliminación de diferentes productos que no se han retirado o eliminado en los niveles de tratamiento anteriores (por ejemplo, materia orgánica residual, metales pesados, sales en solución e incluso microorganismos). La ósmosis inversa se basa en el principio del gradiente de concentración a través de la permeabilidad del sistema a determinados elementos y / o compuestos existentes en soluciones más concentradas para soluciones menos concentradas
Biológicos	Nitrificación y desnitrificación	Proceso que permite la eliminación del nitrógeno en exceso en el efluente reduciéndolo a un nitrógeno molecular (N ₂).
	Lagunas de maduración	Son usadas en los sistemas de tratamiento por lagunas para la eliminación de agentes patógenos usando la radiación solar (radiación ultravioleta). Uno requisitos importante para la eficiencia de este tratamiento es la profundidad de las lagunas que tiene que ser baja.

2.4 GRADO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES. ENCUADRE LEGISLATIVO

La Directiva 91/271 / CEE de la Unión Europea relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas establece los requisitos de calidad que deben cumplirse para vertidos en medios receptores normales y en zonas sensibles y sujetas a eutrofización.

Esta directiva especifica las concentraciones máximas a alcanzar, el valor mínimo de eliminación de fósforo total (80%) y el nitrógeno total (70-80%), promueve la reutilización de aguas residuales tratadas "cuando proceda" y la irrigación agrícola, salvaguardando posibilidad de efectos adversos para el medio ambiente (por ejemplo, suelo, aguas subterráneas, aguas superficiales y ecosistemas dependientes, y otros cultivos a ser irrigados).

La legislación ambiental existente es muy amplia y permite regular cualquier tipo de situación.

Los principales títulos a considerar son:

- ✓ Directiva 2000/60 / CE - Directiva marco sobre agua (DMA).
- ✓ Directiva 2013/39 / UE - relativa a las normas de calidad ambiental (EQSD).
- ✓ Directiva 2014/80 / EE - relativa a las aguas subterráneas (GWD).
- ✓ Directiva 91/271 / CEE - relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- ✓ Directiva 91/676 / CEE - Directiva de los nitratos.

2.5 TRATAMIENTO DE LODOS

Los lodos son un producto inevitable generado en cantidades significativas por las EDAR y su destino final puede constituir un problema. Su procedencia se deriva esencialmente de la acumulación sucesiva de productos en suspensión en el agua residual del efluente, así como de otras fases resultantes del proceso de transformación (por ejemplo, acción microbiana).

En las estaciones de tratamiento convencionales, los lodos resultan, no sólo de las operaciones de decantación primaria, sino también de los procesos de tratamiento subsiguientes (por ejemplo, secundario y terciario). En el transcurso del proceso de tratamiento, los lodos pueden obtenerse de forma mixta (se mezclan lodos primarios con lodos secundarios en el decantador primario) o, alternativamente, separados en decantadores distintos para posterior mezcla y procesamiento.

El origen de los lodos, de acuerdo con los niveles de tratamiento, puede clasificarse como:

a) Lodos primarios. Se generan en los decantadores primarios donde ocurre la primera sedimentación de los efluentes recibidos.

b) Lodos secundarios. Se generan en tanques de aireación y decantadores secundarios. Se dividen en:

- ✓ Digeridas. Resultado de la digestión anaerobia o aeróbica. Se caracterizan por contener grandes cantidades de nitrógeno en la forma de NH_4^+ .
- ✓ No digeridas. Caracterizándose por presentan una menor razón de C/N y por contener nitrógeno en la forma orgánica.

c) Lodos terciarios. Se generan en el tratamiento terciario y resultan de la eliminación de contaminantes específicos que no se han eliminado a través del tratamiento secundario.

Los lodos de las EDAR presentan una composición que varía según las características de las aguas residuales y del tipo de tratamiento aplicado. Se caracterizan esencialmente por presentar un alto contenido de humedad, de materia orgánica, diferentes tipos de nutrientes (nitrógeno, fosforo y potasio, entre otros), microcontaminantes inorgánicos (metales pesados) y microorganismos patógenos, así como otros contaminantes (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, bifenoles policlorados, compuestos orgánicos halogenados, dioxinas y furanos).

Los lodos procedentes de los tratamientos secundarios se caracterizan por contener altos niveles de proteínas y nutrientes, mientras que los lodos procedentes de los tratamientos terciario o avanzado, se suelen producir en pequeñas cantidades, exceptuando en los

tratamientos que recurren a la precipitación química para la eliminación del fósforo.

Los lodos recogidos en los decantadores son putrescibles y producen olores desagradables, siendo necesario proceder a su estabilización para su posterior destino final, utilizando un sistema de tratamiento específico denominado de línea de tratamiento de los lodos.

Las principales técnicas utilizadas en el tratamiento de los lodos para su adecuado uso son: espesamiento, digestión anaeróbica, deshidratación, estabilización química, compostaje, secado térmico, incineración e inmovilización.

a) Espesamiento

Es la fase inicial del tratamiento. Los lodos son sometidos al espesamiento (o concentración) en el que se elimina un gran porcentaje de su humedad. Esto conduce a una reducción significativa de su volumen y, consecuentemente, a un aumento de la densidad (lodos más gruesos). Sin embargo, estos lodos espesados todavía contienen un alto contenido en humedad y son biodegradables.

Para esta operación se usan diferentes sistemas, concretamente tanques que funcionan por acción de la gravedad, sistemas de flotación, centrifugación y prensas. Estos lodos espesados son posteriormente llevados a las siguientes fases de tratamiento (por ejemplo, digestión y deshidratación). La disminución del volumen de lodos permite una reducción de la dimensión de los órganos de tratamiento que quedan aguas abajo y, también, una reducción de las necesidades térmicas, en el caso de aplicarse el proceso biológico de digestión anaerobia (temperatura mesofílica de 35 °C o termofílica de 55 C). Los líquidos separados durante el espesamiento son conducidos a la línea de tratamiento de aguas residuales.

El espesamiento de los lodos secundarios por flotación permite sustituir el decantador secundario y el espesador gravitatorio. El lodo flotado puede alcanzar una concentración del 7% (m/m), siendo una solución muy eficaz aunque use coagulantes. Esta opción se aplica principalmente en EDAR que reciban efluentes industriales y que presenten dificultades para conseguir una buena sedimentación de los lodos.

El espesamiento por centrifugación, cuando se aplica a los lodos activados, es efectuado sin adición de polímeros y permite alcanzar valores de sólidos totales del orden del 3% (m/m).

Existen en el mercado otros sistemas para efectuar el espesamiento como el filtro de banda, las prensas con tambor rotativo y las mesas espesadoras, que pueden funcionar con o sin la adición de polímeros.

b) Acondicionamiento químico y deshidratación

Esta operación, al igual que el espesamiento, tiene como objetivo reducir el contenido de humedad para favorecer las operaciones de almacenamiento y transporte. Puede ser efectuado a los lodos previamente digeridos o a los lodos brutos procedentes de los decantadores. En esta última opción, se producen más olores y su destino final está limitado al depósito en vertederos o a la incineración, debido al que el lodo deshidratado no está estabilizado.

Para efectuar la deshidratación de los lodos en las estaciones de tratamiento de media y gran dimensión se añaden coagulantes y se utilizan procesos mecánicos (como por ejemplo centrifugadoras, filtros de banda y filtros de prensa), que permiten eliminar rápidamente el agua presente en los intersticios.

Los reactivos más utilizados son de origen inorgánico, concretamente cloruro de aluminio (AlCl_3), sulfato de aluminio ($(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloruro férrico (FeCl_3) o cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y, además, polímeros orgánicos catiónicos. Estos reactivos pueden proporcionar un nivel de materia seca de 20 a 30% (m/m), siendo el FeCl_3 el más utilizado sobre todo en lodos orgánicos procedentes de tratamientos biológicos.

Posteriormente, los lodos se almacenan normalmente en silos o contenedores, donde permanecen hasta ser transportados hacia su destino final. En la actualidad, la deposición de lodos en vertederos presenta fuertes restricciones. Cada vez se hace más necesario incluir un tratamiento de estabilización para permitir, no sólo su valorización energética, sino también tener un producto almacenable, inodoro, de granulometría homogénea, posiblemente higienizado y de composición adecuada que pueda ser usado en el sector agrícola (presencia de nutrientes esenciales como el nitrógeno, el fósforo y el potasio).

Una vez efectuada la estabilización (reducción del poder de fermentación) y la deshidratación, de acuerdo con el destino final (por ejemplo, fertilización de los suelos, incineración y vertedero, entre otros), los lodos se someten a un proceso de higienización, por adición de cal, por acción térmica o por compostaje después de mezclar con otros residuos.

c) Estabilización biológica (en condiciones aerobias o anaerobias)

Los lodos separados en los decantadores son putrescibles y producen olores desagradables, siendo importante proceder a su estabilización. Esta operación puede ser efectuada por vía biológica, química o térmica o por una combinación de ellas.

La estabilización por vía biológica es la solución más utilizada y se basa en una digestión anaeróbica, que degrada las macromoléculas orgánicas de los sólidos volátiles (en ausencia de oxígeno), convirtiéndolas en biogás que puede ser usado para producir calor y electricidad

(cogeneración) y formandose un volumen más reducido de lodos biológicos, normalmente en un estado digerido o estabilizado, y, por consiguiente, mucho menos contaminante que el material inicial.

Este proceso bioquímico ocurre en tres etapas secuenciales:

- ✓ **Fase hidrolítica.** Primera etapa del tratamiento donde ocurre la hidrólisis de las moléculas orgánicas (proteínas, hidratos de carbono, celulosa y lípidos) que por la acción de enzimas extracelulares, permiten degradar estas estructuras en formas solubles, ácidos grasos orgánicos, CO₂ y amoníaco.
- ✓ **Fase acidogénica.** 2º etapa del tratamiento donde las bacterias acidogénicas transforman los compuestos anteriores en ácido acético, ácido propiónico, hidrógeno, CO₂, sulfuro de hidrógeno, así como en otros compuestos de menor masa molecular.
- ✓ **Fase metanogénica.** 3º etapa de tratamiento donde la acción de las bacterias metanogéneas permite la conversión de los compuestos obtenidos en la fase acidogénea en CO₂ y CH₄. Este biogás es de naturaleza combustible y puede ser valorizado energéticamente.

La estabilización biológica permite eliminar 35 a 50% de los compuestos orgánicos volátiles, dando origen a un producto final que no origina olores, contiene un menor número de agentes patógenos y posee, además, propiedades adecuadas para su uso agrícola (fertilizante).

La estabilización anaerobia se efectúa en tanques cerrados que garantizan la ausencia de oxígeno (digestores), a través de microorganismos anaeróbicos (en condiciones mesofílica y termofílica).

La digestión anaeróbica termofílica permite reducir el tiempo de retención en un 40% (10 días) en comparación con la digestión anaeróbica mesofílica (25 días), permitiendo además una mayor tasa de degradación de la materia orgánica y una producción superior de biogás (20%). Este proceso es muy usado en efluentes industriales alimenticios y en la fracción orgánica de la basura, siendo su aplicación más reducida en la degradación de los lodos domésticos, debido a su bajo contenido de materia seca.

El biogás producido es frecuentemente utilizado para la producción de energía eléctrica y calor en los sistemas de cogeneración, siendo este último utilizado en el calentamiento del digestor. En los digestores que tratan los residuos agrícolas y agroindustriales concentrados, el excedente de energía térmica producida se utiliza para la desinfección térmica de los residuos.

En el caso de los lodos de depuración, la concentración en materia orgánica no permite la producción de excedentes de calor que sean suficientes para su desinfección. En sistemas de gran tamaño, el soporte de la energía solar térmica asociada a la producción de calor procedente de la cogeneración podría ser una opción a considerar. En países de clima cálido o templado, los digestores a pequeña escala funcionan sin calefacción.

La estabilización biológica puede ser efectuada también por vía aerobia, usándose en este caso el oxígeno para oxidar completamente la materia orgánica. Este proceso utiliza microorganismos aerobios que descomponen fácilmente la fracción biodegradable de la materia orgánica. A pesar de que esta tecnología es más fácil de manejar y controlar que el proceso anaerobio, presenta un alto consumo de energía por la ventilación, por lo que se suele usar más a pequeña escala (por ejemplo, procesos denominados de contacto / estabilización y ventilación prolongada y en sistemas de funcionamiento estacional).

El líquido procedente de la digestión se separa y se lleva a la línea de aguas para su posterior tratamiento. La fracción sólida se somete a un acondicionamiento químico o térmico y generalmente se deshidrata por centrifugación, filtros de banda y otros dispositivos apropiados y disponibles en el mercado.

d) Estabilización por vía química

En la estabilización de los lodos por vía química, el aumento del pH a valores por encima de 12, durante períodos superiores a 24 horas, y en condiciones específicas que incluyen la adición de reactivos alcalinos (por ejemplo, hidróxido de calcio), el aumento de la temperatura para los valores superiores a 60 °C y la presencia de óxido de calcio, permiten la inhibición e inactivación (higienización) de los microorganismos existentes y la consiguiente reducción de olores desagradables.

La utilización de cal no conduce directamente a una reducción relevante de la materia orgánica, pero se aplica principalmente para impedir la actividad biológica y eliminar los microorganismos patógenos (desinfección). Esta operación suele conseguir la higienización de los lodos y alcanzar los requisitos mínimos.

Con esta operación, se logra normalmente la desinfección de los lodos y el alcance de los requisitos mínimos legales para su valorización en terrenos ácidos. La utilización de la cal también favorece el secado de los lodos a través de reacciones exotérmicas resultantes de la fijación de una molécula de agua por cada molécula de CaO.

En Portugal esta solución es habitualmente utilizada en lodos digeridos y deshidratados procedentes de estaciones de tratamiento de dimensiones media y grande. Sin embargo, la estabilización de los lodos por vía química es poco utilizada en lodos no digeridos, debido a las elevadas cargas de reactivos que se usan y a una mayor producción de emisiones gaseosas contaminantes.

e) Compostaje

Este proceso de descomposición aeróbica de materiales orgánicos permite, a través de la intervención de microorganismos en un ambiente controlado, transformar la materia orgánica en humus, reducir entre 40 a 60% la materia volátil de los lodos de depuración, disminuir su contenido de humedad por evaporación y ventilación y, además, asegurar la completa desinfección de los lodos (eliminación de agentes patógenos).

El compostaje se realiza con la mezcla de otras materias que suministran el soporte estructural, creando espacios vacíos y permitiendo intercambios gaseosos. Al añadir otras materias, baja el contenido en metales pesados de los lodos, permitiendo cumplir con los requisitos legales para su aplicación en suelos.

El éxito del compostaje está asociado a la calidad del producto final, determinada por su estabilidad y su madurez. Estos factores pueden posteriormente ampliar o limitar sus aplicaciones. Los lodos son ricos en materia orgánica y nutrientes (por ejemplo, nitrógeno y fósforo) que potencian su posible aplicación como fertilizantes o, de forma alternativa, para corregir suelos deficitarios o sujetos a erosión. Los nutrientes existentes en los lodos son elementos fundamentales para el crecimiento de las plantas siendo por sí solos esenciales para garantizar la cadena de abastecimiento alimentario.

El compostaje de los lodos requiere la adición de residuos forestales y cáscaras que forman una matriz sólida. Esta solución ha sido operado con éxito en la EDAR de Maia (Portugal), por más de 20 años y el producto obtenido es de una calidad certificada.

f) Estabilización por vía térmica

El acondicionamiento térmico permite la estabilización a través de la acción del calor que actúa como coagulante de la fracción sólida (aumento de la masa volúmica) y disminuye la afinidad con el agua, resultando una estructura gelatinosa alterada de forma irreversible. La gama de temperaturas en que el proceso ocurre varía entre los 150 °C y los 200 °C, por períodos de 30 a 60 minutos y en un ambiente presurizado.

Este proceso tiende a ser más eficiente cuanto mayor sea el contenido de materia orgánica y coloides, y presenta como resultado final, la producción de un lodo esterilizado y prácticamente sin olor, que es fácilmente deshidratable en filtros de prensa o filtros de vacío.

Este tipo de acondicionamiento es recomendado para lodos biológicos o estabilizados por vía química, siendo igualmente útil su uso antes de la digestión anaerobia pues permite solubilizar o hidrolizar alrededor de 20-40% de la materia orgánica. La tasa de solubilización o hidrolización depende de las condiciones de operación (tiempo y temperatura de calentamiento). En este tipo de aplicación, se forma una fase líquida intersticial donde se

verifica la precipitación simultánea de parte de las sustancias en solución (con excepción de los metales pesados) y del nitrógeno orgánico presente (amonificación).

g) Secado térmico

Proceso que busca reducir el contenido en humedad (evaporación del agua) de los lodos por acción del calor. Por otra parte, el secado térmico puede también usarse para aumentar el poder calorífico de los lodos antes de someterse a otros procesos posteriores (por ejemplo, oxidación térmica y peletización para uso agrícola) y, además, reduce los costes de transporte.

Los valores de reducción de la humedad obtenidos pueden alcanzar el 90% (m/m), lo que permite obtener un producto con cerca del 75-95% de materia seca y de textura generalmente granular. Este proceso tiene además la ventaja de permitir estabilizar y desinfectar los lodos, facilitando así su valorización orgánica o la incineración.

h) Incineración

Procedimiento que pretende la quema de los componentes orgánicos combustibles de los lodos dando como productos resultantes gases y cenizas. Este proceso provoca una reducción del 95% (en volumen y masa) de los lodos y una destrucción completa de compuestos tóxicos y patógenos. La incineración de los lodos podrá realizarse a través del aprovechamiento de su poder calorífico, en equipos específicos y con (o sin) previo secado térmico.

i) Inmovilización

Este tratamiento es obligatorio para lodos contaminados con sustancias peligrosas que tengan como destino final la deposición en vertedero. En la actualidad, existen productos que permiten reducir la "movilidad" de los contaminantes en los lodos, en particular el CaO, mezclas de materiales con base de cenizas de carbón y el corrector de pH y, además, otras mezclas a base de corcho, cal y elementos aglutinantes (cemento y cemento) / o yeso) con corrector de pH.

En la Tabla 6 se presentan algunos procesos termoquímicos así como una descripción genérica de las principales características, condiciones de operación y productos obtenidos

Tabla 6 - Procesos termoquímicos

Tipo de proceso	Descripción
Incineración y combustión	<p>Proceso de degradación exotérmica, en medio reactivo con exceso de oxígeno estequiométrico, que busca la eliminación del residuo <i>in situ</i> (producto final inertizado). Como consecuencia de la combustión, se obtiene un gas que contiene CO₂, H₂O, O₂ e N₂, así como otros compuestos que van a depender de las condiciones de la combustión y las características del residuo.</p> <p>La composición del residuo puede ser una de las principales desventajas de esta solución debido a las emisiones de contaminantes gaseosos a la atmósfera (por ejemplo SO₂, óxidos de nitrógeno, dioxinas e furanos), metales pesados y partículas.</p> <p>La tecnología de combustión (actualmente en lecho fluidizado) presenta algunas ventajas cuando se compara con otros sistemas de combustión: i) utilización de temperaturas más bajas, ii) la cantidad de material en el lecho inerte reduce los gradientes de temperatura en el reactor y iii) reducción de costes de operación.</p>
Pirólisis	<p>Proceso de conversión térmica de perfil endotérmico que ocurre a temperaturas entre 300 °C y 900 °C (en medio reactivo controlado) en ausencia de oxígeno. La naturaleza y la composición de los productos finales van a depender de las propiedades de los lodos tratados y de las condiciones de funcionamiento del reactor. Este proceso permite la obtención de tres fracciones, en proporciones variables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un sólido (residuo carbonáceo que contiene también material inerte presente en los lodos) • Un bioaceite (29 a 38 MJ / kg), que contiene, entre otros, ácido acético, acetona, metanol e hidrocarburos oxigenados complejos. • Un gas combustible (3.8 a 20.9 MJ / Nm³) mayoritariamente formado por H₂, CH₄ y CO₂.
Gasificación	<p>Proceso endotérmico/exotérmico que ocurre a temperaturas entre 900 y 1100°C (oxígeno) y entre 1000 y 1400°C (ar), cuya conversión térmica ocurre en deficiencia de oxígeno (en relación al valor estequiométrico para una combustión completa) y medio reactivo de atmósfera controlada.</p> <p>En este proceso se obtiene esencialmente una fracción gaseosa combustible (4 a 10MJ/ Nm³) formada mayoritariamente por CO, CO₂, H₂ e CH₄, H₂O y pequeñas cantidades de otros hidrocarburos.</p>
Mixto	Proceso que combina dos o más de los tratamientos térmicos anteriormente descritos.

2.6 TRATAMIENTO DE LOS LODOS EN EDAR DE PEQUEÑA DIMENSIÓN: DESHIDRATACIÓN /SECADO EN LECHOS DE MACRÓFITAS

En las estaciones de tratamiento de pequeña dimensión se utilizan técnicas naturales de deshidratación simple, desarrollando procesos de evaporación natural y percolación en lechos de secado o charcas de lodos.

La aplicación de lechos de macrófitas (Figura 4) permite mejorar la gestión de los lodos deshidratados en una planta depuradora, teniendo como aspecto a considerar la disponibilidad de terrenos para llevarlas a cabo.

La deshidratación de los lodos ocurre por percolación del agua a través de las capas superiores del lodo y del medio filtrante y es acelerada por la evapotranspiración y la evaporación a partir de la superficie de los lodos. La oscilación de los tallos, por acción del

viento, y un sistema de fijación constituido por rizomas facilitan la apertura de pequeños canales de drenaje a través del lecho de lodos. El agua recogida en el fondo de los lechos es reconducida nuevamente a la depuradora.

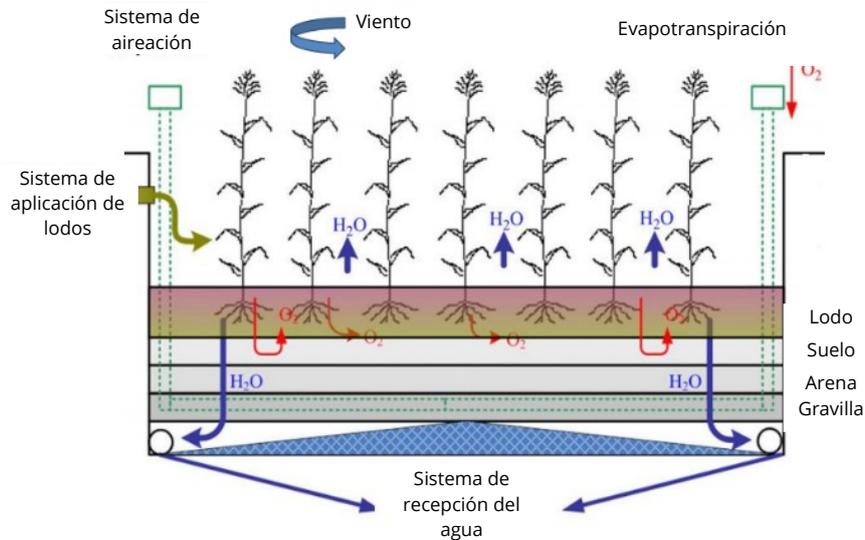


Figura 4 - Configuración de un sistema de lechos de macrófitas para la deshidratación de los lodos (Melidis et al., 2010).

El reducido suministro de oxígeno que reciben los lodos, ya sea a través de las plantas y sus raíces o bien por difusión a través de la interfaz aire-lodo, va oxidando gradualmente los lodos. Esto provoca una reducción de los sólidos volátiles y un aumento de la formación de sólidos fijos obteniéndose como producto final un lodo deshidratado con características diferentes de la inicial (el contenido de sólidos totales puede alcanzar cerca del 50% del valor inicial).

En el lecho de macrófitas, los contaminantes son eliminados a través de una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que incluyen la precipitación, la sedimentación, la absorción a las partículas del suelo, la asimilación por parte de la planta y las transformaciones microbianas. La degradación de la materia orgánica se ve afectada por las condiciones aeróbicas y anaeróbicas del lecho de macrófitas.

Si la tasa de transferencia de oxígeno es alta y permite superar la carencia de oxígeno ejercida por la carga de materia orgánica, prevalecerán las condiciones aerobias, contribuyendo a una degradación de la materia orgánica en los lechos.

En los lechos con buenos sistemas de drenaje, la mayoría de los poros están llenos de gas e interconectados con la atmósfera permitiendo, de esta forma, una rápida difusión del oxígeno a través de las raíces y los rizomas. Sin embargo, el contenido de oxígeno tiende a disminuir con la profundidad. Una disminución en la concentración de oxígeno en los lechos puede imposibilitar la respiración aeróbica al nivel de las raíces, afectando la disponibilidad de

nutrientes y facilitándose la formación de compuestos odoríferos en los lechos, resultante de la degradación anaerobia.

2.7 GESTIÓN DE LOS LODOS Y SU ENCUADRE LEGISLATIVO

El destino final de los lodos depende de varios factores, muchos de ellos debidamente encuadrados desde el punto de vista legislativo.

Así, se podrán presentar como referencia diferentes soluciones entre las cuales se puede destacar: I) Valorización agrícola y recuperación de suelos y bosques; II) Sellado de vertederos (recuperación paisajística); III) Obra civil (fábricas de ladrillos), industria y carreteras (recuperación y siembra de taludes y áreas verdes); IV) Coincineración y compostaje con residuos domésticos. Otros destinos finales disponibles para los lodos procedentes de las depuradoras son actualmente la incineración y los tratamientos termoquímicos.

El vertido en el océano fue prohibido en los años 60 por ser una práctica reconocida como contaminante del medio ambiente marino. El depósito en vertedero se encuentra en fase de restricción progresiva por la legislación comunitaria y nacional.

Aunque el contenido en nutrientes de los lodos de depuración es reducida, se consideran potencialmente muy útiles para la fertilización del suelo, el aumento de la producción agrícola y la mejora de algunas propiedades físicas y químicas del suelo (por ejemplo, la estructura, humedad y porosidad) . Asimismo, a estos beneficios se añade la posibilidad de suministrar nutrientes para las plantas, aumentar el contenido de humus y aumentar la capacidad de intercambio catiónico, así como promover la actividad biológica. Para este tipo de aplicación es particularmente importante la necesidad de que los lodos se desinfecten para reducir los agentes patógenos y se estabilicen para eliminar los problemas de producción de olores desagradables.

La incineración es una solución viable y utilizada a gran escala. La coincineración de los lodos en la industria cementera junto con otros tipos de residuos es una solución muy favorable, aunque es imperativo que estas presenten un contenido de humedad muy reducido (10%) y, por consiguiente, necesitan someterse a un secado previo.

Actualmente se proponen nuevas tecnologías basadas en procesos termoquímicos (por ejemplo carbonización, pirólisis y gasificación) que permiten la obtención de un producto final con características de combustible. Sin embargo, exigen un bajo contenido en humedad, valor difícilmente alcanzable con las técnicas de deshidratación convencionales aplicadas a los lodos. Esta situación es particularmente favorable a la adopción de tecnologías que utilizan el Sol como recurso renovable (por ejemplo, secado solar con sistemas de concentración solar térmica).

La aplicación agrícola de los residuos orgánicos, agroindustriales, lodos urbanos, residuos domésticos, lodos celulósicos u otros productos resultantes del compostaje, constituyen la forma más habitual de valorización, siendo también la más favorable desde el punto de vista ambiental, ya que permite aprovechar su potencial fertilizante.

El destino final de los lodos se encuentra regulado y debe respetar la legislación vigente, habiendo en la actualidad un marco legal apropiado.

La valorización agrícola de los lodos se somete en el ordenamiento portugués al *Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de outubro* transponiendo al ordenamiento jurídico estatal la Directiva n.º 86/278/CEE, que tienen como objeto la protección del medio ambiente y, en particular, la protección de los suelos agrícolas, estableciendo las condiciones para la correcta aplicación de los lodos de EDAR. Los principios fundamentales se basan en la protección del medio ambiente y la salud pública.

Igualmente, esta directiva:

- ✓ Establece un conjunto de restricciones al uso de los lodos en el suelo.
- ✓ Prevé procedimientos específicos de aplicación de los lodos, el tipo de tratamiento y los lugares donde éstas pueden utilizarse.
- ✓ Especifica las normas para el muestreo y el análisis de los lodos y suelos y su composición y propiedades.
- ✓ Determina los requisitos de registro de las cantidades producidas y usadas en la agricultura y la información por parte de los gestores de los lodos.

Los valores límite para las concentraciones de metales pesados en los lodos de depuración destinados a usos agrícolas y los suelos tratados, se establecen en los Anexos IA, IB e IC de la Directiva anteriormente señalada y se calculan sobre la base de una media de 10 años consecutivos.

Actualmente, esta Directiva está en proceso de revisión y cualquier actualización debe ser considerada en consecuencia. De acuerdo con las condiciones mencionadas se podrán destacar los siguientes requisitos:

- ✓ El proceso de concesión de la licencia se basa en la presencia de un Plan de Gestión de Lodos gestionado por un Técnico Responsable Acreditado que se responsabiliza de los trabajos efectuados y asegura la correcta ejecución del Plan.
- ✓ Debe definirse las condiciones relativas a la aplicación de los lodos en los suelos, basados en determinaciones realizadas a los lodos y suelos que cumplen los límites máximos de

compuestos orgánicos, de contaminación microbiológica y de metales pesados.

- ✓ La definición de las condiciones de dispersión e incorporación de los lodos en los suelos, en períodos de 24 o 48 horas y en función de la materia seca.
- ✓ La presentación de una Declaración de Planificación de las Operaciones (DPO) definiendo las parcelas que estarán sujetas su uso.

2.8 LA IMPORTANCIA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PROCESOS DE DESHIDRATACIÓN / SECADO DE LODOS Y SUS POSIBLES DESTINOS

Aunque los lodos apenas representan entre el 1 y el 3% del volumen de agua residual tratada, su gestión es muy compleja, representando un coste variable entre el 20% y el 60% de los costes totales de gestión de una EDAR (Andreoli et al. , 2007).

Teniendo en cuenta las crecientes exigencias, no sólo desde el punto de vista social sino también el ambiental, es previsible un aumento de los índices del tratamiento de las aguas residuales y, consecuentemente, un aumento de la cantidad de lodos producidos, siendo, por lo tanto, su gestión un factor fundamental para el éxito del sistema de saneamiento.

Para el tratamiento de lodos en sistemas de pequeña/mediana escala se observa una tendencia creciente al uso de tecnologías que son cada vez más eficaces en la estabilización y la eliminación de microorganismos patógenos, produciendo así unos lodos que presentan mejores características para la aplicación agrícola.

El circuito de gestión de lodos es complejo e involucra varios componentes, en particular, técnicos, operativos, organizativos y estratégicos. El mercado presenta diversas soluciones tecnológicas posibles de implementación, que pueden influir positivamente en la gestión de los lodos. Actualmente existen mecanismos de financiación para facilitar las inversiones en sistemas de tratamiento de lodos y el acceso a estos fondos por parte de las empresas.

El destino final es variado: incineración, valorización por compostaje o valorización agrícola. En todos estos métodos el secado adicional de los lodos es, a menudo, una necesidad, aportando los siguientes beneficios.

- a) Reducción del contenido de agua y, consecuentemente, de la masa y el volumen de los lodos reduciéndose los costes de transporte, operación y almacenamiento.
- b) Reducción del impacto ambiental derivado de la disminución del consumo de combustible consecuencia de la reducción del transporte.
- c) Reducción de la carga de microorganismos patógenos y estabilización de los lodos

(fermentaciones no deseadas).

d) Aumento del poder calorífico y, por consiguiente, de su potencial uso como combustible (por ejemplo incineración, coincineración o valorización termoquímica).

El secado solar es una opción potencialmente beneficiosa en comparación con los sistemas de secado convencionales ya que utiliza una energía renovable, siendo esta opción particularmente interesante en países con una elevada exposición solar como es el caso de Portugal o España.

2.9 TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. SECADO DE LODOS

2.9.1 Secado térmico

En el esquema de la Figura 5 se definen las principales etapas a realizar en un sistema de secado de lodos. El secado térmico de los lodos procedentes de una EDAR consiste básicamente en una reducción del contenido de humedad, mediante la evaporación del agua intersticial, permitiendo así reducir el volumen y la masa de lodo y asegurar su desinfección (para niveles de materia seca superiores al 90%), . Además, el secado térmico permite aumentar el poder calorífico del lodo facilitando su aplicación en los tratamientos finales que le siguen, en particular en los procesos de oxidación térmica o en las técnicas de peletización (esparcimiento agrícola).

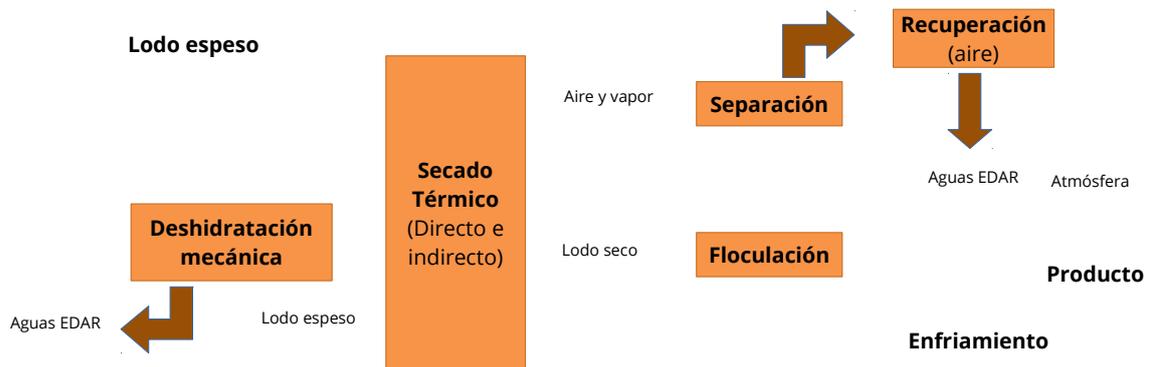


Figura 5 - Diagrama de flujo general para un proceso de secado térmico

2.9.2 Objetivos del proceso de secado

La transmisión de la cantidad de calor necesaria para alcanzar dicha evaporación se realiza normalmente mediante un fluido térmico (por ejemplo, aire, vapor o aceite), generado por una fuente externa de energía correspondiendo, en un análisis simplista, al calor latente de vaporización del agua (17.580,1 kWh). Sin embargo, en la práctica y dependiendo de la

eficiencia del proceso de secado, el calor necesario para suministrar a los secadores puede variar entre las 21.975,1-26.370,1 kWh.

Para su valorización agrícola, el lodo seco debe calentarse a una temperatura de 80 °C durante un período de 10 minutos para alcanzar un contenido de humedad inferior al 10%. Los dos principales usos de los lodos deshidratados térmicamente son i) la valorización agrícola y ii) la recuperación de energía.

Las características de los sistemas de secado dependen del uso que se quiera dar a los lodos. La cantidad de energía necesaria para el secado es muy superior a la cantidad requerida en los sistemas de deshidratación. De esta forma, en la gran mayoría de los casos, el secado de los lodos se suele realizar después de la etapa de deshidratación.

La elección de la tecnología va a depender de las necesidades y de los objetivos específicos (uso que se quiera dar a los lodos). En este sentido, se tendrán en cuenta los siguientes requisitos:

- a) Cuando el destino final de los lodos secos es el aprovechamiento energético, el contenido en materia seca en el proceso de secado deberá rondar el 40-50% (secado parcial) para facilitar la autocombustión del residuo.
- b) Cuando el destino final de los lodos secos es el monocombustible, el secado de los lodos podrá realizarse mediante la deshidratación mecánica (contenido en materia seca del 20-45%) o por sistemas de secado parcial (contenido en materia seca de 45-60 %).
- c) Cuando el destino final de los lodos secos es el almacenamiento (para uso posterior como fertilizante o combustible), se requieren sistemas de secado total para garantizar un contenido en materia seca del 90-95%. Posteriormente al proceso de secado, los lodos pueden todavía someterse a un proceso de granulación.
- d) Cuando el destino final de los lodos secos son los procesos termoquímicos (por ejemplo, pirólisis y gasificación) y la coincineración en quemadores de carbón pulverizado, es necesario el secado total de la escoria (contenido de materia seca del 90% o superior).
- e) Los lodos secos por vía térmica tienen generalmente forma de gránulos esféricos y un diámetro medio entre 2 y 4 mm.
- f) El contenido en humedad en el almacenamiento de los lodos no debe ser superior al 5-6%, ya que valores más altos pueden facilitar el crecimiento de microorganismos y originar la autocombustión del producto.
- g) El contenido en nutrientes debe variar entre 1,5 y 6,0% para el nitrógeno total mientras que

para la materia orgánica los valores deben estar comprendidos entre el 35 y el 65% del peso seco. En general, el secado térmico no disminuye de forma considerable el poder fertilizante inicial de los lodos, aunque algunos autores han reportado pérdidas de hasta un 20% del nitrógeno durante el proceso.

- h) La partícula debe presentar un tamaño homogéneo que oscile entre 1 y 3 mm y debe poseer una dureza suficiente para que no se produzca ningún polvo durante su uso.
- i) El contenido en metales pesados debe de estar de acuerdo con los límites establecidos en la legislación vigente.

2.9.3 Tecnologías para el secado de lodos

Desde el punto de vista de las tecnologías que son usadas en el proceso de secado, se observa que los lodos pasan por tres fases reológicas diferenciadas:

- a) Fase húmeda, en la cual el lodo fluye libremente pudiendo ser fácilmente dispersado sobre los tubos del calefactor (contenido en materia seca inferior a 45%).
- b) Fase viscosa, en la cual el lodo se encuentra en un estado pastoso que no le permite fluir fácilmente (contenido en materia seca entre los 50 y 60%).
- c) Fase granular, en la cual el lodo se mezcla libremente (contenido en materia seca superior a 65%).

Debido a estos cambios físicos, tecnologías de secado que tuvieron éxito con otros materiales no pueden ser usadas directamente para el secado de lodos de EDAR, ya que la fase viscosa hace imposible obtener un filtrado completamente seco. Como consecuencia, se desarrollaron dos tipos diferentes de secado, como se muestra en la Figura 6:

- ✓ Secado parcial. Cuando el bolo de filtración se seca hasta alcanzar el final de la zona húmeda.
- ✓ Secado completo. Ocurre en dos etapas, usando una técnica de recirculación en las que las partículas finas del lodo preseco se reciclan y se mezclan con el bolo del lodo deshidratado en una proporción adecuada.

La transferencia de calor al lodo puede ser de forma directa o indirecta.

- ✓ Directa. Es necesario el contacto entre el gas y el lodo.
- ✓ Indirecta. El calor se transfiere al lodo, al ser seco, por conducción a través de una superficie de transferencia. El medio de calentamiento no entra en contacto con el lodo.

Este criterio señalado anteriormente es generalmente usado para distinguir entre la dos grandes familias de tecnologías de secado térmico aplicados a los lodos de EDAR:

- ✓ Secadores Directos. Existe un contacto directo entre el medio de transferencia de calor (aire, gases de escape o vapor) y el lodo.
- ✓ Secadores Indirectos. Existe una barrera física que separa el medio de transporte de calor y el lodo.

A pesar que el secado directo presenta como ventaja principal (respecto al indirecto) la obtención de una gama de partículas más consistentes y uniformes, el uso de este sistema puede conducir a una contaminación de los lodos, aumentar la dificultad para controlar el tamaño de las partículas y los olores y presenta una menor eficiencia térmica.

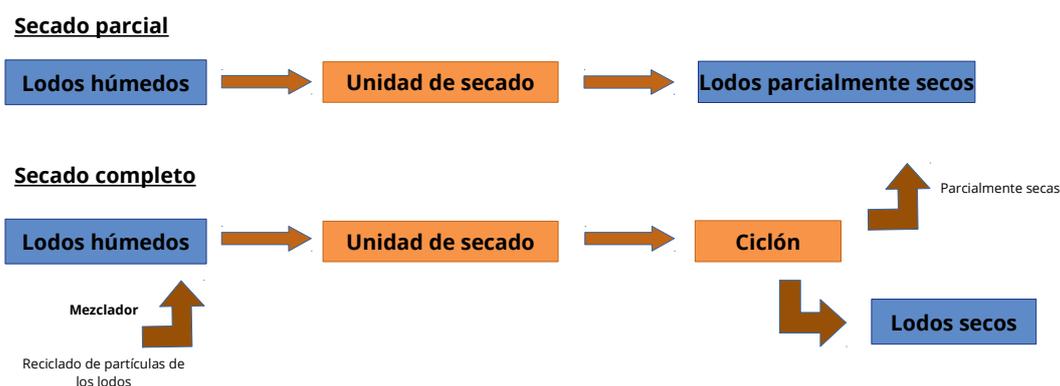


Figura 6 - Proceso de secado parcial y completo de lodos deshidratados.

2.9.4 Ventajas y desventajas del secado térmico

El proceso de secado Carver-Greenfield (C-G) (Figura) es una tecnología utilizada en el tratamiento de lodos de EDAR que permite la obtención de un producto combustible (derivado del lodo). Esta tecnología presenta un reducido consumo energético a través del uso de un secador de efecto múltiple.

En este caso, el proceso de secado ocurre en varias etapas, en las cuales el calor necesario para la evaporación es obtenido por la condensación del vapor (generado en la etapa anterior), la temperatura y una presión más elevada. De esta forma sólo es necesario usar el calor externo (vapor) en la primera etapa. Los lodos mecánicamente deshidratados son mezclados con un aceite industrial, cuyo punto de ebullición es superior al del agua, permitiendo así que la mezcla sea preseca.

Los lodos (digeridos o no digeridos), conteniendo una fracción másica en sólidos entre el 3% al 5%, pueden todavía someterse al proceso C-G, con el fin de obtener un producto con

características de combustible. Los lodos recuperados en tanques de decantación o en lagunas también pueden someterse al proceso C-G, siempre que presenten una fracción en sólidos entre el 12% y el 15%.

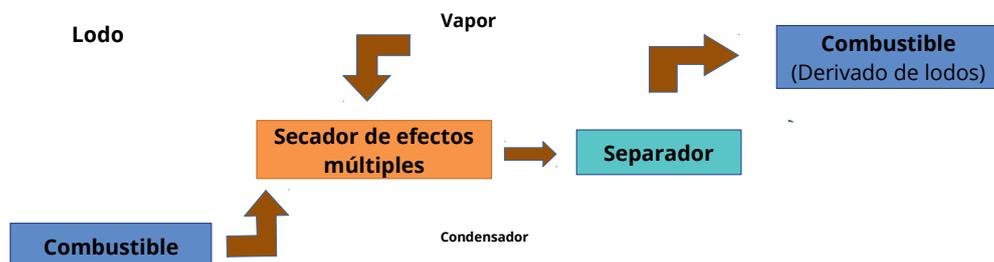


Figura 7 - Diagrama de flujo del proceso Carver-Greenfield (CG).

El aceite industrial utilizado mantiene el lodo en forma líquida incluso después de que su contenido de agua se haya reducido a valores inferiores al 5%. El aceite se separa a través de un filtro de prensa y posteriormente se recicla. El combustible producido a partir del lodo contiene un 87% de lodo sólido, un 9% de aceite y un 4% de agua y presenta como poder calorífico valores entre 16 700 y 18 000 kJ / kg.

En la Tabla 7 se presentan los valores de Poder Calorífico Superior (PCS) de diferentes tipos de lodos.

Tabla 7 - Poder calorífico superior de los diferentes tipos de lodos

Tipología de lodos	Poder Calorífico Superior (kJ/kg)	
	Intervalo	Valor Típico
Lodos primarios	23000 - 29000	25500
Lodos activados	16000 - 23000	21000
Lodos primarios de digestión anaeróbica	9000 - 13500	11500
Lodos primarios de precipitación química	13500 - 18500	13500
Lodos de filtros biológicos	16000 - 23000	20000

Como se muestra en la Figura 8, el lodo espesado se mezcla con el lodo primario y el digerido. Con posterioridad, es mecánicamente deshidratado del 5% al 18-20% de sólidos en masa, siendo posteriormente el bolo de lodo seco llevado a una unidad C-G.

En la unidad de secado, el lodo deshidratado se mezcla con un aceite ligero, dando lugar a una suspensión que, junto con el flujo de recirculación, se introduce en un tanque de homogeneización. El secado de la mezcla se produce en un sistema de evaporación múltiple en cuatro etapas. El biogás generado en la digestión anaerobia se utiliza para producir electricidad en una unidad de cogeneración, mientras que el combustible derivado de los lodos se convierte en energía (unidades de combustión, de gasificación y lecho fluidizado). El calor residual de enfriamiento de las unidades de producción de energía es utilizado para

calentar los digestores y para otros usos en la instalación, alcanzando una eficiencia térmica del orden del 70%.

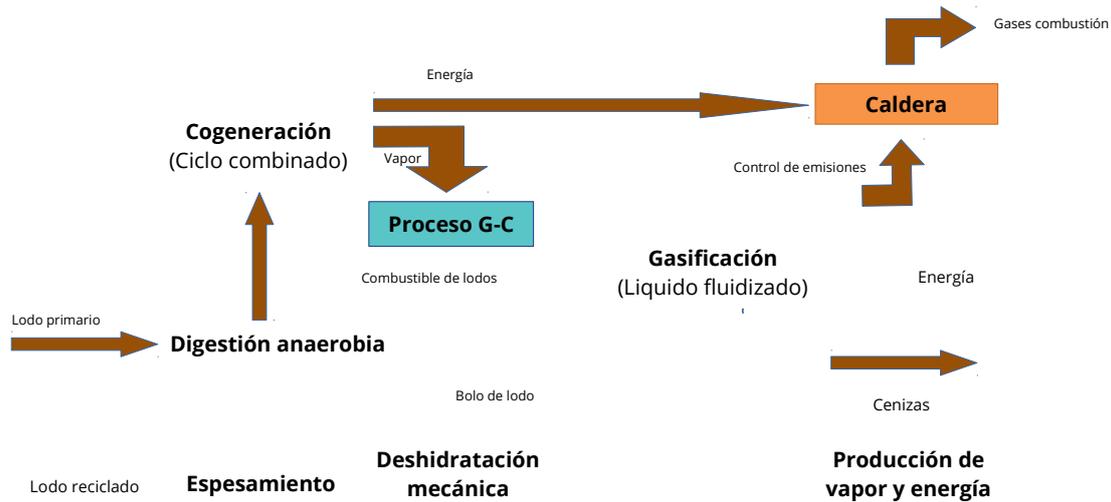


Figura 8 - Diagrama de flujo de la central Hyperion Energy Recovery System (HERS).

2.9.5 Tratamiento de la fase gaseosa

Las aguas residuales contienen un conjunto de gases disueltos resultantes, no solo de la disolución del aire atmosférico, sino también (mayoritariamente) los generados por las reacciones biológicas y químicas de los diferentes constituyentes presentes. Los principales gases producidos son el ácido sulfúrico (H_2S), el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). Estos gases, no sólo tienen un efecto negativo para la salud pública, también lo tienen para el medio ambiente provocando olores desagradables. Son corrosivos (H_2S) y contribuyen al efecto invernadero (CO_2 e CH_4).

Además, los efectos anteriormente mencionados son más intensos en determinadas fases del tratamiento de las aguas residuales en las que la formación y/o liberación de los mismos es significativamente más acentuada. De este modo, las zonas más afectadas por la formación de olores desagradables de las EDAR se encuentran principalmente en el tratamiento preliminar (que reciben los efluentes en su forma bruta) y en el tratamiento de los lodos y decantadores primario. Es frecuente, en EDAR de grandes dimensiones ubicadas cerca de zonas urbanas, la implementación de cubiertas y sistemas de desodorización de la atmósfera.

El CH_4 , principal gas constituyente del biogás producido en el curso del tratamiento anaeróbico de los lodos, es un gas combustible que presenta las características adecuadas para su valorización energética (producción de calor y / o electricidad) o, como alternativa, ser quemado antes de ser encaminado hacia su destino final (atmósfera). Sin embargo, antes de cualquier opción, éste necesita ser tratado para la eliminación del H_2S .

2.9.6 Algunas consideraciones económicas y financieras

La reutilización de aguas residuales ha cobrado cada vez más relevancia constituyéndose como una alternativa a la distribución del agua a través del servicio público de abastecimiento para diferentes fines.

Tanto los factores económicos como los financieros son especialmente importantes cuando se estudia y evalúa la viabilidad económica/financiera de un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales.

En el análisis de costes deben incluirse:

- ✓ La relación coste / beneficio.
- ✓ La transferencia de otros costes (muchas veces ocultos) a otros sectores (por ejemplo, impactos ambientales, económicos, sociales y para la salud).
- ✓ Los posibles costes de transformación y/o adaptación de las infraestructuras.
- ✓ Los niveles de tratamiento requeridos.
- ✓ El seguimiento y el cumplimiento de los estándares de los productos finales (con vistas a su utilización y / o valorización).

No obstante, se identifican un número significativo de beneficios del tratamiento adecuado de las aguas residuales, entre las que se encuentran:

- a) El valor inherente del recurso hídrico y su contribución a una gestión sostenible.
- b) Sustitución del abastecimiento para usos no potables (por ejemplo sistemas de riego públicos y privados).
- c) Mitigación de los impactos ambientales asociados a la reutilización.
- d) Valorización económica de los diversos productos finales derivados del tratamiento.
- e) Aplicación de los productos finales en la mejora de suelos (por ejemplo, la incorporación de nutrientes).
- f) Reducción del impacto ambiental (menor número de descargas contaminantes).

En relación a los costes de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento, la mayor contribución lo constituye el gasto en energía eléctrica (exceptuando las grandes instalaciones con sistemas de cogeneración) que supone más del 56% de los costes totales.

Conviene también señalar que el tratamiento de lodos implica más del 50% de los costes totales de una EDAR. El consumo de energía eléctrica se debe principalmente al funcionamiento de bombas, sopladores y ventiladores, calentamiento del digestor, deshidratación de lodo (centrifugación o filtros de banda), desinfección a través de sistemas de radiación ultravioleta y desodorización.

3 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DOMÉSTICOS

Según el Informe Anual de Residuos Urbanos de 2017 de la Agencia Portuguesa de Medio Ambiente (*Agência Portuguesa do Ambiente – APA*), en el año 2017 se produjeron 5.007 millones de toneladas de residuos domésticos en Portugal, aproximadamente un 2% más que en 2016. En referencia al destino final de los residuos domésticos tratados, la distribución es la siguiente: el 32% para eliminación en vertedero, 28% para tratamiento mecánico biológico (TMB), 21% para valorización energética, 10% para valorización material, 7 % para tratamiento mecánico y 2% para valorización orgánica.

Sin embargo, a la hora de realizar un análisis teniendo en cuenta el destino final de los residuos domésticos, la distribución en términos porcentuales varía sustancialmente: 57% para su eliminación en vertedero, 21% para valorización energética, 12% para reciclado y un 10% para compostaje/digestión (Agencia Portuguesa Medio Ambiente, 2017).

En el caso de España, la producción de residuos domésticos para el año 2014 fue de 103,3 millones de toneladas y el destino final de esos residuos tuvo la siguiente distribución: 47,9% para su eliminación en vertedero, 3,4% fueron usados para recuperación de energía, el 12,6% para backfilling y el 36,1% fueron reciclados (Eurostat, 2017).

La gestión de los residuos domésticos en Portugal y España se lleva a cabo por procesos diferenciados que al final están interconectados con objeto de obtener una disposición final más eficiente. Paralelamente, existen políticas para promover el uso eficiente de los productos y reducir la producción de los residuos domésticos (Reducción en la fuente).

En la gestión de los residuos domésticos es importante hacer una separación inicial de aquellos que pueden ser reciclados, siendo los restantes procesados con vistas a su valorización. Los residuos rechazados después de estos procesos intermedios son depositados en vertederos o incinerados, generando una potencial valoración energética resultante del aprovechamiento de la energía térmica del proceso de incineración. La Figura 9 muestra el ciclo de gestión de los residuos domésticos.

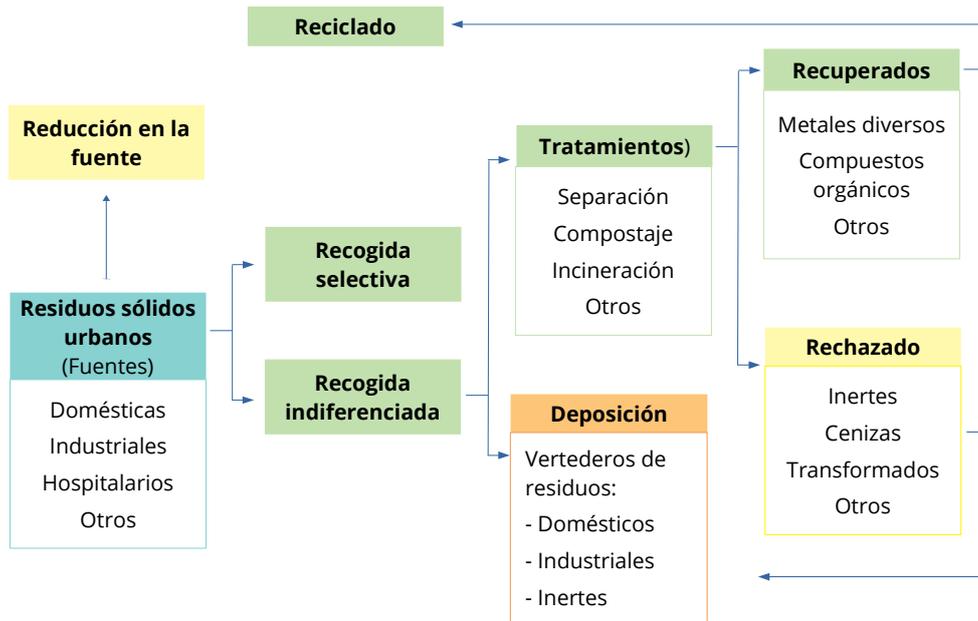


Figura 9 - Ciclo de gestión de los residuos domésticos
 (Instituto de Geociencias y Ciencias Exactas -UNESP, 2015).

La recogida de los residuos se clasifica en función del modo en el que son depositados en su fuente:

- ✓ Recogida Indiferenciada. Cuando el productor de los residuos los coloca mezclados en el contenedor destinado a tal fin.
- ✓ Recogida Selectiva. Cuando el productor deposita los residuos separados por tipología de material los ecopuntos y ecocentros.

a) Recolha indiferenciada

La recogida indiferenciada, resulta de la recogida de los residuos que son mezclados y depositados en contenedores independientemente de la tipología del residuos, por ejemplo en los contenedores de las calles o en los cajones de basura de menor tamaño (papeleras). Los residuos recogidos son entregados directamente a la Unidad de Tratamiento Mecánico y Biológico (UTMB) o a las estaciones de transferencia (ET) donde los residuos esperan a ser transportadas a una UTMB. En la Figura 10, se puede observar una estación de transferencia de la empresa GESAMB.



Figura 10 - Estación de transferencia de GESAMB.
(Fuente: GESAMB).

b) Recogida Selectiva

Los residuos son recogidos en una red de ecopuntos, así como aquellos residuos valorizables son entregados directamente en los ecocentros. Estos residuos, después de ser procesados, son llevados a los distintos recuperadores o recicladores para su correcta recepción y valorización.

La recogida selectiva tiene como objetivo la valorización de los residuos recogidos por la vía del reciclaje, asegurando la disponibilidad de la materia prima necesaria para la producción de nuevos productos y embalajes. De esta forma, se salvaguardan los recursos naturales a través de una disminución del uso de materias primas vírgenes.

Para apoyar la deposición selectiva de residuos se dispone de los ecopuntos. Los ecopuntos generalmente se componen de tres contenedores de diferentes colores, adaptados a los diferentes materiales a los que se destinan a través de la forma de los orificios para la introducción de los residuos. Algunos ecopuntos integran un recetáculo de menor tamaño destinado a la deposición de las pilas y acumuladores.



Figura 11 - Ejemplo de equipamiento para el depósito de residuos valorizables
(Fuente: GESAMB).

En la Figura 11 se muestra un ejemplo de un tipo de contenedores encontrados en los ecopuntos. Los residuos se separan en las siguientes fracciones:

- ✓ Papel y cartón. Contenedor de orificio de introducción de color azul.

- ✓ Vidrio. Contenedor de orificio de introducción de color verde.
- ✓ Embalajes de plástico y metal. Contenedor de orificio de introducción de color amarillo.
- ✓ Pilas y acumuladores. Contenedor de color rojo acoplado al contenedor de vidrio con dos pequeños orificios de formas distintas para depositar las diferentes tipologías de pilas y acumuladores.

Como complemento a los ecopuntos se ponen a disposición los denominados Ecocentros que constituyen una infraestructuras destinadas a recibir residuos reciclables que por las cantidades y/o dimensiones no pueden ser cubiertas por los circuitos normales de recogida en ecopuntos.

3.1 CLASIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN

De cara a garantizar la calidad de los materiales recogidos y trasladados a las entidades recicladoras, determinada, por una parte, a la gran heterogeneidad de los residuos existentes y, por otra, a los requisitos establecidos por aquellas entidades en cuanto a la limpieza, materias indeseables, formas de envasado, entre otros, es imprescindible la existencia de líneas de clasificación. Las líneas de clasificación normalmente se sitúan junto al vertedero, no sólo por cuestiones de la existencia de rechazos en el proceso de clasificación, sino también por razones de logística, en términos de infraestructuras, mantenimiento y gestión.

En la central de clasificación se separan los residuos plásticos, fracciones de papel / cartón, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, vidrios, metales y otros residuos. La mayor parte de la separación de estos residuos se realiza manualmente, por lo que cuanto más limpios los envases lleguen a esa fase, más fácil el trabajo de los operarios.

Posteriormente, el papel / cartón, envases de plástico y metal clasificados son llevados a las plantas recicladoras para completar el ciclo del reciclaje.

El reciclado consiste en la reintroducción de los residuos en el proceso de producción. Es un proceso que permite reducir el consumo de materias primas, el uso de energía y la contaminación del aire y del agua, al reducir también la necesidad de tratamiento convencional de la basura y la emisión de gases de efecto invernadero. Es una práctica que ayuda en la economía por la reducción de la energía gastada en los procesos de producción y por la disminución en la utilización de materia prima virgen.

3.2 TRATAMIENTO MECÁNICO Y BIOLÓGICO

El concepto de tratamiento mecánico y biológico (TMB) se utiliza generalmente para designar

la integración de varias operaciones como el triaje, el compostaje, la producción de Combustible Derivado de Residuos (en adelante CDR), entre otros. Estos procesos han sido desarrollados debido a la necesidad de reducir la cantidad de residuos que son depositados en los vertederos.

El tratamiento mecánico y biológico tiene diferentes fases, desde la recogida del residuo doméstico hasta obtener el compuesto final. La Figura 12 muestra el proceso del TMB.

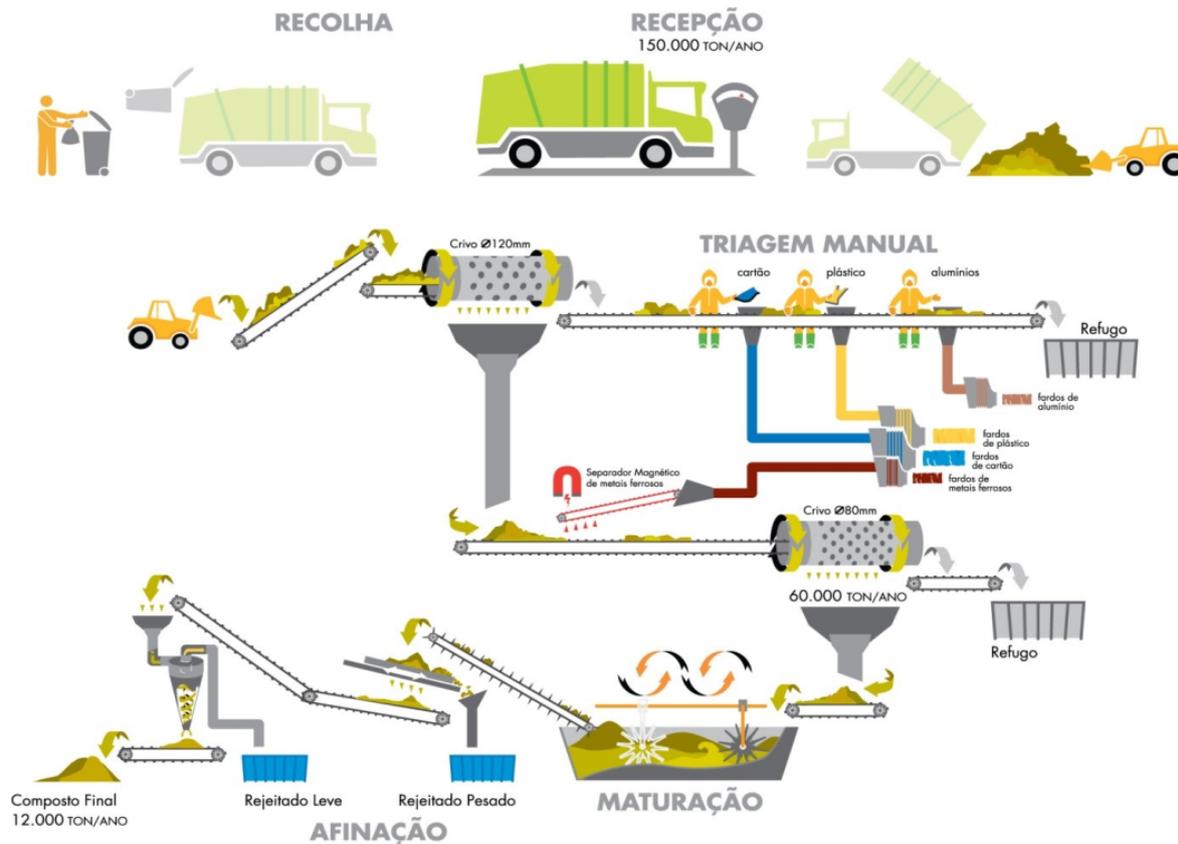


Figura 12 - Fases del tratamiento mecánico biológico (TMB)
(Thomé, 2013).

El TMB separa el sustrato (fracción orgánica de los residuos) a digerir en el sistema de compostaje. En el proceso de preparación de la fracción orgánica, y en función de las características dimensionales y tipologías de las restantes fracciones, se efectúan operaciones de separación de los diferentes componentes, para obtener la máxima recuperación de materiales reciclables.

En esta fase, los residuos están sometidos a una sucesión de operaciones de separación físicas. Concretamente, una separación granulométrica a través de un cribado para materiales de hasta 120 mm de diámetro, separación balística que promueve a división de los materiales por rodantes, planos y finos, aspiración de película, separación magnética de materiales ferrosos, lectores ópticos que identifican los materiales en función de su naturaleza y

separación por cribado para eliminar materiales de hasta 80 mm de diámetro.

La secuencia de los procesos descritos permiten la separación de los materiales reciclables existentes en los residuos domésticos. Se establecen las siguientes categorías:

- ✓ PET (Polietileno tereftalato).
- ✓ PEAD (Polietileno de alta densidad).
- ✓ ECAL (Envases de cartón para alimentos).
- ✓ Plásticos mixtos.
- ✓ Metales ferrosos.
- ✓ Metales no ferrosos.
- ✓ Películas

La restante fracción de materiales es separada en materiales con características combustibles (CDR) y los que son rechazados con destino a vertederos.

Además de la línea de procesamiento de residuos domésticos indiferenciados, la UTMB podrá poseer una línea de selección multimaterial (LTM) destinada a procesar los residuos de envases de plástico y metal procedentes de la recogida selectiva.

3.3 COMPOSTAJE

Consiste en el proceso biológico de descomposición de la materia orgánica contenida en restos de origen animal o vegetal. Este proceso da como resultado final un producto que debe permitir su aplicación en el suelo sin ocasionar riesgos para el medio ambiente. Es muy usado en el medio rural. Para ser aplicado a los residuos domésticos, se necesita que el proceso de clasificación de la fracción orgánica sea muy riguroso para liberarlo de componentes tóxicos o peligrosos.

La fracción orgánica separada en el tratamiento mecánico es trasladada a la zona del pre-compostaje, donde se efectúa la preparación del sustrato a compostar a través de la mezcla de residuos verdes y material estructurante.

Esta mezcla es posteriormente introducida en túneles (precompostaje), los cuales, una vez cargados, se cierran dando inicio al proceso de compostaje. El sustrato permanece en su interior por el período mínimo de una semana, siendo posteriormente trasladado para estabilización en un sistema abierto.

En la fase de poscompostaje (maduración) el sustrato permanece en forma de pilas sujetas a un volteo periódico, durante 10 a 12 semanas.

Cuando el compuesto está estabilizado, es transferido a la afinación, donde se efectúa la separación de inertes y materiales indeseables que serán posteriormente enviados al vertedero. El compuesto producido queda almacenado, en esta misma zona, aguardando la expedición.

3.4 VERTEDERO

Es una forma de deposición final de los residuos domésticos en el suelo, en un terreno debidamente impermeabilizado, mediante su confinamiento en capas cubiertas con material inerte, generalmente suelo, según unas normas de operacionales específicas, para evitar daños o riesgos a la salud pública y a la seguridad, minimizando los impactos ambientales.

La degradación de la fracción orgánica de los residuos domésticos depositados en el vertedero (producida generalmente en unas condiciones anaeróbicas), generan un líquido residual, muy nocivo para el medio circundante. Este fenómeno, junto con la infiltración de las aguas pluviales, conducen a la producción de las aguas lixiviantes. Estas aguas, junto con todos los efluentes producidos en todas las instalaciones, se envían a las estaciones de tratamiento de aguas lixiviantes.

El vertedero dispone también de un sistema de captación, drenaje y tratamiento del biogás. El biogás producido es capturado y aspirado para su combustión controlada. Esta puede ser una fuente para obtener electricidad y calor a través de la la cogeneración o ser utilizada para dar calor a una caldera de agua caliente en la planta de tratamiento de lixiviados.

3.5 INCINERACIÓN

Es el proceso de reducción del peso y volumen de los residuos domésticos por la combustión controlada. La incineración implica una emisión de gases y polvo que pueden provocar la contaminación de la atmósfera, la cual puede minimizarse mediante el uso de sistemas de reducción de emisiones de partículas. Está bastante difundida en países desarrollados, estando normalmente asociada a la producción de energía.

3.6 PROCESOS DE SECADO ALIMENTADOS POR ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

El calor en los sistemas de secado convencionales de media o alta temperatura es normalmente suministrado por combustibles fósiles. En sistemas de calentamiento por combustión directa, los gases de combustión son directamente usados como medio de

transferencia de calor para los procesos de secado. En los sistemas de calentamiento accionados indirectamente, el calor de combustión es transferido a través de otro fluido (aire, vapor o aceite).

El objetivo del secado es la reducción del contenido en humedad de un material por acción de la energía térmica, para dejar el material seco, generándose un producto más atractivo. (Dufour, 2006)

En el uso de los residuos domésticos como combustible alternativo se deben tener en cuenta varios parámetros. Los más relevantes son: el tamaño de la fracción combustible (orgánica) y el contenido en humedad (Karwat et al., 2014). La reducción del contenido en humedad permite un aumento del PCI, especialmente en el CDR generado después de tratamiento mecánico y biológico y de la clasificación (Mendes, 2014).

3.7 PROCESO DE SECADO EN EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS DOMÉSTICOS

Los principales procesos de secado utilizados en el tratamiento de residuos domésticos son el biosecado y el secado térmico.

a) Biosecado

Este proceso de secado corresponde a la evaporación convectiva empleando el calor generado en la biodegradación aeróbica de los residuos y la introducción de un flujo de aire.

El contenido de humedad se reduce en dos pasos:

- ✓ Las moléculas del agua pasan de la superficie de los residuos al aire circundante.
- ✓ El agua evaporada es transportada a través de un flujo de aire para ser eliminada en forma de vapor de agua.

En el caso del TMB es importante la reducción de la humedad de los residuos domésticos para aumentar la eficiencia del proceso. El biosecado es una variación de la degradación aeróbica, muy usada en TMB para el secado y estabilización parcial de los residuos domésticos (Velis et al., 2009).

Los métodos de biosecado usados actualmente son el biosecado en túneles de compostaje y el biosecado con pantallas con unas características específicas.

El método de biosecado en túneles consiste en un sistema modular que funciona con inyección de aire (ventilación) con posibilidad de adición de agua. Los túneles son cargados y descargados por procesos manuales o automáticos.

El biosecado con pantallas, requiere que el CDR esté dispuesto en una pila y cubierto por una lona, del tipo gore cover, que impide la entrada de agua, protegiendo la lluvia, pero permitiendo la salida del vapor de agua.

b) Secado térmico

De forma general, el CDR es utilizado como combustible sustituto en hornos de cemento, centrales termoeléctricas a carbón, hornos de cal, calderas industriales, etc. En todo caso, para ser utilizado como CDR necesita presentar un bajo contenido en humedad, requiriendo el uso de procesos térmicos de secado.

El objetivo del secado térmico es aumentar el poder calorífico del CDR, disminuyendo su humedad. Antes del secado, el CDR presenta una humedad entre el 40% al 50%, y después del secado alcanza valores del orden del 10%.

Los procesos de secado térmico pueden ser alimentados por el calor producido por sistemas de concentración solar térmica en régimen de cogeneración o en sistemas solares térmicos dedicados a la generación de calor. En el primer caso, el aire de secado puede ser calentado por el vapor extraído de una turbina alimentada por calor procedente de la instalación solar. Así, es posible utilizar la electricidad generada para alimentar los sistemas mecánicos utilizados en el TMB, además del suministro de energía térmica al aire caliente empleado en el proceso de secado. En el segundo caso, la instalación solar calentará un fluido de transferencia de calor que será empleado para calentar el aire empleado en el proceso de secado a través de un intercambiador de calor líquido / aire.

3.8 PROCESOS ALIMENTADOS CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Los sistemas solares térmicos convierten la radiación que podrá ser utilizada para alimentar un proceso térmico, como el secado, o almacenado para su posterior utilización.

Estos sistemas se pueden dividir en dos clases:

- ✓ Sistemas no concentradores. La radiación solar se convierte en calor a través de un absorbente, calentando un fluido de transferencia de calor. Estos sistemas utilizan radiación solar, tanto en el componente directo como en la difusa, permitiendo alimentar sistemas en la gama de las bajas temperaturas (por ejemplo, inferiores o alrededor de los 100 °C).
- ✓ Sistemas concentradores. Utilizan reflectores para concentrar la radiación solar en un receptor donde se produce la conversión de energía solar en energía térmica que calienta un fluido de transferencia de calor. Estos sistemas utilizan sólo el componente directo de

la radiación solar y permiten operar en sistemas a medias y altas temperaturas (por encima de los 100 °C).

Existen diferentes tipos de sistemas de energía solar térmica de concentración (CSP), siendo la principal diferencia el mecanismo empleado para la concentración de la radiación solar. En la Figura 13, se destacan las 4 familias tecnológicas de sistemas CSP: sistemas cilindro-parabólicos, sistemas de reflector de reflector lineal de Fresnel, sistemas de receptor central y sistemas de disco parabólico.

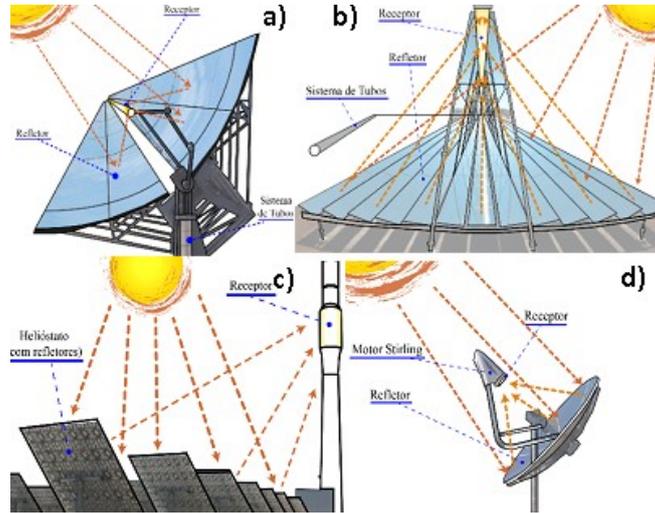


Figura 13 - Tecnologías de concentración solar térmica:
 a) Cilindro parabólico, b) Fresnel Linear, c) Torre central y d) Disco Parabólico.

Existen varios tipos de fluidos de transferencia de calor. La elección de uno u otros va a depender de la aplicación en cuestión y de la gama de temperaturas de funcionamiento, por ejemplo: agua (hasta 200°C); aceites térmicos (hasta 400 °C); sales fundidas (hasta 550 °C) y aire (hasta ~1000 °C).

Las tecnologías CST tienen diversas aplicaciones como la generación de electricidad en centrales termoeléctricas (STE O CSP), producción de calor para procesos industriales, refrigeración (aire acondicionado, producción de agua helada, congelación de productos agropecuarios), desalinización, etc.



Figura 14 - Estación de tratamiento de aguas residuales utilizando los concentradores de cilindros parabólicos para el secado de los lodos

Fuente: Helio CSP

La Figura 14 presenta un ejemplo de un sistema de secado solar de una EDAR que utiliza dos colectores cilindro-parabólicos para secar los lodos en una EDAR en Surprise, en el Estado de Arizona, EE.UU. El objetivo de esta instalación es reducir el contenido de agua de los lodos para facilitar su transporte. El municipio pretende expandir la capacidad de secado solar a 5 MW térmicos en cerca de dos años.

El **Informe PP2 - "Soluciones técnicas de secado con energía solar térmica de concentración"** presentará información más detallada sobre el uso de energía solar térmica en el proceso de secado de lodos procedentes de EDAR y residuos domésticos. Además de la aplicación al proceso de secado, la energía solar podrá utilizarse en el tratamiento de aguas residuales según se resume en los párrafos siguientes.

a) Destilación solar y desalinización de aguas residuales

La destilación del agua es un método típico de separación mecánica/física que se obtiene por procesos de evaporación y condensación. La destilación solar implica el uso de energía solar térmica para obtener la destilación. En un simple alambique de agua solar, un colector solar que absorbe la radiación solar y la convierte en calor, el cual es utilizado para evaporar el agua contenida en la cámara de destilación del alambique. El agua evaporada, como resultado de la saturación en la cámara, condensa y pasa a través de una tolva en forma de embudo al tanque de almacenamiento de destilados.

La destilación solar se puede utilizar para potabilizar el agua salada (desalinización). El primer registro de esto se remonta a los alquimistas árabes del siglo XVI. Un proyecto de destilación solar a gran escala fue construido en 1872 en Chile, resultando en una central que tenía área

de captación solar de 4 700 m², siendo capaz de producir hasta 22 700 litros por día (Cooper, 1973).

Los diseños típicos de los destiladores incluyen sistemas de inclinación única, inclinación doble (o tipo de invernadero), vertical, cónico, absorbente invertido y efecto múltiple (Tiwari et al., 2003). Los alambiques de doble inclinación son los más económicos para uso doméstico descentralizado. Las unidades activas de múltiples efectos son más adecuadas para aplicaciones de gran escala.

b) Destrucción de organismos patógenos vía solar

La destrucción de los organismos patógenos, también conocida como desinfección, es un proceso de tratamiento de aguas para el consumo que se puede realizar usando la radiación solar (a veces denominado desinfección solar - SODIS). Este fue desarrollado en la década de 1980 para desinfectar de una forma económica el agua usada para soluciones de deshidratación oral para el tratamiento de la diarrea (CDCP, 2010).

Se ha demostrado que SODIS mejora la calidad del agua y reduce la incidencia de la diarrea en países en vías en desarrollo donde los métodos sofisticados de purificación de agua no están disponibles. Presenta un gran potencial para reducir la carga global de enfermedades diarreicas, que afecta a más de 1,8 millones de personas.

La desinfección solar se logra llenando botellas de plástico de 0,3 a 2,0 litros con agua de baja turbidez, agitando el agua para oxigenarla y colocando la botella bajo el sol durante 6 horas. En caso de que el tiempo sea nublado, debe dejarse cerca de 2 días. El efecto combinado de la alteración de ADN inducida por radiación ultravioleta (UV), la inactivación térmica y la destrucción foto-oxidativa (POD), inactiva los organismos causantes de enfermedades en el agua.

SODIS cuenta en la actualidad con más de 2 millones de usuarios de 33 países. SODIS es una tecnología de coste cero que no requiere ninguna formación oficial para su aplicación.

c) Degradación de la foto catalítica solar (SPD)

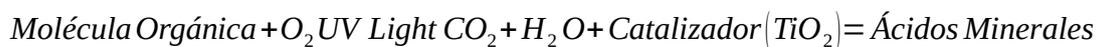
Otra aplicación de la energía solar en el tratamiento de aguas residuales es la utilización de la radiación solar UV para la fotooxidación catalítica. La fotocatalisis es la combinación de fotoquímica y catálisis, proceso en el que la luz es empleada para catalizar una reacción química. Se podría definir como una aceleración.

La fotocatalisis es una excelente herramienta para el tratamiento final de muestras que contienen Contaminantes Orgánicos Persistentes cuando se compara con los tratamientos clásicos (Doll and Frimmel, 2015; Hincapié et al., 2005).

La oxidación catalítica solar (SCO) involucra la producción de radicales, especialmente radicales hidroxilo, que degradan una amplia gama de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales, en presencia de un catalizador semiconductor y de radiación UV. En esta aplicación de la oxidación, el objetivo es purificar las aguas residuales industriales para fines como irrigación y otros usos domésticos.

Esta oxidación fotocatalítica heterogénea, que es un proceso de oxidación avanzada (AOP), que ha demostrado ser una tecnología con potencial para la bioremediación de contaminantes orgánicos en el agua (Sarria et al., 2002) y para la mejora y mantenimiento de la calidad del agua (Andreozzi et al., 1999; Comninellis et al., 2008; Matilainem and Sillanpaa, 2010).

Las reacciones fotocatalíticas se producen cuando separación de carga es inducida en un semiconductor de banda ancha por excitación con radiación ultravioleta, como se muestra a continuación.



Este método tiene la ventaja de la destrucción completa de los contaminantes orgánicos, siendo más eficaz que los procesos de purificación del agua convencionales, aunque sea lento y más difícil de usar o mantener. Los sistemas de radiación UV por lámparas o producción de ozono son más costosos (Bahnmann, 1999), lo que justifica el interés en usar aplicaciones que empleen catálisis y energía solar.

Durante las últimas décadas se han presentado diferentes estudios enfocados en procesos avanzados de oxidación basados en la irradiación solar, foto-Fenton y catálisis heterogénea con UV / TiO₂ (Safarzadeh-Amiri et al., 1996). En los últimos años se han producido varias revisiones (Malato et al., 2002; Marco et al., 1997; Rodríguez et al., 2002; Sarria et al., 2002; Scott, 1995; Scott and Ollis, 1996).

Los sistemas utilizados en aplicaciones fotocatalíticas son similares a los colectores solares térmicos convencionales. El fluido debe exponerse a la radiación solar ultravioleta, por lo que el absorbente debe ser transparente para permitir la penetración de la radiación. No se aplica ningún aislamiento térmico, ya que la temperatura no desempeña ningún papel importante en el proceso. En la figura 15 se muestra una vista de un fotoreactor solar típico.

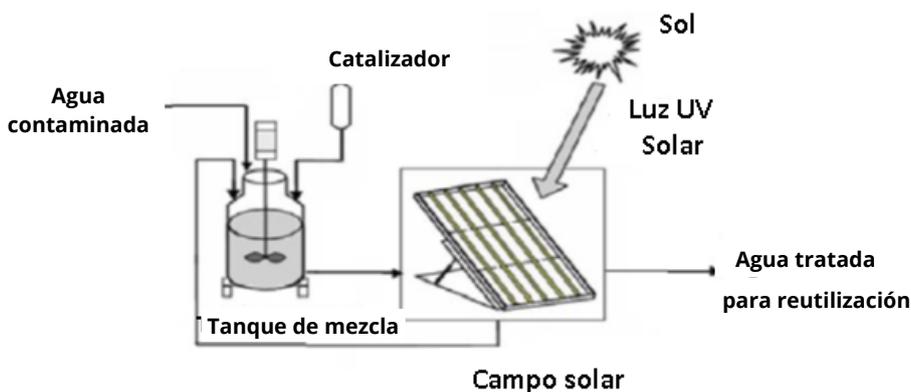


Figura 15 - Reactor Fotográfico Solar
(Adaptado de CSEM - United Arab Emirates, 2013).

La reacción de oxidación avanzada que se utiliza en el tratamiento de contaminantes orgánicos clasificados como biorecalcitrante (no biodegradable), es una degradación fotocatalítica. Se aplica en tecnologías de tratamiento de aguas para contaminantes orgánicos no tratables por técnicas convencionales debido a su alta estabilidad química y/o su baja biodegradabilidad (Gogate and Pandit, 2003; Pera-Titus et al., 2004).

Los procesos que involucran la producción y la posterior reacción de radicales hidroxilo (OH), de los cuales se destacan los TiO_2 / UV , $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{UV}$, Foto-Fenton e ozono (O_3 , O_3 / UV , $\text{O}_3 / \text{H}_2\text{O}_2$), son ampliamente utilizados debido a sus características poco selectivas (lo que lo hace muy útil en el tratamiento de la contaminación) y su versatilidad (existen diferentes posibilidades de producción de radicales OH), permitiendo así una mayor adaptación a las características específicas del tratamiento.

La fotocatalisis solar es una reacción de degradación que busca mineralizar los contaminantes existentes en las aguas residuales en dióxido de carbono, agua y productos orgánicos (Malato, 2007). Los contaminantes eficientemente mineralizados por fotocatalisis son normalmente efluentes de industrias que contienen colorantes (Guillard et al., 2003), pesticidas (Burrows et al., 2002, Marinas et al., 2001) y los efluentes de la industria del papel (Peiró et al. (2001), así como otros gases residuales (Hay and Obe, 1999; Kamat et al., 1996).

En la degradación fotocatalítica, el compuesto orgánico original se transforma para eliminar su toxicidad y persistencia. El átomo de carbono es oxidado en CO_2 . Los demás elementos inorgánicos, como el nitrógeno, se mineralizan principalmente en NO_3^- y NH_4^+ , aunque de acuerdo con algunos autores (Guillard et al., 2003), los iones amonio son relativamente estables, depende su proporción principalmente de la cantidad de oxidación del nitrógeno orgánico y del tiempo de irradiación.

Los contaminantes organofosforados (principalmente pesticidas) producen iones fosfato para una gama de pH generalmente inferior a 4, permaneciendo adsorbidos en el TiO_2 cuando se

utilizan como agente oxidante (Shifu and Gengyu, 2005). Los compuestos aromáticos se convierten en compuestos alifáticos, sin embargo, a medida que la concentración y el número de contaminantes aumentan, el proceso se vuelve más complicado, creando problemas de cinética (disminución de la velocidad de las reacciones) causada principalmente por la baja eficiencia fotoeléctrica (Malato , 2007).

Existen dos procesos avanzados de oxidación que permiten el uso de la luz solar como fuente de energía: La fotocatalisis heterogénea usando semiconductores y la fotocatalisis homogénea usando procesos foto-Fenton (Fujishima et al., 2000; Pirkanniemi and Sillampaa, 2002). La fotocatalisis de TiO_2 emplea la luz solar UV (o casi UV - 300 a 400 nm) y la fotocatalisis heterogénea foto-Fenton utiliza la luz solar hasta una longitud de onda de 580 nm. La concentración se logra mediante el uso de concentradores de foco de línea como el colector cilindro-parabólico o el concentrador parabólico compuesto.

d) Combinación de fotocatalisis solar y el tratamiento biológico

Además de los desarrollos que aumentan la tasa de reacción fotocatalítica, el progreso más importante en la fotocatalisis solar en los últimos años está relacionado con su combinación con el tratamiento biológico y la aplicación de métodos analíticos toxicológicos (Malato, 2007). Ambos planteamiento han tenido éxito en la disminución del tiempo de tratamiento, lo que es otra manera de aumentar la eficiencia general del proceso, en contraste con el aumento de la tasa de reacción en sí. La combinación reduce el tiempo de tratamiento y optimiza la economía general, ya que el sistema de desintoxicación solar puede ser significativamente menor (Férrnandez-Alba et al., 2002; Gumy et al., 2006; Malato et al., 2003).

4 INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS DOMÉSTICOS

El potencial de uso de la energía solar térmica en un determinado proceso depende, no sólo de las características intrínsecas al proceso, si no también de la ubicación geográfica de la instalación, ya que ésta dependerá del recurso solar disponible. Esta sección identificará las principales instalaciones de tratamiento de Alentejo y Algarve en Portugal y Andalucía en España (Figura 16). Se observa que en el caso de Alentejo, la región considerada en este documento no engloba la totalidad de la NUTS-II Alentejo, sólo la región cubierta por la Comisión de Coordinación y Desarrollo Regional del Alentejo.



Figura 16 - Localización geográfica do Alentejo, Algarve e Andalucía.

4.1 ALGARVE

En la región del Algarve:

- ✓ La gestión de los residuos domésticos es llevada a cabo por la empresa Algar, Valorización y Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos S.A. (Algar).
- ✓ El tratamiento de aguas residuales es llevada a cabo por Águas do Algarve, S.A. (AdA).

La Figura 17 identifica geográficamente las ubicaciones de los principales vertederos y EDAR en el Algarve.



Figura 17 - Ubicación de los vertederos y EDAR en el Algarve
(Adaptado de Google Maps).

1. Verterero de Barlavento da Algar, ubicado en la localidad de Porto de Lagos (Municipio de Portimão).
2. Verterero de Algar, ubicado en Sotavento Algarvio.
3. EDAR de Boa Vista de la empresa AdA, ubicada en la localidad de Carvoeiro (municipio de Lagoa).
4. EDAR de Albufeira Poente de la empresa AdA, ubicada en la localidad de la Guia (municipio de Albufeira).
5. EDAR de Almargem de la empresa AdA, ubicada en la localidad de Cabanas de Tavira (municipio de Tavira).
6. EDAR de Companheira de la empresa AdA, ubicada en la localidad de Companheira (Municipio de de Portimão).
7. EDAR de Faro Noroeste de la empresa AdA, ubicada en la localidad de Montenegro en el municipio de Faro.
8. EDAR de Lagos de la empresa AdA, ubicada en la localidad de São Sebastião, municipio de Lagos.
9. EDAR de Olhão Naciente de la empresa AdA, ubicada en la localidad de Quelfes, municipio de Olhão.
10. EDAR de Faro de la empresa AdA, ubicada en la localidad, municipio de Albufeira.
11. EDAR de Vila Real del Santo António de la empresa AdA, ubicada en el sitio de Carrasqueira en la localidad y municipio de Vila Real de Santo António.
12. EDAR de Vilamoura de la empresa AdA, localizada en la localidad de Quarteira, municipio de Loulé.

4.1.1 Residuos domésticos – Algar

Algar es la empresa de referencia en el sector ambiental en la región del Algarve. Se encarga de la gestión de los residuos domésticos y su actividad engloba el sistema integrado de recogida selectiva, la transferencia, la clasificación de los materiales destinados al reciclaje, el aprovechamiento energético del biogás producido en los vertederos, el compostaje de residuos y el tratamiento de los residuos domésticos depositados en el vertedero.

Algar (Figura 18) gestiona los residuos domésticos de los 16 municipios del Algarve (Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, São Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António), cubriendo una población de 440.543 habitantes en un área de 4.997 km².



Figura 18 - Mapa de la región del Algarve con la infraestructura de Algar
(Fuente: GESAMB).

Las infraestructuras de Algar para el tratamiento de los residuos domésticos consisten en:

- ✓ Vertederos
- ✓ 3 Centrales de valorización orgánica.
- ✓ 8 Estaciones de transferencia.
- ✓ 3 Estaciones de compostaje de residuos verdes.
- ✓ 1 unidad de tratamiento mecánico y biológico.
- ✓ 1 unidad de tratamiento mecánico.
- ✓ 1 centro de educación ambiental.
- ✓ 2 estaciones de clasificación.
- ✓ 13 ecocentros.

Los vertederos de Algar fueron diseñados con cuatro células de almacenamiento cada uno, pero sólo se hicieron dos. En el caso del vertedero de Sotavento se espera que en 2019 se concluya la tercera célula, esperándose obtener un volumen de recepción de 1.200.000 m² para la deposición de residuos, lo que permitirá una capacidad total estimada de 130 mil toneladas de residuos al año. En el vertedero del Barlovento está también en construcción una tercera célula.

En el año 2017, se produjeron casi 390.000 toneladas de residuos en el Algarve. La Figura 19 presenta la evolución de la evolución de los residuos domésticos procesados por Algar. La Figura 20, representa los porcentajes de tratamiento y el porcentaje de los destinos finales de los residuos domésticos en el Algarve.

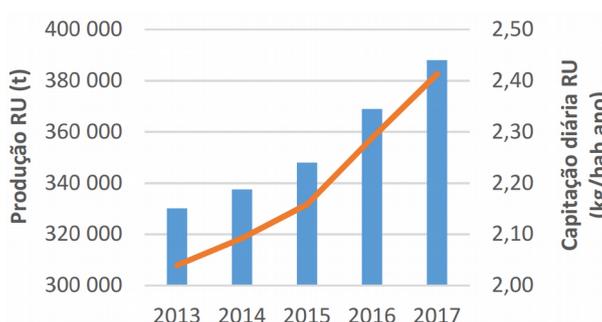


Figura 19 - Evolución de la captación de residuos doméstico en el Algarve por la empresa Algar.
(Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente)

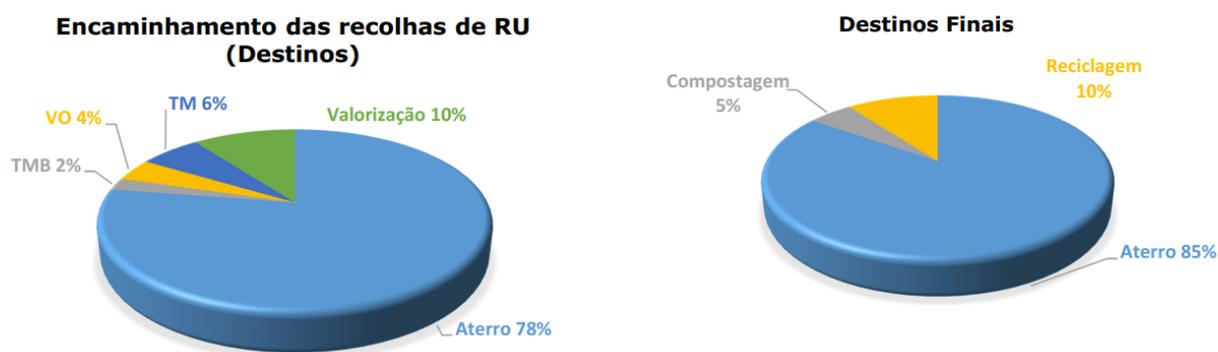


Figura 20 - Gráfico de los destinos de los residuos domésticos en el Algarve
(Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

4.1.2 Aguas residuales – Águas do Algarve

Águas do Algarve SA (AdA) es una empresa privada de capital público en el que la Administración Central, a través de la empresa Aguas de Portugal, SGPS, SA, participa con la mayor parte de la capital social, y capital restante se distribuye entre los municipios del Algarve.

Aguas do Algarve, S.A. fue creada en agosto de 2000 siendo la concesionaria, por un período

de 30 años, de los Sistemas Multimunicipales de Abastecimiento de Agua y Saneamiento del Algarve, abarcando los 16 municipios de la región. Da servicio a cerca de 450 mil habitantes en temporada baja y cerca de un millón y medio en temporada alta tanto en el abastecimiento y distribución de agua como en el tratamiento de efluentes domésticos.

El Sistema Multimunicipal de Saneamiento del Algarve (SMSA) (Figura 21) está compuesto por 66 infraestructuras permitiendo el tratamiento de cerca de 42,5 millones m³ de agua residual por año. La producción anual de lodos es de 55 mil toneladas y en los meses de verano (julio a septiembre) la producción mensual de lodos aumenta cerca del 60% con respecto a los demás meses del año.

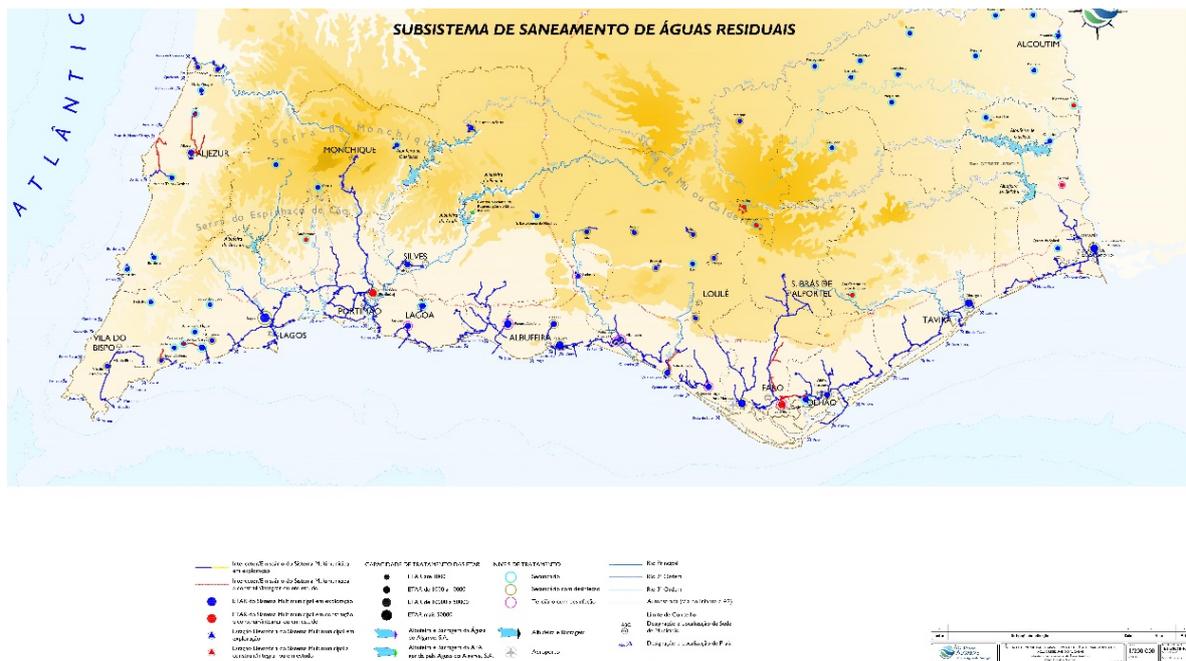


Figura 21 - Sistema multimunicipal de abastecimiento de agua y saneamiento de aguas residuales del Algarve. (Fuente: Águas do Algarve).

4.2 ALENTEJO

La gestión de los residuos domésticos en la región de Alentejo es llevada a cabo por las empresas: GESAMB (Gestão Ambiental e de Resíduos, E.I.M.), RESIALENTEJO (Tratamento e Valorização de Resíduos, E.I.M), AMCAL (Associação de Municípios do Alentejo Central), AMBILITAL (Investimentos Ambientais no Alentejo, E.I.M.), VALNOR (Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A).

Las empresas Agda (Aguas Públicas del Alentejo, S.A), AdSense (Aguas de Santo André, S.A) y Adca (Aguas del centro del Alentejo, S.A.) son las empresas responsables del tratamiento de aguas residuales en la región de Alentejo.

La Figura 22 se muestra la localización geográfica de las principales estaciones de tratamiento mecánicas y biológicas de los residuos domésticos y las EDAR en Alentejo.

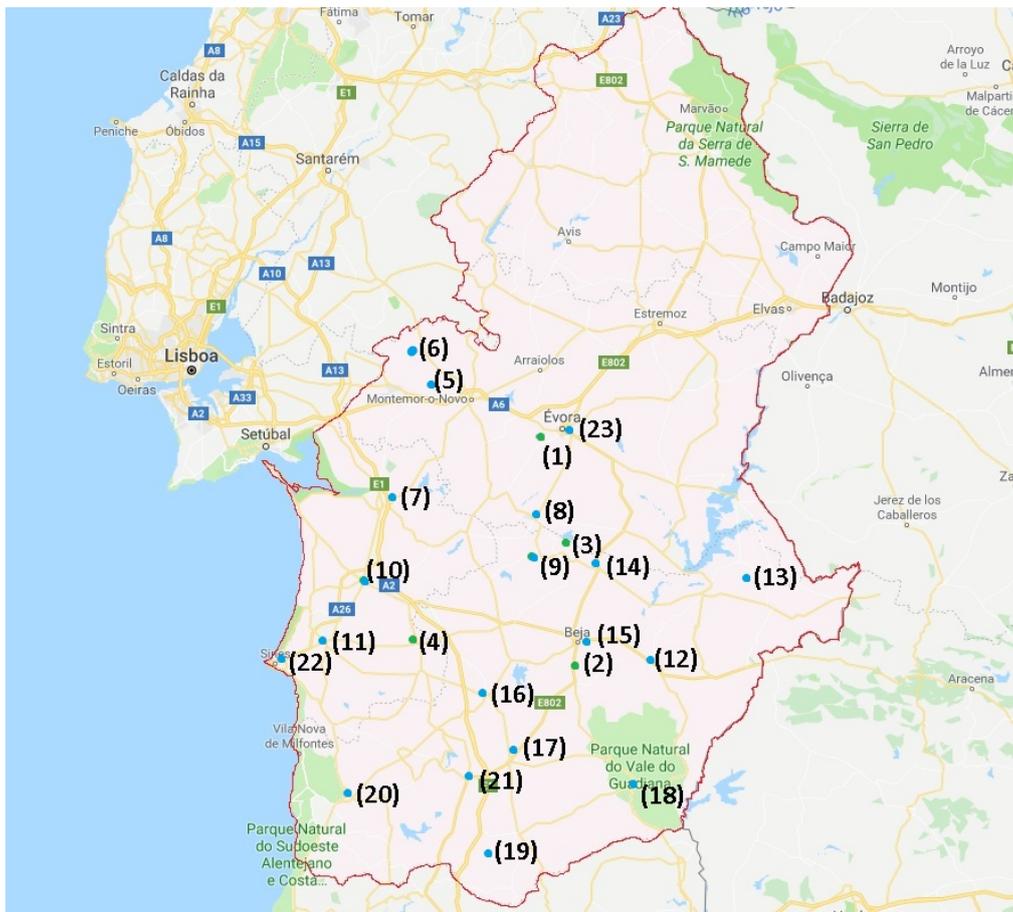


Figura 22 - Localización de los vertederos y las EDAR en la región de Alentejo
 (Adaptado de Google Maps).

1. Vertedero y UTMB de GESAMB, localizado en la localidad de Pormarinho (Municipio de Évora).
2. Vertedero de la empresa RESIALENTEJO, ubicado en la carretera de la localidad de Santa Clara de Louredo en el distrito de Beja.
3. Vertedero de la empresa AMCAL, localizado en la localidad Vila Ruiva (Municipio de Cuba).
4. Vertedero de AMBILITAL, localizado en la localidad de Ermidas do Sado (Municipio de Setúbal).
5. EDAR de la empresa AgdA, localizado en la ciudad Montemor-o-Novo (Distrito de Évora).
6. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la ciudad de Vendas Novas (Distrito de Évora).
7. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la ciudad de Alcácer do Sal (Distrito de Setúbal).

8. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa Viana do Alentejo (Distrito de Évora).
9. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa Alvito (Distrito de Beja).
10. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa Grândola (Distrito de Setúbal).
11. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la ciudad de Santiago do Cacém (Distrito de Setúbal).
12. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la ciudad de Serpa (Distrito de Beja).
13. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la ciudad de Moura (Distrito de Beja).
14. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa de Vidigueira (Distrito de Beja).
15. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la ciudad de Beja capital (Distrito de Beja).
16. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa Aljustrel (Distrito de Beja).
17. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa Castro Verde (Distrito de Beja).
18. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa raiana Mértola (Distrito de Beja).
19. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa Almodôvar (Distrito de Beja).
20. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa Odemira (Distrito de Beja).
21. EDAR de la empresa AgdA, localizada en la villa Ourique (Distrito de Beja).
22. EDAR de la empresa Águas de Santo André localizada en Ribeira de Moinhos (Municipio de Sines).
23. EDAR de la empresa Águas do centro do Alentejo, localizada en la ciudad de Évora capital del Distrito de Évora.

4.2.1 Residuos domésticos - GESAMB

GESAMB es una empresa intermunicipal de capital mayoritariamente público que integra los municipios de Alandroal, Arraiolos Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mora, Mourão, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Vendas Novas y Vila Viçosa, abarcando una población de aproximadamente 144.163 habitantes en un área de 6.400 km, donde en 2017 se produjeron 78.525 toneladas de residuos domésticos.

Las infraestructuras de GESAMB están señaladas de forma esquemática en la Figura 23. Estas consisten en:

- ✓ 1 Vertedero localizado en la ciudad de Évora.
- ✓ 1 Central de valorización orgánica localizada en la ciudad de Évora;
- ✓ 1 unidad de tratamiento mecánico biológico ubicada en la ciudad de Évora.
- ✓ 1 estación de clasificación ubicada en la ciudad de Évora.
- ✓ 4 estaciones de transferencia ubicadas en Borba, Montemor-o-Novo, Mora y Reguengos de Monsaraz.
- ✓ 7 ecocentros localizados en los 7 municipios que administra GESAMB.



1. Vertedero y EDAR, centro de triaje, Ecocentro, Unidad de valorización de RCD y tratamiento mecánico y biológico.
2. Estación de transferencia y Ecocentro de Borba.
3. Estación de transferencia y Ecocentro de Montemor-o-Novo
4. Estación de transferencia y Ecocentro de Mora
5. Estación de transferencia y Ecocentro de Reguengos de Monsaraz.
6. Ecocentro de Estremoz.
7. Ecocentro de Vendas Novas.

Figura 23 - Infraestructuras que pertenecen a GESAMB. Fuente: GESAMB.

En la Figura 24 se muestra el diagrama de flujo de las infraestructuras em funcionamiento y los correspondientes flujos de residuos para el año 2017.

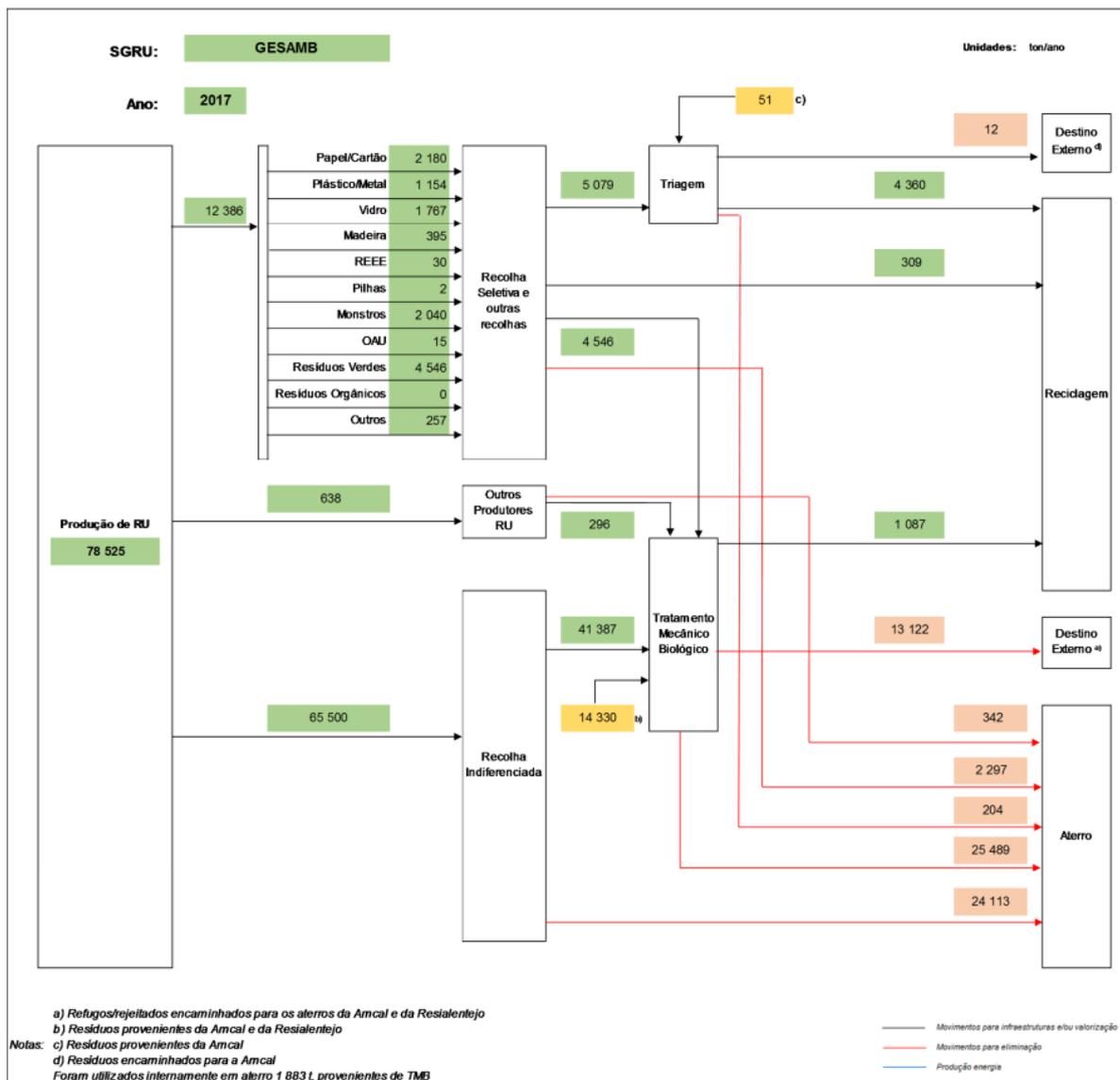


Figura 24 - Flujograma de las operaciones de tratamiento de residuos domésticos en GESAMB.

GESAMB, desarrolla su actividad desde 2004, siendo el responsable de la gestión y explotación del Sistema Intermunicipal de Valorización y Tratamiento de Residuos Urbanos (SIRU) del Distrito de Évora. El SIRU es un conjunto de operaciones de acondicionamiento y transporte de los residuos y de soluciones de tratamiento, valorización y / o destino final, que responden a los objetivos generales y sectoriales de intereses de la región y de las prioridades de la política nacional y comunitaria en esta materia.

Caracterización física de la materia residual

Las cantidades medias mensuales recepcionadas oscilaron entre las 5.923 toneladas (febrero) y las 7.370 toneladas (diciembre) de 2015, siendo el valor promedio mensual aproximadamente de 6.834 toneladas.

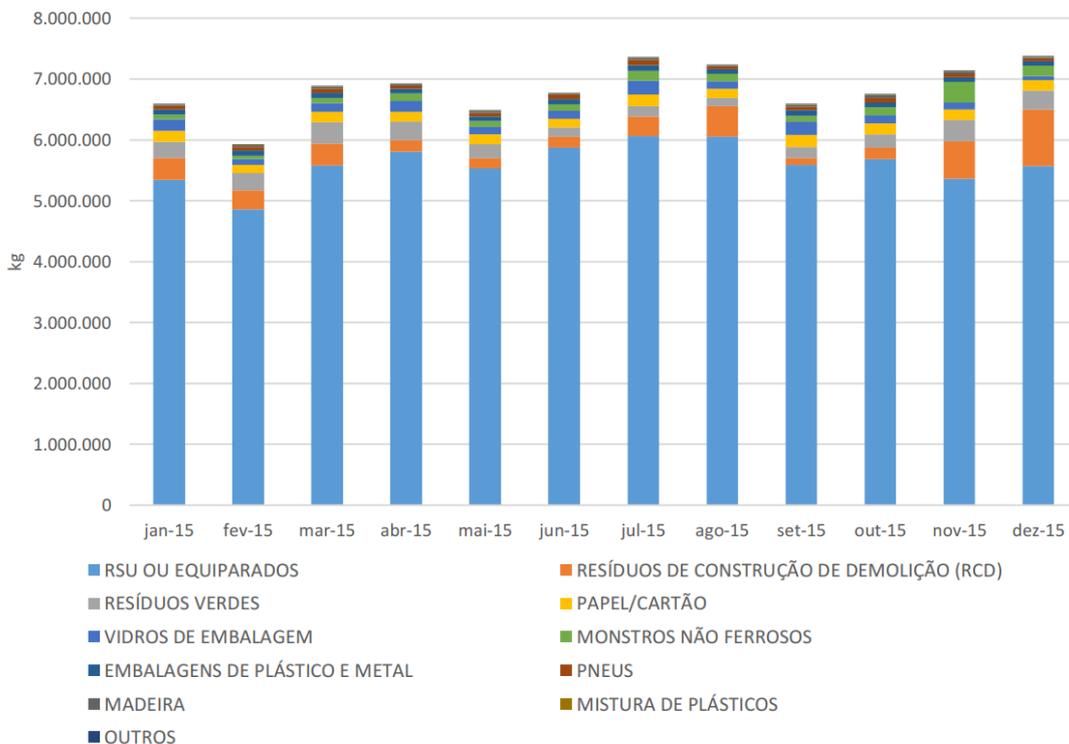


Figura 25 - Cantidades mensuales de materia residual recepcionada (2015).
 (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

Materia Residual depositado en el vertedero

El proceso utilizado en el deposito de residuos domésticos en el vertedero de GESAMB es el habitualmente utilizado en este tipo de instalaciones: la descarga de los residuos se realiza directamente en la zona de trabajo, posteriormente son esparcidos y compactados con el equipo de operación.

En el año 2015 fueron depositados en el vertedero cerca de 41,2 mil toneladas de material residual (aproximadamente 13 mil toneladas corresponden a residuos depositados directamente en el vertedero, la otra fracción a residuos procedentes de la UTMB). En la tabla siguiente se resumen las cantidades relativas a los años 2014 y 2015.

Tabla 8 - Cantidades anuales de material recepcionado y depositado en el vertedero (2014-2015).

Año	Total recepcionado (t)	Fracción depositado em vertedero	
		t	%
2014	80.965	66.712	82,4
2015	81.994	41.189	50,2

Materia Residual Valorizable

Los residuos procedentes de la red de recogida selectiva son llevados a las entidades gestoras

que se encargan de su respectiva valorización. En el año 2015, se recibieron 10.184 toneladas de residuos y el 71,9% (7.320) fueron procesados y valorizados. Los valores cuantitativos asociados a cada tipo de residuo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 9 - Material recepcionado (recogida selectiva).

Materia Residual	Cantidades (t)
Vidrio	1 730,3
Madera	304,2
Neumáticos	725,6
Papel / Cartón	2 011,3
Embalajes de plástico y metal	1 015,3
Grandes residuos metálicos	21,1
Equipamiento eléctrico	22,7
Pilas/acumuladores	0,1
Mezcla de plásticos	91,8
Aceite doméstico usado	9,3
Aceite mineral usado	3,4
Residuos de construcción y demolición	4 249,0
Total	10.184

Materia Residual Procesada en la Unidad de Tratamiento Mecánico Biológico

La UTMB procesó, en 2015, 57.664 toneladas de residuos domésticos indiferenciados. El balance de masa asociado a esta unidad se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10 - Entradas y salidas de material (RSU Indiferenciados) en UTMB (2015).

Entrada de materia residual (t)	57.664
Salidas	
Compostaje (t)	27.506
Refrescos (t)	28.434
Reciclables (t)	1.724

Además de la línea de procesamiento general de residuos domésticos, la UTMB está constituida por una línea de selección multimaterial (LTM) destinada a procesar los residuos de embalaje de plástico y metal procedentes de la recogida selectiva. A través de esa línea se procesaron, en 2015, 774 t de este material, con una recuperación de alrededor del 60% (464,4 t).

Materia sometida al proceso de Compostaje

En concordancia con lo expuesto en la tabla anterior, en 2015 fueron sometidas al proceso de compostaje, 27.506 toneladas de residuos domésticos separadas en la UTMB. En la Tabla 12 se presentan las cantidades mensuales, referentes al año de referencia.

Tabla 11 - Cantidades mensuales de residuos domésticos separados en la UTMB.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
994	1.325	2.153	1.932	1.932	3.000	1.811	2.010	2.385	1.720	3.875	4.369	27.506

A esta cantidad se añaden cerca de 2.730 toneladas de residuos verdes. El material procesado por un triturador a gasóleo es usado como material estructurate en los túneles de compostaje.

Producción de CDR

La línea de producción de CDR en GESAMB se instaló en marzo de 2015 y se concluyó en septiembre del mismo año. Entre octubre y el final de 2015, la línea registró algunos períodos de funcionamiento. Sin embargo, las dificultades de salida de este producto y los correspondientes costes operativos asociados llevaron a que la operación de esta línea se suspendiera temporalmente. En este contexto, es necesario mejorar la calidad del producto final, promoviendo menores niveles de humedad en el mismo.

Tratamiento de Lixiviados

El depósito en vertedero como destino final de los residuos domésticos es una de las formas más económicas de tratar los mismos. Un aspecto importante es la capacidad que se tiene para retener, captar, tratar y monitorizar el lixiviado producido.

Las aguas lixiviantes, derivadas de la infiltración de aguas pluviales en el relleno, son reconducidas para ser tratadas en dos Estaciones de Tratamiento de Aguas Lixiviantes (ETAL).

En GESAMB existen dos ETAL: la "ETAL I", que cuenta con capacidad para tratar 60m³/día, y la "ETAL II", con una capacidad para tratar 120m³/día. El tratamiento se realiza por ósmosis inversa en ambas instalaciones. El resumen de los datos de producción referentes a los años 2014 y 2015, se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12 - Tratamiento de lixiviados (ETAL – GESAMB 2014 e 2015).

Parâmetro	ETAL I		ETAL II		Total instalação	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Entrada de Lixiviado (m ³)	18.003	11.853	33.425	24.430	51.428	36.283
Saída de Permeado (m ³)	10.526	5.498	22.833	10.727	33.359	16.225
Rendimento	58,5	46,4	68,3	43,9	64,9	44,7
Horas funcionamento unidade (h)	6.426	4.428	7.243	5.255	13.669	9.683
Disponibilidade ETAL	73	51	83	60	-	-
Caudal de lixiviado tratado (m ³ /h)	2,8	2,7	4,6	4,6	3,8	3,7
Caudal de lixiviado tratado (m ³ /día)	67	64	111	112	90	90

Destinos

En la Figura 26 se muestra los distintos destinos directos de los residuos domésticos en

Portugal entre 2012 e 2017.

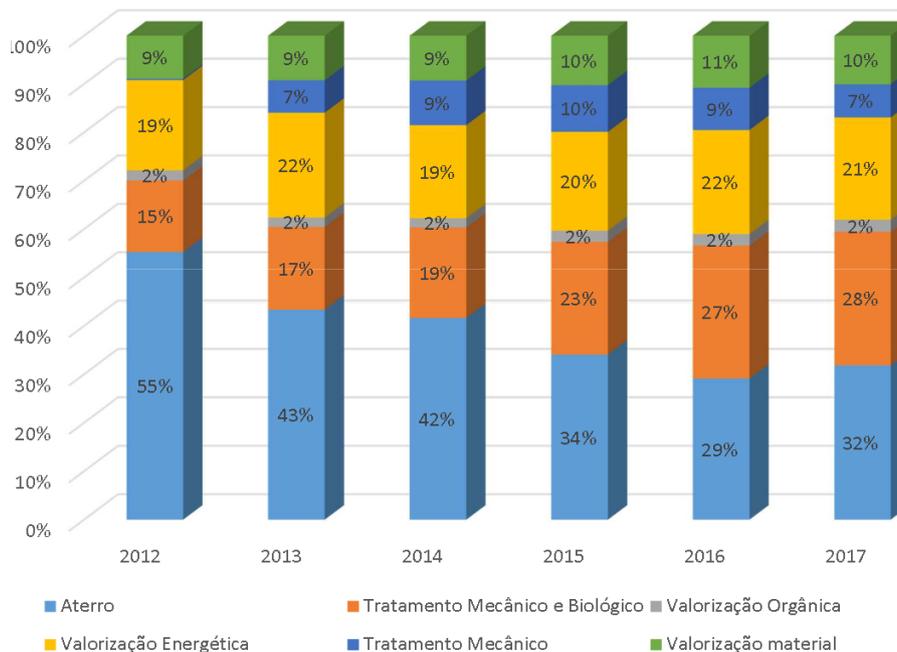


Figura 26 - Destino de los residuos domésticos.
(Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

4.2.2 Residuos domésticos – Asociación de Municipios de Alentejo Central (AMCAL)

AMCAL es la empresa que gestiona los residuos domésticos de la región situada en la Zona Central del Alentejo, comprendiendo cinco municipios con 26 518 habitantes, de los cuales tres municipios pertenecen al distrito de Beja (Cuba, Alvito y Vidigueira) y dos al distrito de Évora (Portel y Viana do Alentejo). En esta región se producen cerca de 12.500 toneladas de residuos domésticos al año.

La infraestructura de la empresa AMCAL está formada por:

- ✓ 1 vertedero, localizado en Vila Ruiva en el municipio de Cuba.
- ✓ 1 Estación de Clasificación, localizada en Vila Ruiva en el municipio de Cuba;
- ✓ 5 Ecocentros, localizados en los municipios de Portel, Viana do Castelo, Alvito, Vidigueira y Cuba.
- ✓ 2 Estaciones de transferencia, localizadas en Portel y Vidigueira.

El vertedero se localiza en la EM 258 al km 5,33, en Vila Ruiva, municipio de Cuba. Tiene un volumen total de 337 063 km³, que corresponde un período de vida de 20 años, siendo el más

pequeño sistema de tratamiento de residuos sólidos domésticos del país. Se encuentra en funcionamiento desde junio de 1999, y permitió el sellado de 16 vertederos, hasta mediados de 2001.

AMCAL es la responsable de la gestión del vertedero y del Centro de Clasificación y es responsabilidad de los municipios asociados la gestión de los Ecopuntos, de los Ecocentros y de las estaciones de transferencia.

En 2017, se trataron casi 12.500 toneladas de residuos por la empresa AMCAL. A continuación en la Figura 27 presenta la evolución de la capitación de residuos domésticos por la AMCAL.

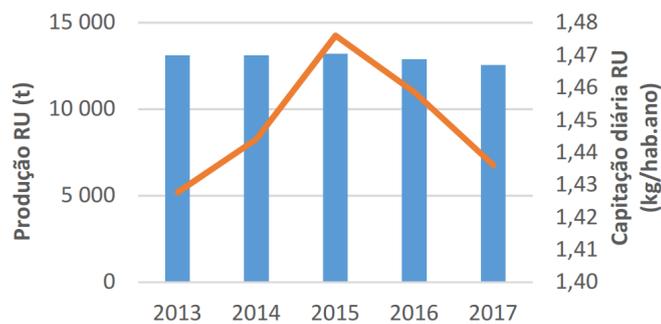


Figura 27 - Evolución de la capitación de los residuos domésticos desde 2013 hasta 2017 por la empresa AMCAL. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente)

La Figura 28 muestra los porcentajes de los diferentes tratamientos y destinos finales de los residuos domésticos gestionados por AMCAL.

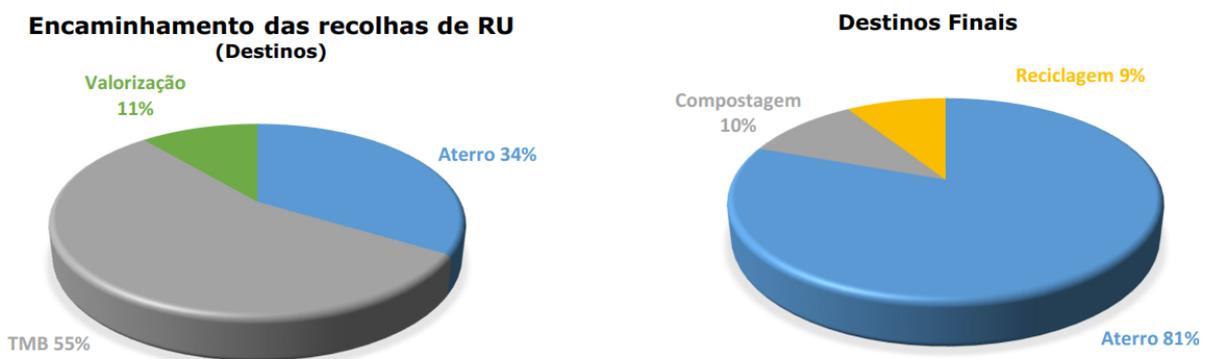


Figura 28 - Destinos finales de los residuos domésticos tratados por la empresa AMCAL (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente)

4.2.3 Residuos domésticos - RESIALENTEJO

La empresa RESIALENTEJO se encarga de los residuos domésticos de los municipios de Almodôvar, Barrancos, Beja, Castro Verde, Mértola, Moura, Ourique e Serpa. La Central de Tratamiento Mecánico y Biológico (CTMB), recibe cerca de 30.799 toneladas por año de

residuo doméstico.

RESIALENTEJO dispone de la siguiente infraestructura:

- ✓ 1 Vertedero localizado en Herdado do Montinho en el Distrito de Beja.
- ✓ 1 Unidad de Tratamiento Mecánico y Biológico.
- ✓ 1 Estación de Clasificación ubicada en Herdado do Montinho en el Distrito de Beja.
- ✓ 5 Ecocentros ubicados en los municipios de Barrancos, Beja, Serpa, Castro Verde y Mértola.

En 2017 se procesaron casi 46.000 toneladas de residuos. La Figura 29 presenta la evolución de la capitación de residuos domésticos por la empresa.

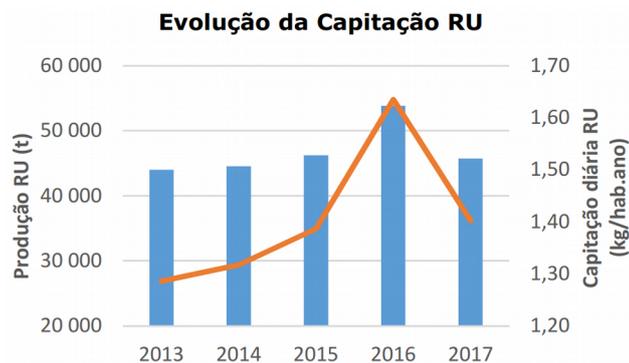


Figura 29 - Evoluci3n de la capitaci3n de residuos dom3sticos desde 2013 hasta 2017 por la empresa RESIALENTEJO

(Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

La Figura 30 muestra los porcentajes de los diferentes tratamientos y destinos finales de los residuos dom3sticos gestionados por la empresa RESIALENTEJO.

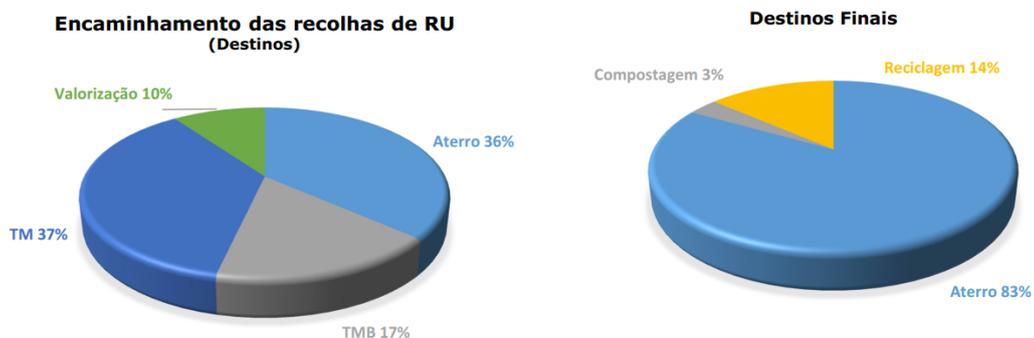


Figura 30 - Destinos finales de los residuos dom3sticos gestionados por la empresa RESIALENTEJO.

(Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

4.2.4 Residuos domésticos - AMBILITAL

AMBILITAL desarrolla su actividad en los municipios de Alcácer do Sal, Aljustrel, Ferreira do Alentejo, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém y Sines, en un área de 6.416 km², una población de 115 437 habitantes, siendo el responsable por la producción aproximada de 60 mil toneladas anuales de residuos domésticos.

La infraestructura de AMBILITAL está compuesta por:

- ✓ 1 vertedero localizado en Ermidas-Sado en Santiago do Cacém.
- ✓ 1 Unidad de Tratamiento Mecánico - Biológico localizado en Ermidas-Sado en Santiago do Cacém.
- ✓ 2 Unidades de Producción de CDR.
- ✓ 1 Estación de Clasificación localizada en Ermidas-Sado en Santiago do Cacém.
- ✓ Ecocentros ubicados en los municipios de Alcácer do Sal, Aljustrel, Ferreira do Alentejo, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém y Ermidas-Sado.

En el año 2017 se procesaron casi 62.000 toneladas de residuos por la empresa. La Figura 31 presenta la evolución de la capitación de residuos sólidos urbanos por la empresa.

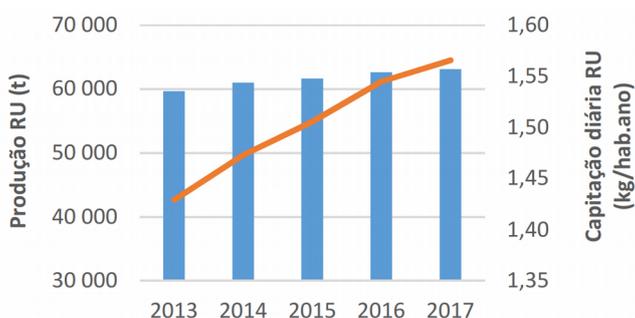


Figura 31 - Evolución de la capitación de residuos domésticos desde 2013 hasta 2017 por la empresa AMBILITAL. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

La Figura 30 muestra los porcentajes de los diferentes tratamientos y destinos finales de los residuos domésticos gestionados por la empresa AMBILITAL.

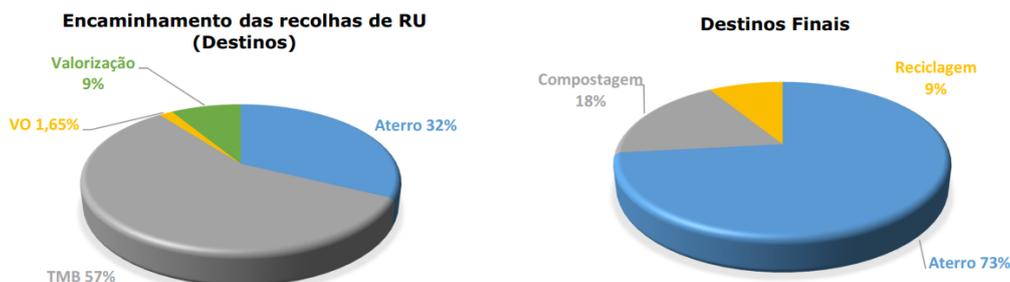


Figura 32 - Destinos finales de los residuos domésticos gestionados por la empresa AMBILITAL (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

4.2.5 Residuos domésticos – VALNOR

VALNOR desarrolla su actividad en los municipios de Abrantes, Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo Branco, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Idanha-a-Nova, Mação, Marvão, Monforte, Nisa, Oleiros, Ponte de Sor, Portalegre, Proença-a-Nova, Sardoal, Sertã, Sousel, Vila de Rei y Vila Velha de Ródão, en un área de 11.980 km², una población 249.762 habitantes, siendo responsable por la producción aproximada de 115.000 toneladas anuales de residuos domésticos.

La infraestructura de VALNOR está compuesta por:

- ✓ 2 Vertederos localizados en Avis y Castelo Branco.
- ✓ 1 Unidad de Tratamiento Mecánico - Biológico localizado en Avis.
- ✓ 2 Unidades Producción de CDR.
- ✓ 2 Centrales de Clasificación localizadas en Avis y en Castelo Branco.
- ✓ 15 Ecocentros.

En el año 2017 se procesaron cerca de 116.000 toneladas de residuos por la empresa. En la Figura 33 se muestra la evolución de la capitación de residuos domésticos por la empresa.

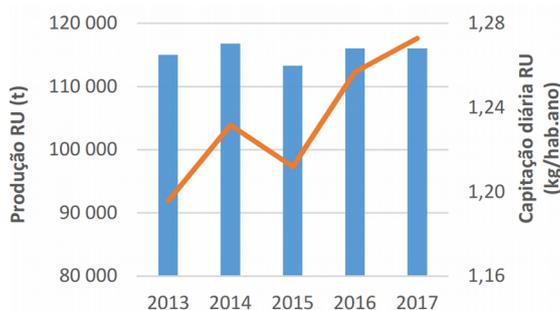


Figura 33 - Evolución de la capitación de residuos domésticos desde 2013 hasta 2017 por la empresa VALNOR.
(Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

La Figura 34 muestra los porcentajes de los diferentes tratamientos y destinos finales de los residuos domésticos gestionados por la empresa VALNOR.

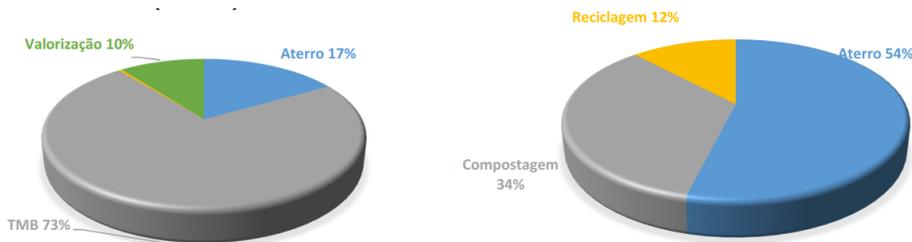


Figura 34 - Destinos finales de los residuos domésticos gestionados por la empresa VALNOR.
(Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).

4.2.6 Aguas residuales – Águas Públicas do Alentejo

Águas Públicas do Alentejo (AgdA), fue constituida en 2009, siendo la encargada de la gestión integral, los servicios de abastecimiento de agua y del saneamiento de aguas residuales de los municipios de Alcácer do Sal, Aljustrel, Almodôvar, Alvito, Arraiolos, Barrancos, Beja, Castro Verde, Cuba, Ferreira do Alentejo, Grândola, Mértola, Montemor-o-Novo, Moura, Odemira, Ourique, Santiago do Cacém, Serpa, Vendas Novas, Viana do Alentejo y Vidigueira. Cubre un área de 169.783 habitantes.

Las infraestructuras asociadas al tratamiento de las aguas residuales gestionadas por la empresa Aguas Públicas del Alentejo se dividen de acuerdo con lo presentado en la Tabla 13.

Tabla 13 - Perfil del sistema de saneamiento de Aguas Residuales en el año 2016 de la empresa AgdA.
(Fuente: AgdA).

Perfil del sistema de saneamiento de aguas residuales	
Estaciones de tratamiento de aguas residuales	106
Fosas sépticas colectivas	22
Licencias de descargas	52
Longitud total de los colectores	123
Estaciones elevadoras	29
Emisarios submarinos	0
Índice de conocimiento infraestructural (en 200)	125
Índice de gestión patrimonial de infraestructuras (en 200)- en pruebas	2
Índice de medición de caudales (en 200) – en pruebas	11

De las 106 EDAR de AgdA, sólo 22 están en operativas, siendo 2 en Vendas Novas, 3 en Serpa, 2 en Aljustrel, 2 en Santiago do Cacém, 1 en Montemor-o-Novo, 1 en Alcácer de la sal , 1 en Viana do Alentejo, 1 en Alvito, 1 en Grândola, 1 en Moura, 1 en Vidigueira, 1 en Beja, 1 en Castro Verde, 1 en Mértola, 1 en Almodôvar, 1 en Odemira y 1 en Ourique.

4.2.7 Aguas residuales – Águas de Santo André

Aguas de Santo André es la empresa que trata las aguas residuales de los municipios de Santiago do Cacém y Sines. Abarca en un área rectangular, de unos 104 km² y tiene como objeto la recogida, transporte, tratamiento y descarga final de las aguas residuales urbanas, industriales y salinas producidas en el área de influencia de la concesión.

A este sistema confluyen diferentes tipologías de agua residual em función de su origen:

- ✓ Agua residual urbana procedente de la localidad de Santo André y de parte de la ciudad de Sines.
- ✓ Agua residual industrial procedente de las empresas instaladas en la Zona Industrial y Logística de Sines (ZILS).
- ✓ Agua residual salina, procedente del sistema de desmineralización y de purgas de las

torres de refrigeración de las unidades de producción de las empresas Petrogal, y Repsol, Artlant y Air Liquide, establecidas en la Zona Industrial y Logística de Sines.

- ✓ Agua residual lixiviada procedente de los vertidos de residuos domésticos.
- ✓ Agua residual procedente de fosas sépticas de clientes puntuales.

En líneas generales, el sistema está constituido por:

- ✓ 1 red de drenaje, con varios emisarios, que, en su totalidad, presentan una extensión de cerca de 62 km.
- ✓ 11 estaciones elevadoras.
- ✓ 1 estación para inyección de oxígeno.
- ✓ 2 cuencas de retención con capacidad para 5.000 m³ y 7.000 m³.
- ✓ 1 EDAR
- ✓ 1 emisario submarino de 2,4 km.

Una de los principales componentes del sistema es la EDAR de Ribeira dos Moinhos, ubicada en la margen derecha de la Ribeira dos Moinhos, al norte de la ciudad de Sines. Esta depuradora ha sido concebida para el tratamiento de las aguas residuales industriales de ZILS junto con las aguas residuales urbanas de Sines, la Ciudad de Vila Nova de Santo André y, en el futuro, de Santiago do Cacém. En la actualidad, además del agua residual industrial, se recibe el agua residual urbana de la ciudad de Vila Nova de Santo André, de la ciudad de Santiago do Cacém y parte del agua residual de la ciudad de Sines.

La EDAR, que ocupa un área de cerca de 9,2 ha, en su proyecto inicial, fue dimensionada para un caudal de 2 m³/s, habiendo sido ejecutada apenas la primera fase, para un caudal nominal de 0,5 m³/s para una población equivalente de 360.000 habitantes equivalentes. Entró en funcionamiento en 1981 y trata, actualmente, una media de 0,25 m³/s.

El proceso de tratamiento utilizado es el de lodos activados por aireación convencional (en media carga), cuya línea de procesamiento está constituida por el tratamiento de la fase líquida, tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y, por último, el tratamiento de la fase sólida.

4.2.8 Aguas residuales – Águas do Centro do Alentejo

Aguas del centro del Alentejo es la empresa que realiza el tratamiento de las aguas residuales de las áreas urbanas del distrito de Évora. Existen, en total, 15 sistemas de tratamiento (13 EDAR y 2 fosas sépticas).

Los procesos de tratamiento varían según las características del agua, sus volúmenes, los condicionantes locales y las necesidades existentes en las diferentes áreas urbanas. En el

municipio se utilizan los siguientes procesos: lodos activados, lagunas de estabilización y fosa séptica con / sin órgano complementario.

La EDAR de Évora es del tipo lodos activos, siendo el volumen de las aguas residuales tratadas en esta depuradora corresponde cerca del 80% del total tratado en el municipio. Las poblaciones rurales disponen de diversos sistemas de tratamiento, siendo los procesos mas comunes las lagunas de estabilización y los lodos activados.

4.3 ANDALUCÍA

El tratamiento de aguas residuales ha seguido una evolución muy positiva. En 1984 funcionaban en Andalucía 55 plantas depuradoras. En el año 2016, el número de depuradoras asciende a 695, considerando tanto las construidas (668) como las que están en construcción (27). Estas depuradoras benefician a una población de 7.118.859 personas, que suponen un 87,60% de la población total no diseminada de Andalucía.

En la Figura 35 se muestra la distribución de las plantas de tratamiento por provincia.

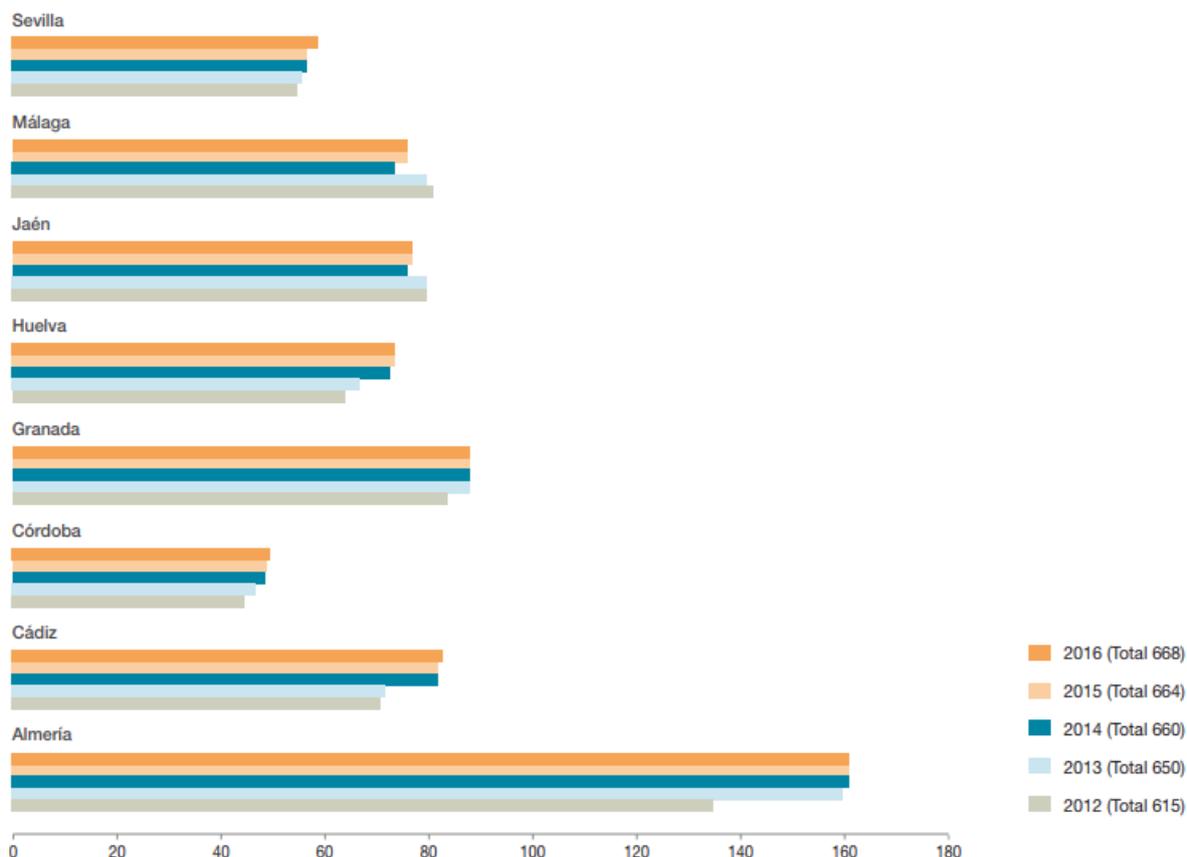


Figura 35 - Estaciones de tratamiento de aguas residuales en Andalucía. Número de estaciones de tratamiento de agua construidas. (Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio).

La Tabla 14 muestra el número de depuradoras por tecnología para poblaciones con más de

2.000 habitantes. Se selecciona este rango de población ya que en poblaciones de menor tamaño resulta técnica y económicamente inviable la implantación de sistemas de secado térmico.

Tabla 14 - Número de Estaciones de Tratamiento para poblaciones >2 000 habitantes.
(Fuente: Junta de Andalucía).

Cuenta de Tratamiento secundario	Rótulos de columna								Total general
	Almería	Cádiz	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén	Málaga	Sevilla	
Biofiltración en lechos inundados		2							2
Contactador biológico rotativo	7	6	7	6		7	7		40
Decantación secundaria					7				7
Fangos activos alta o media carga sin nitrificación	9	35	13	27	17	12	30	38	181
Fangos activos baja carga con nitrificación-desnitrificación	40	8	17	7	32	16	30	22	172
Fangos activos con eliminación biológica de N y P							2		2
Filtro de turba	19	2	1	10		1	2	4	39
Filtro percolador	8	13	1	6	7	5	8	8	56
Humedal artificial				1				1	2
Laguna de estabilización							1		1
Laguna facultativa	21		1			1	2	1	26
MBR	5								5
Total general	109	66	40	57	64	41	82	74	533

En la Figura 36 muestra la ubicación de las 387 EDAR en Andalucía.

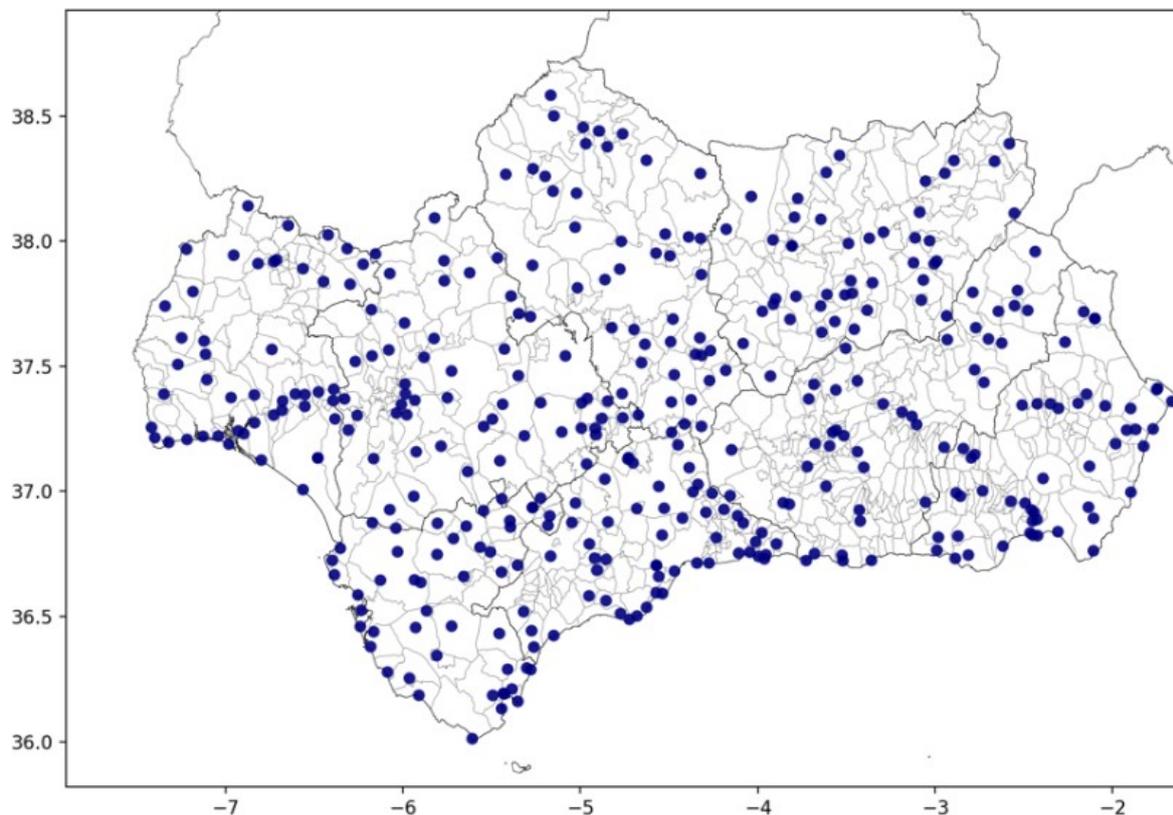


Figura 36 - EDAR en Andalucía. (Fuente: Solar Concentra- Solatom CSP s.1).

La Tabla 15 presenta la distribución de EDAR conectadas con capacidades superiores a 2 000 habitantes equivalentes de acuerdo con el tipo de tratamiento aplicado y el correspondiente tratamiento de carga contaminante.

Tabla 15 - Tratamientos utilizados en la provincias de Andalucía. (Fuente: CENTA).

Provincia	Población	Con tratamiento primario	Con tratamiento secundario	Con un tratamiento más estricto que el secundario
ALMERIA	686.475	34	34	4
CADIZ	1.570.836	41	40	12
CORDOBA	935.436	34	34	12
GRANADA	937.174	26	26	6
HUELVA	648.844	36	32	19
JAEN	525.614	32	31	5
MALAGA	2.159.947	43	42	21
SEVILLA	2.335.382	39	39	17
Total general	9.799.708	285	278	85

Para entender la estructura de la administración pública en el tratamiento de aguas residuales y la distribución territorial de las EDAR en la región de Andalucía es necesario considerar lo expuesto en la Ley 9/2010, del 30 de julio. Esta ley regula, entre otros, el ciclo integral del agua, en el cual se encuentra enmarcado la depuración de aguas residuales urbanas, comprendiendo su intercesión y transporte, su tratamiento y la disposición de los efluentes en las masas de agua continentales o marítimas.

Esta ley regula igualmente el ejercicio de las competencias de la Comunidad Autónoma y de las entidades locales andaluzas en el tratamiento de aguas con el objetivo de alcanzar su protección y uso sostenible, estableciéndose las competencias a los municipios en materia de recursos hídricos, gestión y prestación de servicios, ciclo integral del agua para uso urbano y tratamiento de aguas residuales urbanas.

La ley establece que los servicios municipales pueden ser gestionados por las diputaciones provinciales y entidades supramunicipales. Los servicios de gestión de aguas asumidos por las entidades supramunicipales deben ser suministrados bajo cualquiera de las formas de gestión directa o indirecta previstas en la legislación vigente. Por tanto, en cada provincia de Andalucía, los municipios con gestión propia de las EDAR coexisten con otros que comparten su gestión con entidades supramunicipales o Diputaciones provinciales.

A continuación se presentan los principales sistemas de gestión supramunicipal en las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz (objeto de estudio del proyecto SECASOL).

PROVINCIA DE HUELVA

En esta provincia existen en la actualidad 74 EDAR. La empresa GIAHSA gestiona como entidad supramunicipal la mayoría de las EDAR de la provincia. La Empresa Municipal de Aguas de Huelva, S. A. (EMAHSA) gestiona la totalidad de las aguas residuales de la ciudad de Huelva. Esta EDAR está destinada a servir a una población estimada de 180.000 habitantes, con un flujo diario de 58.500 m³.

PROVINCIA DE SEVILLA

En Sevilla se encuentran las siguientes empresas gestoras de aguas residuales: Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, S.A. (EMASESA), ALJARAFESA, PLAN ÉCIJA y AGUAS DEL HUESNA.

EMASESA tiene seis EDAR, con una capacidad de tratamiento de más de 494.000 m³/día. De estas 6, 5 son afines a 11 municipios del Área Metropolitana de Sevilla: El Copero, Ranilla, San Jerónimo, Tablada y El Ronquillo. Además, EMASESA presta servicios los municipios de Coria del Río y Puebla del Río, aunque las aguas residuales se tratan en la EDAR de Guadalquivir, administrada por ALJARAFESA. Además, comparte la gestión de la EDAR de los Alcores con AGUAS DEL HUESNA, ubicada en el municipio de Mairena del Alcor.

La empresa pública ALJARAFESA gestiona el tratamiento de las aguas residuales en 29 municipios del Aljarafe sevillano, perteneciente a la entidad intermunicipal del Aljarafe. Tiene 5 estaciones de tratamiento ubicadas en Aznalcóllar, Castilleja del Campo, Palomares del Río (Guadalquivir), Aznalcázar (Guadiamar I) y Villamanrique de la Condesa (Guadiamar II). También sirve casco urbano de Carrión de los Céspedes, cuyas aguas residuales son tratadas en las instalaciones del Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA).

En esta última central, el tratamiento de las aguas se desarrolla principalmente con tecnologías verdes (por ejemplo, tecnologías de humedales artificiales o lagunas). Esta central es clasificada como centro experimental, siendo financiada y operada por la Junta de Andalucía a través del CENTA. En la estación de Palomares del Río se utiliza la tecnología convencional de lodos activados, aunque tiene un tratamiento físico-químico con nitrificación y desnitrificación.

Es importante mencionar que las EDAR de Aznalcázar y Villamanrique de la Condesa son las responsables del tratamiento de las aguas residuales de los 5 municipios que utilizan la cuenca del Guadiamar para descarga de las aguas depuradas. Estas descargas se producen en el entorno del Parque Nacional de Doñana, una zona clasificada como "sensíble" en la normativa vigente. Esto obliga a estas EDAR a emplear un sistema de tratamiento de aireación prolongada de baja carga, de tipo carrusel, con zona anóxica y deshidratación de lodos.

PLAN ÉCIJA. El Consortio de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas Plan Écija, abarca 15 municipios, y gestiona el ciclo integral del agua de una población aproximada de 200.000 habitantes.

Este consorcio, a través de la Agencia de Régimen Especial del Ciclo integral del Agua del Retortillo (ARECIAR) opera en 12 EDAR: Arahal, Écija, El Rubio, Fuentes de Andalucía, Herrera, La Campana, Lantejuela, Marchena, Morón de la Frontera, Osuna, Paradas, La Puebla de

Cazalla.

AGUAS DEL HUESNA S.L. es una empresa pública propiedad del Consorcio de Aguas del Huesna que sirve a 17 municipios ubicados mayoritariamente en la Vega del Guadalquivir, Bajo Guadalquivir y Sierra Norte.

Opera en las siguientes 11 EDAR: Alcores (El Viso del Alcor), Brenes, Carmona, El Coronil, El Cuervo, Las Cabezas, Lebrija, Los Palacios y Villafranca, El Pedroso, El Real de la Jara, Utrera.

PROVINCIA DE CÁDIZ

En la provincia de Cádiz las principales empresas públicas encargadas de la depuración de aguas residuales son: AGUAS SIERRA DE CÁDIZ y la CAMPO DE GIBRALTAR.

La EDAR de Cádiz - San Fernando, recibe y trata las aguas residuales de los municipios de Cádiz y San Fernando. Esta estación de tratamiento, ubicada en el municipio de Cádiz, tiene una capacidad de tratamiento para 375.000 habitantes y un flujo promedio diario de 75.000 m³/día.

Actualmente, los destinos de los lodos en Andalucía son los siguientes (Plan Director Territorial de Gestión de Residuos no peligrosos de Andalucía, 2010-2019):

- ✓ Compostaje. En total, aproximadamente 160.000 t/año de biosólidos son compostados en Andalucía, aunque el proceso de tratamiento es más comparable a una estabilización aeróbica que a un compostaje.
- ✓ Aplicación directa. Según lo indicado por el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, que regula el uso de los lodos en el sector agrícola, se permite la aplicación de lodos de depuradora en la agricultura siempre que cumplan unos requisitos establecidos.

Recientemente, un nuevo reglamento en Andalucía (Orden de 6 de agosto de 2018, conjunta de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural y de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio) pasó a regular la utilización de lodos tratados de depuradora en el sector agrario, estableciendo las siguientes condiciones mínimas para el secado térmico de lodos destinados a usos agrícolas: tratamiento a una temperatura mínima de 80 °C durante 10 minutos o 70 °C durante 30 minutos, obligando a la existencia de una fracción de materia seca superior al 90% al final del tratamiento.

- ✓ En Andalucía existen varias empresas que gestionan los lodos de diferentes EDAR y realizan su aplicación directa. Actualmente, se estima que cerca de 156 000 t/año de biosólidos están dispuestos por medio de aplicación directa.
- ✓ Verterero. El depósito de lodo en los vertederos de residuos urbanos no es frecuente.

Actualmente, sólo los biosólidos producidos en las estaciones de tratamiento de pequeños municipios están destinados a tal fin.

Como se muestra en la Figura 37, en España el uso final mayoritario de los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales es el agrícola.

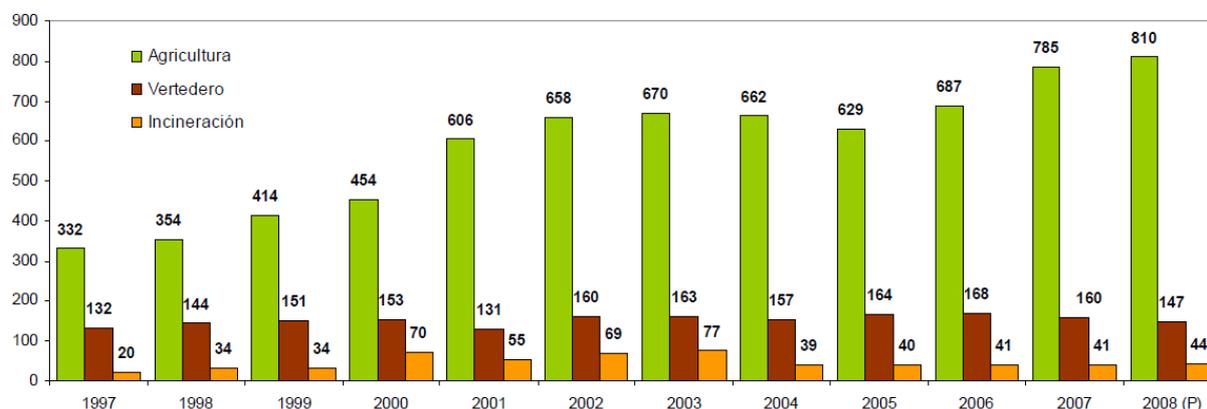


Figura 37 - Destino final de los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales (miles de toneladas de materia seca). (Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).

En Andalucía, se producen 416.000 t/año de lodos, de las cuales el 60,9% son usados en la agricultura, el 0,3% para depósito en vertedero, el 34,1% en compostaje, el 0,6% de producción de energía y el 4,1% en otras aplicaciones. Para el sector agrícola, los lodos procedentes de la depuración de aguas residuales se utilizan como fertilizantes.

4.3.1 Instalaciones de secado de lodos térmicos (biosólidos) en Andalucía

La EDAR de Guadalhorce, gestionada por la Empresa Municipal Aguas de Málaga (EMASA), es la estación de tratamiento más importante de Málaga, en términos del tamaño de las instalaciones y de nivel del volumen de agua a tratar. Se localiza en la parte occidental de la ciudad, junto al río del que lleva su nombre. En esta estación llegan las aguas residuales del centro, norte y oeste de la ciudad, así como de los municipios de Churriana, Campanillas, Puerto de la Torre y del municipio de Torremolinos y Alhaurín de la Torre, correspondiendo a un volumen de tratamiento de aproximadamente 165 000 m³ por día.

El procesamiento de la línea de agua consiste en un pretratamiento seguido por una decantación primaria (10 unidades rectangulares) y, posteriormente, por un proceso biológico de tratamiento por lodos de media carga activada (5 reactores) con decantación secundaria (10 unidades rectangulares).



Figura 38 - Tratamiento de aguas residuales en Guadalhorce
(Fuente: EMASA).



Figura 39 - EDAR de Guadalhorce. (Fuente: EMASA).

Esta instalación contempla también una Estación de Tratamiento Terciario y de Ultrafiltración para recuperar agua que será posteriormente utilizada en la central eléctrica del Parque Tecnológico, así como por otros consumidores. En cuanto a la línea de lodos, ésta presenta un sistema de espesamiento por gravedad para lodos primarios y un sistema de centrifugación espesante para los lodos biológicos. Tratamiento de la digestión termofílica aerobia precedida de la digestión anaeróbica mesofílica. Deshidratación posterior de lodos con centrifugadoras de decantación para deshidratación mecánica.

Se constata la existencia de una central de cogeneración de 10 MW de potencia y un sistema de secado térmico de los lodos por medio de 2 túneles de baja temperatura con el que se obtienen lodos de aproximadamente un 8% de humedad, permitiendo así una significativa reducción de la cantidad de lodo producido y su utilización como fuente de energía

4.3.2 Estaciones de tratamiento de residuos domésticos de Huelva

La central de tratamiento de residuos domésticos de Villarrasa, ubicada en la "Dehesa del

Boyal" en la carretera A-493, La Palma del Condado - Valverde del Camino. (P.K. 19). 21850 VILLARRASA - HUELVA (Figura 40).



Figura 40 - Central de tratamiento de Villarasa.

En Andalucía existe además otro centro para el tratamiento de los residuos domésticos, la Central de tratamiento del Andévalo localizada en la carretera A-476, en Tharsis-Puebla de Guzmán, P.K. 58,4 21520 / 21550 – Alosno/Puebla de Guzmán- (Huelva) (Figura 41).



Figura 41 - Central de tratamiento de residuos domésticos del Andevalo.

5 RECURSO SOLAR Y POTENCIAL DE LA APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRACIÓN

La radiación solar que alcanza una determinada superficie en el planeta Tierra, designada como radiación global, está compuesta por dos componentes: directa y difusa.

- ✓ La radiación directa es aquella que, procedente del Sol, alcanza la superficie sin sufrir dispersión a lo largo de su recorrido por la atmósfera.
- ✓ La radiación difusa está compuesta por la radiación solar incidente en la superficie después de que su dirección haya sido afectada por fenómenos de dispersión atmosférica o reflexión.

De esta forma, la radiación directa proviene de la zona del disco solar mientras que la radiación difusa proviene de todas las direcciones del hemisferio.

La determinación de la cantidad de radiación solar incidente en un determinado lugar es efectuada por la medición de tres magnitudes:

- ✓ Irradiación global en el plano horizontal (GHI). Corresponde a la potencia incidente por unidad de superficie en una superficie horizontal. Este valor engloba a todos los componentes de la radiación solar (i.e., el componente directo y difuso), siendo particularmente relevante para el estudio del potencial de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos no concentradores.
- ✓ Irradiación difusa en el plano horizontal (DHI). Es la potencia incidente de radiación difusa por unidad de área en una superficie horizontal de la radiación solar, o sea, de radiación proveniente de todo el hemisferio con excepción del disco solar.
- ✓ Irradiación directa en el plano normal (DNI). Corresponde a la potencia incidente de radiación directa por unidad de área en una superficie que siempre se mantiene en la perpendicular hacia la dirección del disco solar. Esta magnitud es de extrema importancia para el estudio del potencial de utilización de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos de concentración, siendo la métrica más usual para medir el recurso solar para aplicaciones con concentradores.

Considerando el actual estado del arte de las tecnologías de concentración solar térmica y de su comercialización con fines a la producción de electricidad, es habitual asumir como regla general que para que sean económicamente viables las tecnologías concentradoras requieren unos valores de DNI iguales o superiores a 2.000 kWh/(m² año), a pesar de ser técnicamente viable la instalación y operación de centrales con valores inferiores.

Sin embargo, este nivel mínimo depende de diversos factores y deberá ser evaluado caso por

caso. Por otro lado, la aplicación de tecnologías concentradoras para fines térmicos, como el secado, podría permitir considerar como viables ubicaciones con menor DNI anual. De esta forma, para evitar la complejidad asociada a consideraciones de índole económica que resultarían en la necesidad de un análisis caso por caso, la problemática de la evaluación del potencial se abordará de dos formas: estimando la irradiación anual disponible para la operación del sistema; estimando la cantidad de materia procesada por metro cuadrado de colector instalado.

Radiación solar y clima en Portugal

Portugal es uno de los países europeos con mayor disponibilidad de radiación solar. En términos de sol, Portugal recibe un promedio de entre 2.200-3.000 horas de sol al año. La irradiación solar global medio en el sur de Portugal es de 1.900 kWh / m² año (Cavaco et al., 2016). El valor de la irradiación directa en el plano normal en las regiones del Algarve y del Alentejo puede variar entre aproximadamente 1.900 kWh / (m² año) y cerca de 2.100 kWh / (m² año). Al observar la distribución del DNI en Portugal (Figura 42) se observa que las zonas más favorables son el Alto y Bajo Alentejo, Algarve y Beira Baixa.



Figura 42 – Distribución de la DNI en Portugal. Fuente: Solargis.

En enero las temperaturas son relativamente bajas y aumentan principalmente de nordeste al suroeste, registrándose los valores más bajos en el nordeste transmontano y los más

elevados en algunas áreas de la costa de Alentejo y del litoral del Algarve. En julio, la situación cambia y las temperaturas alcanzan valores relativamente elevados, llegando hasta los 22 °C de media para el mes de agosto en el litoral sur. En Portugal continental las temperaturas medias más bajas se registran en los meses de diciembre (8,1 °C) a enero (7,5 °C) en las tierras altas de interior septentrional y central. La precipitación media anual tiene los valores más altos en el Miño y el Douro Litoral, y presenta los valores más bajos en el interior del Bajo Alentejo. El valor de la precipitación media para Portugal continental es de 150 mm en diciembre y 10,5 mm en julio (Instituto Portugués de Mar y de atmósfera, 2015).

Radiación solar y clima en España

También España, por su ubicación geográfica, cuenta con una gran disponibilidad de radiación solar. La Figura 43 presenta la distribución de la DNI en España. Se verifica que los lugares más favorables se encuentran en las provincias de Huelva, Sevilla, Málaga, Granada y Jaén de la Comunidad Autónoma de Andalucía, y en algunos lugares de las Comunidades de Extremadura, Castilla la Mancha y Murcia.

En la primavera las provincias del sudeste continental español son las que reciben mayor cantidad de irradiación. No obstante, ese valor máximo se va moviendo hacia el oeste a medida que va llegando el verano, siendo el mes de julio el de mayor cantidad de irradiación del suroeste continental, presentando las provincias de Huelva, Cádiz y Sevilla los valores más elevados. En el mes de agosto la irradiación se vuelve más intensa un poco más al norte, en Extremadura y en el norte de Toledo (Sancho Ávila et al., 2012).

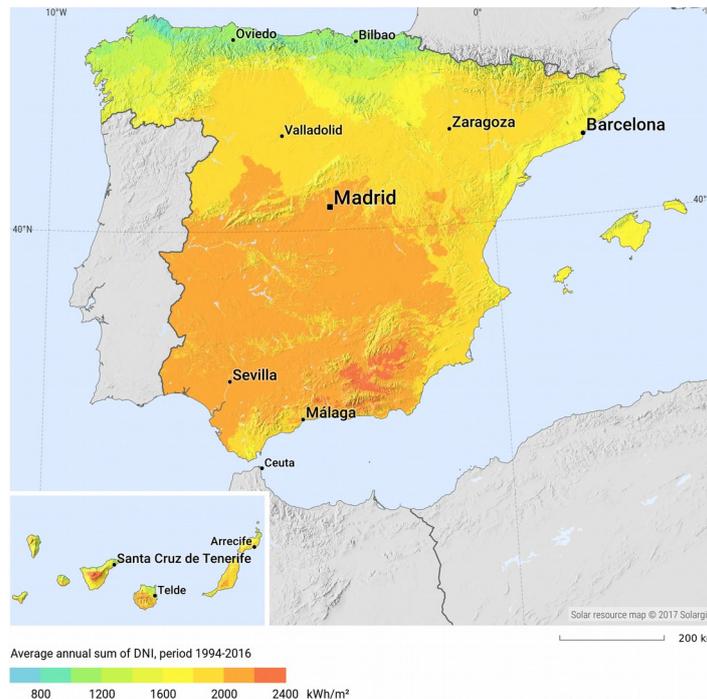


Figura 43 - Distribución de la DNI en España. Fuente: Solargis.

Los valores medios anuales de la temperatura varían entre 2,5 °C en las áreas de mayor altitud y valores superiores a 17 ° C en las provincias de Huelva, Sevilla, Cádiz y en la parte costera entre Málaga y Alicante. Los valores de la temperatura media mensual alcanzan valores máximos en verano en julio y agosto (> 27 ° C) en algunos lugares de las provincias de Cáceres, Badajoz, Toledo, Sevilla, Córdoba y Jaén y valores mínimos en invierno de diciembre a febrero (<0 ° C) en las áreas de mayor altitud (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, nd).

5.1 RECURSO SOLAR

El primer análisis que debe realizarse a la hora de evaluar el potencial de uso de los sistemas de concentración solar térmica en una zona geográfica determinada es evaluar las condiciones meteorológicas del lugar, en particular, la irradiación solar directa en el plano normal. Idealmente esta información debería determinarse a partir de series plurianuales de datos horarios (o de menor intervalo de tiempo) medidos por una estación meteorológica local. Sin embargo, en la mayoría de los casos, esta información es inexistente, siendo necesario recurrir la información obtenida a través de satélites meteorológicos y / o datos obtenidos a partir de la extrapolación de información obtenida en estaciones meteorológicas vecinas (que podrán distanciar decenas o hasta cientos de kilómetros del lugar de análisis).

Para Portugal no existen una larga serie de mediciones de la irradiancia directa en el plano normal, siendo realizadas las primeras campañas de caracterización de este recurso en el Sur (Alentejo) por el Instituto Portugués de Energía Solar. De esta forma, para el Alentejo y el Algarve, el presente documento considera estimaciones mensuales para el valor diario medio de la irradiación global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal para las ubicaciones de las principales estaciones de tratamiento mecánico y biológico y de tratamiento de aguas residuales para cada localidad de interés. Estas estimaciones fueron obtenidas a partir de un año meteorológico de referencia desarrollado en el ámbito del Reglamento de los Sistemas Energéticos de Climatización en Edificios (Decreto Ley nº 79/2006) con la metodología descrita en (Aguiar, 2004), basada en un generador de series meteorológicas sintéticas , cuyos fundamentos se pueden encontrar en (Aguiar, 1998, 1996).

Para Andalucía, se tuvieron en cuenta valores basados en datos de satélite presentados por la Agencia Estatal de Meteorología en el Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. Para el valor del DNI se consideraron los datos facilitados por la Agencia de Energía Andaluza, información disponible en el sitio: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>.

El análisis del valor diario medio de la irradiación global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal o horizontal permite inferir la variabilidad de la

capacidad del sistema solar en alimentar el proceso de secado a lo largo del año.

La media anual de la DNI obtenida a partir de la información descrita en el párrafo anterior fue comparada con valores provenientes de otras fuentes, en particular el Global Solar Atlas (GSA) proporcionado por Solargis. Las diferencias encontradas son compatibles con los intervalos de incertidumbre y variabilidad típica observada en este tipo de información (~ 10%). En vista de esta variabilidad se optó por presentar las estimaciones para el valor medio anual en forma de intervalo para cubrir los diferentes valores obtenidos a partir de varias fuentes de datos consideradas.

5.1.1 Algarve

La empresa Algar, gestora del sistema de tratamiento de residuos domésticos en el Algarve, tiene su estación de tratamiento mecánico y biológico así como su vertedero en Puerto de Lagos, Portimão. Las estimaciones para el valor diario medio de la irradiación global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en ese lugar se presentan en la siguiente figura.

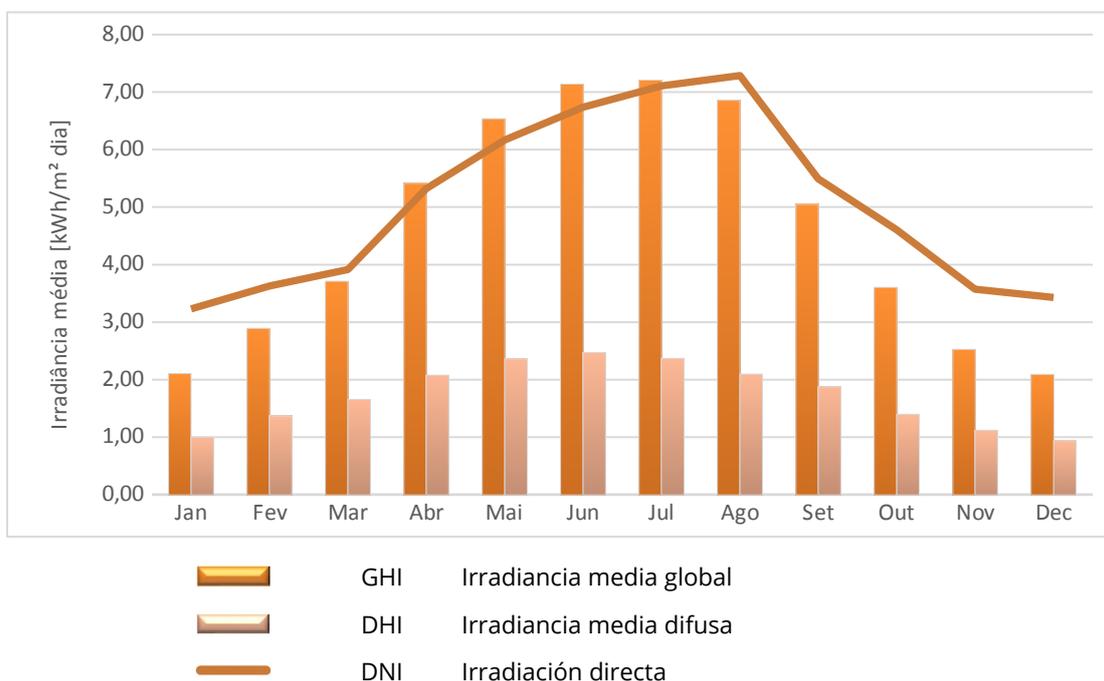


Figura 44 – Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Puerto de Lagos.

Las figuras 45 a 54 presentan estimaciones para el valor diario medio de la irradiación global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal para las ubicaciones de las principales EDAR de la empresa Águas do Algarve.

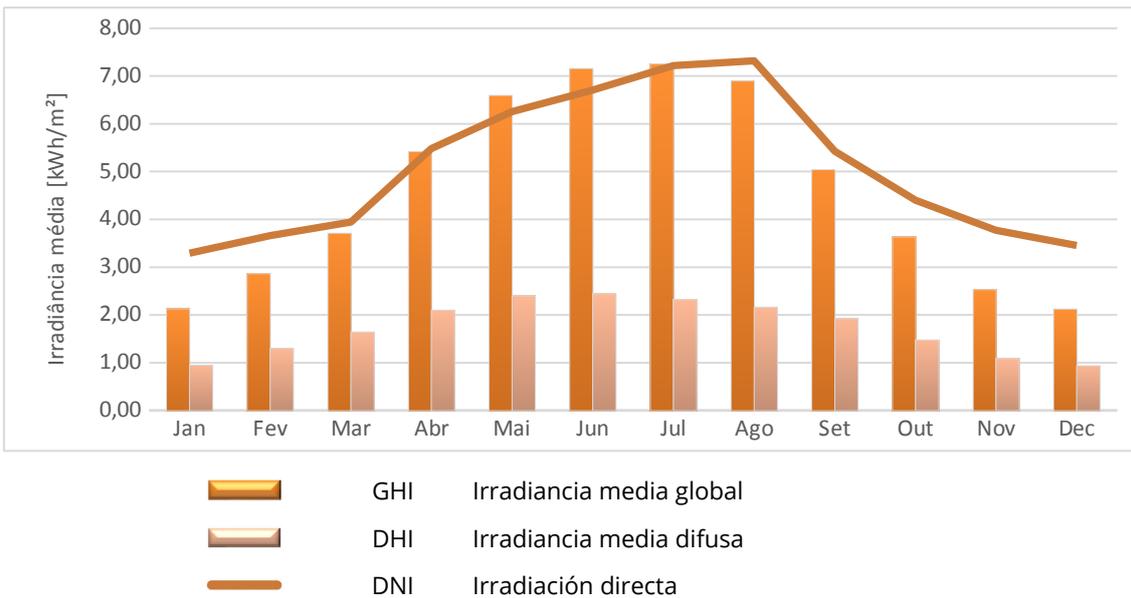


Figura 45 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Boa Vista.

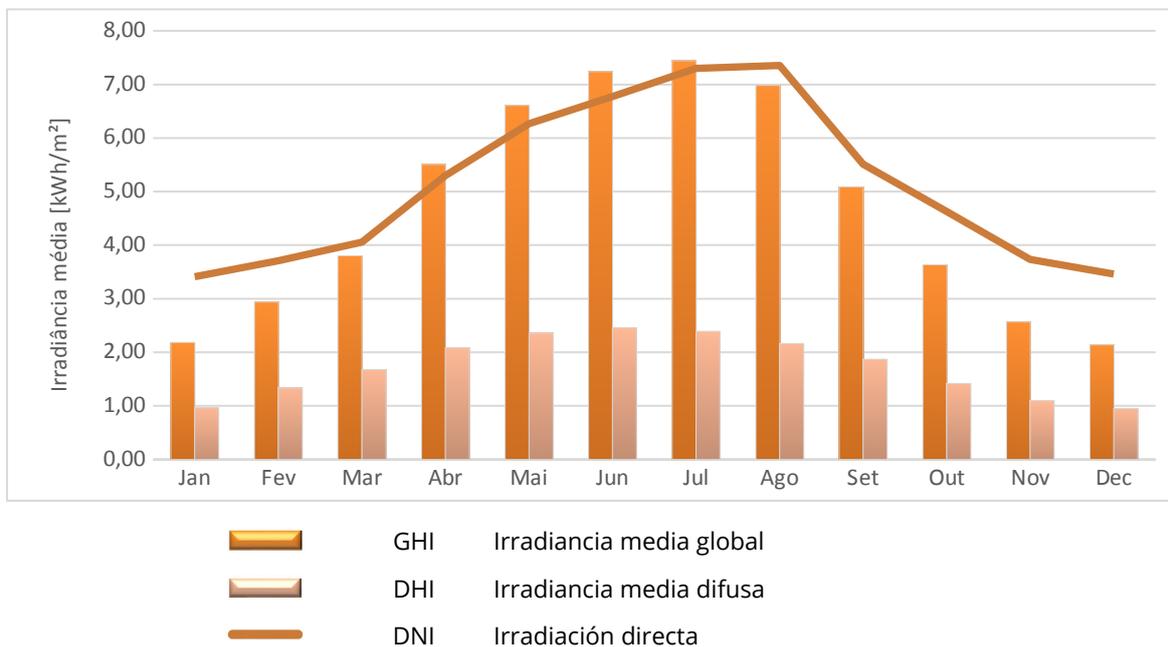


Figura 46 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Compañera.

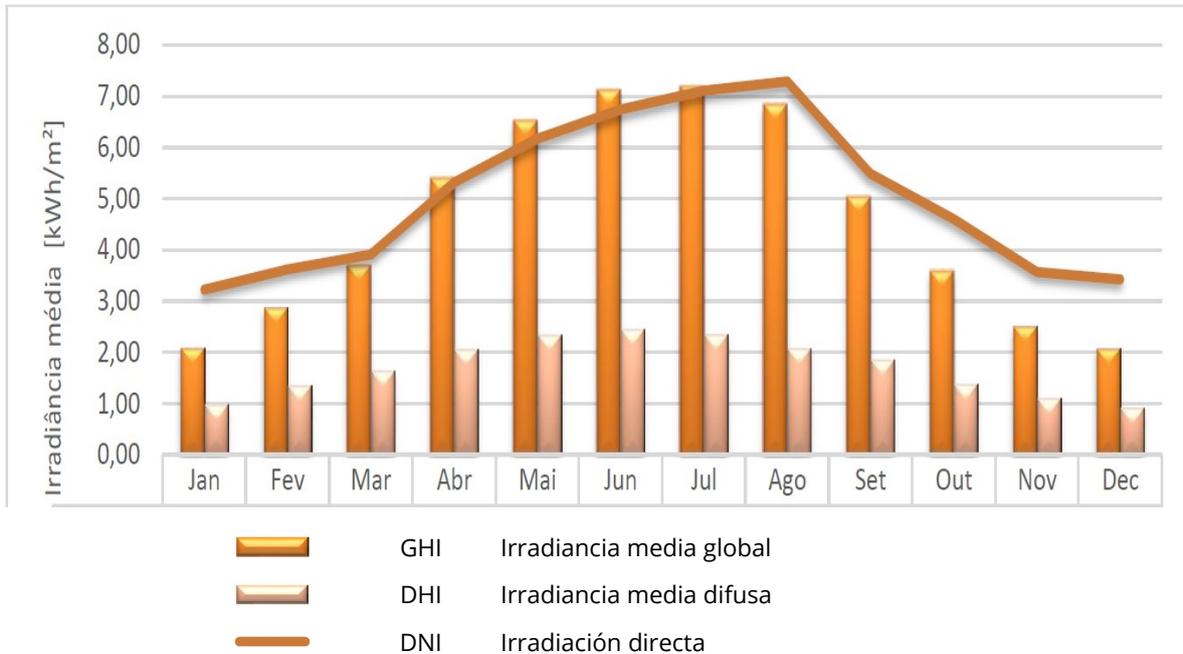


Figura 47 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Albufeira.

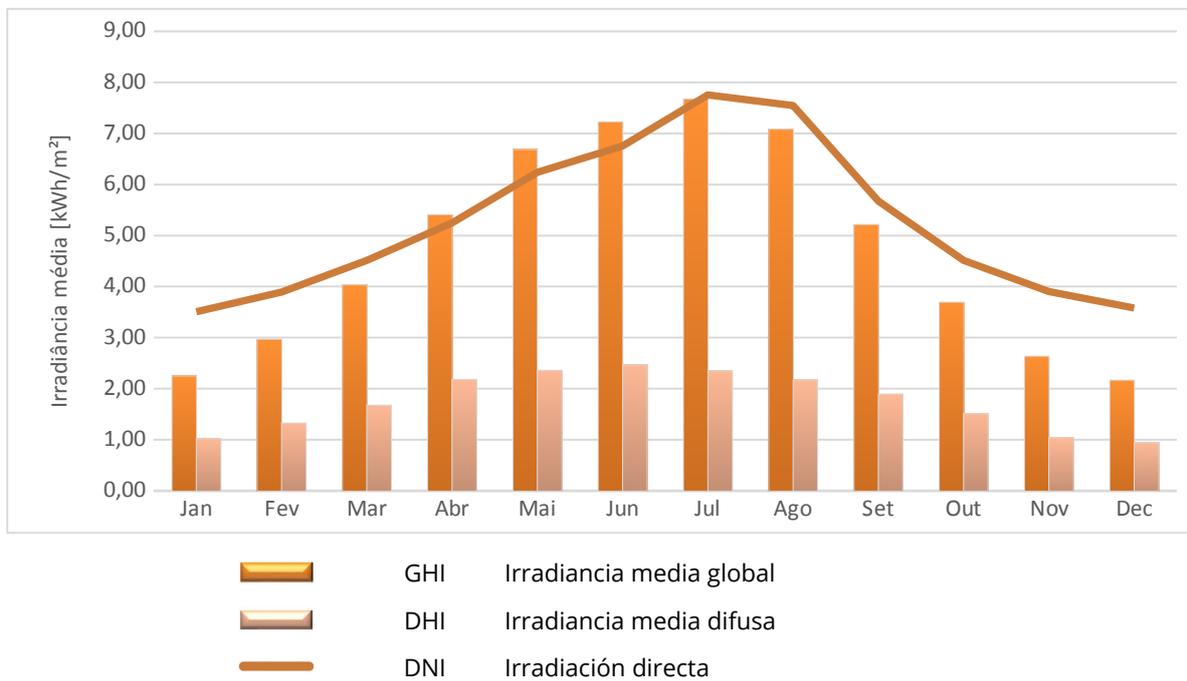


Figura 48 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Almagem.

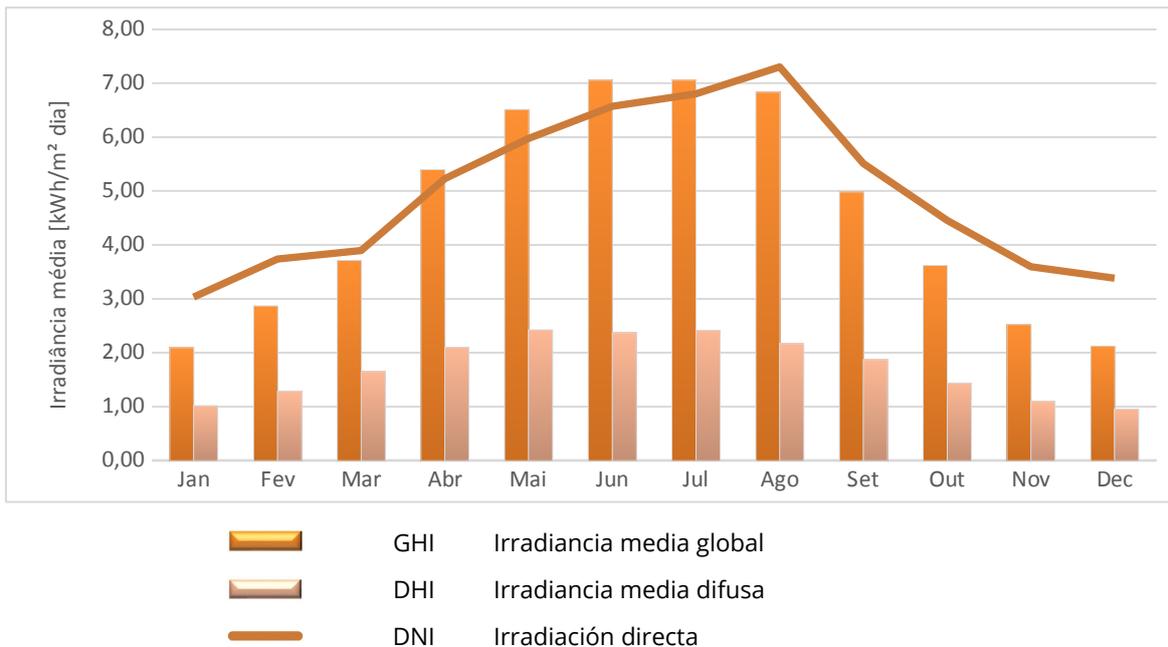


Figura 49 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Faro Noroeste.

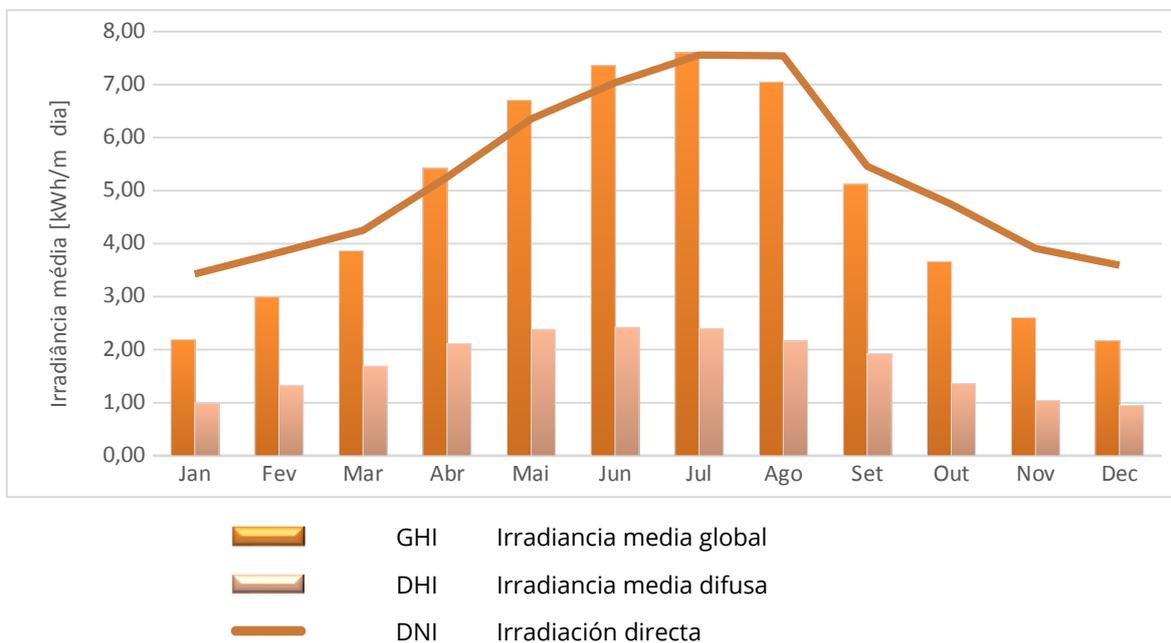


Figura 50 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Lagos.

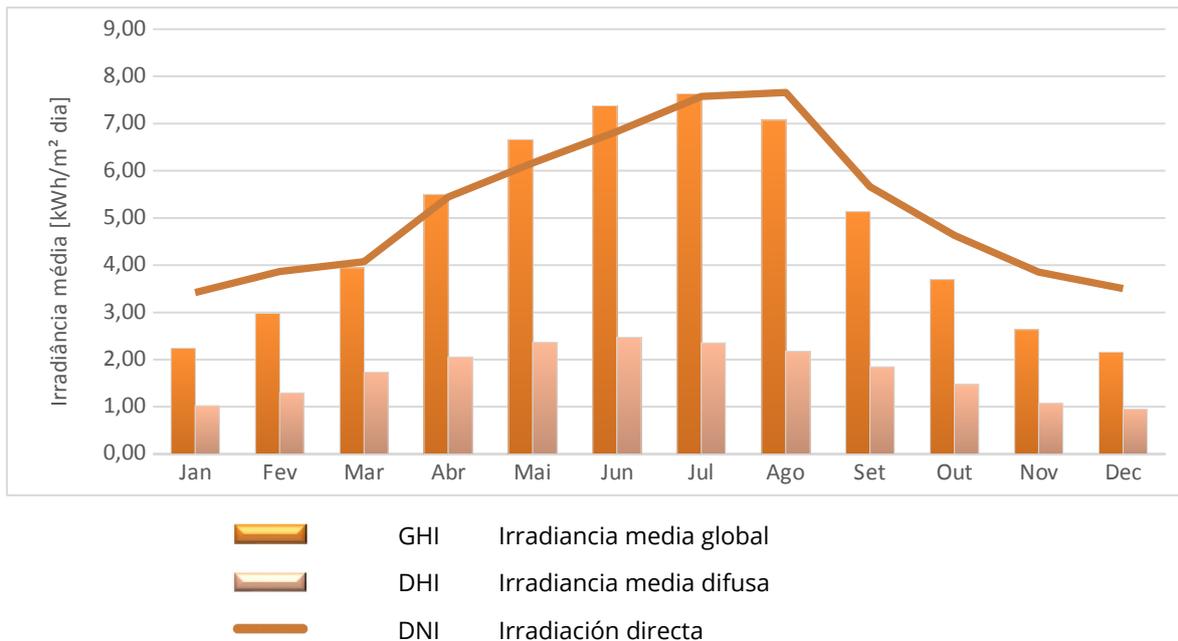


Figura 51 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vale do Faro

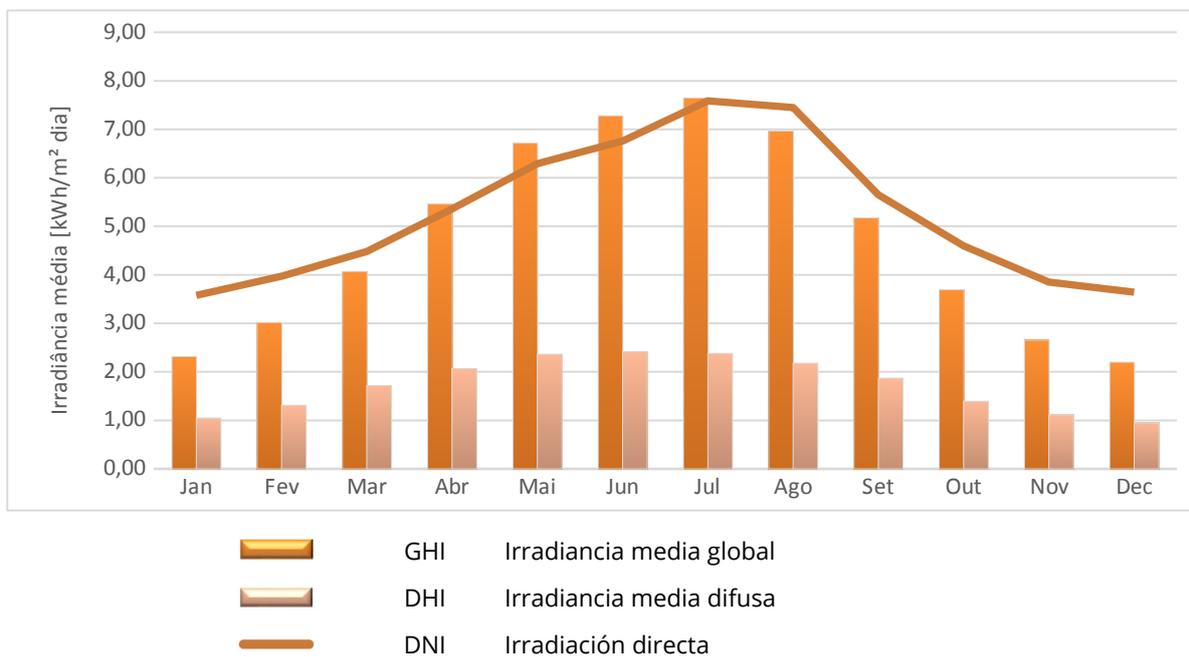


Figura 52 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Olhão Nascente.

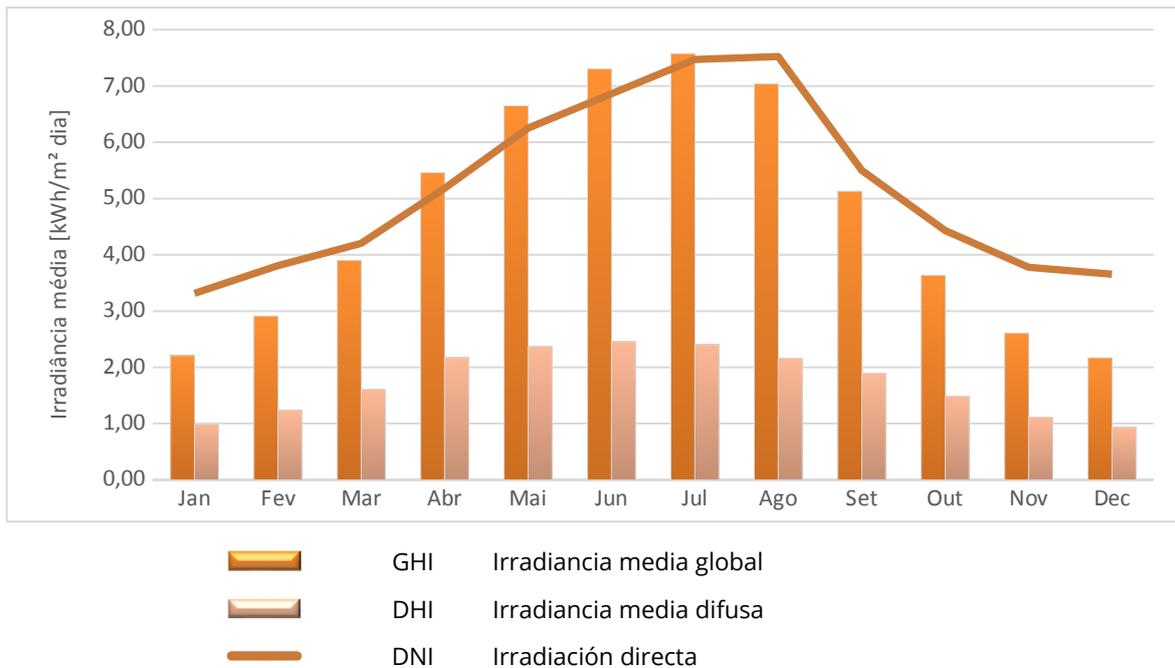


Figura 53 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vila Real do Santo Antonio

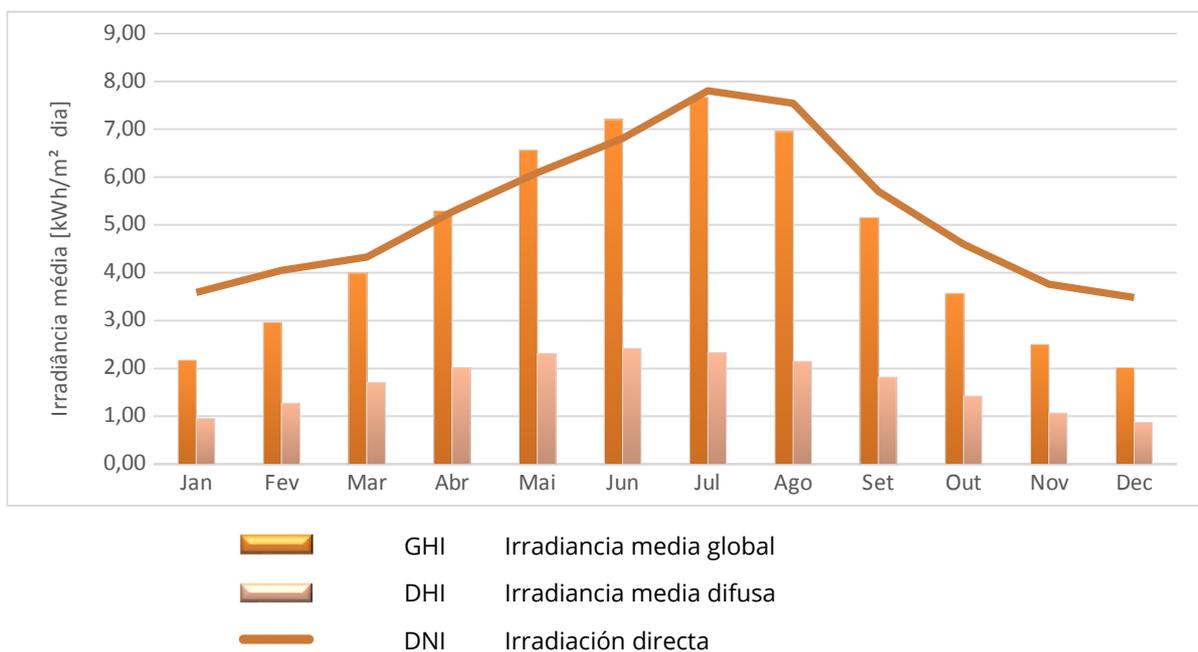


Figura 54 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vilamoura.

Las figuras anteriores permiten observar la variación mensual de la irradiación diaria media disponible en los lugares de interés. Como se esperaba existe una mayor disponibilidad del recurso solar durante los meses de verano, con un pico en julio, siendo también relevante en los meses de primavera. Se observa que, en general, la irradiación disponible en el pico del invierno es ligeramente inferior a la mitad de la irradiación disponible en los meses de verano.

Esto indica que será posible operar el sistema de secado durante el invierno, aunque con menor capacidad de procesamiento de materia seca, en la mayoría de los casos.

Tabla 16 - Intervalos de estimación de los valores anuales para la irradiación global en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en las principales instalaciones de tratamiento de residuos domésticos y aguas residuales del Algarve.

	GHI	DNI
	kWh/(m ² año)	
RSU		
ALGAR	1.680 - 1.843	1 843 - 2 067
ETAR		
Boa Vista	1.686 - 1.722	1 856 - 2 151
Companheira	1.680 - 1.843	1 843 - 2 067
Albufeira	1.699 - 1.710	1 874 - 2 116
Almargem	1.741 - 1.850	1 925 - 2 099
Faro Noroeste	1.722 - 1.728	1 918 - 2 116
Lagos	1.669 - 1.836	1 812 - 2 045
Faro	1.699 - 1.710	1 874 - 2 116
Olhão Nascente	1.737 - 1.861	1 909 - 2 102
Vilamoura	1.724 - 1.840	1 888 - 2 100
Vila Real de Santo Antonio	1.741 - 1.850	1 925 - 2 099

Tanto los valores anuales estimados para el GHI como para el DNI en la región del Algarve indican que existe una significativa cantidad de recurso solar disponible para su uso como recurso en sistemas solares térmicos tanto de concentración como de no concentración. De esta forma existe un potencial técnico significativo para el aprovechamiento térmico de la energía solar en la región del Algarve.

5.1.2 Alentejo

Las figuras 55, 56 y 57 presentan una estimación de la variación mensual de la irradiación media diaria en los vertederos localizados en el Alentejo. La estimación del valor diario medio de la irradiación global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en los lugares de las EDAR se presentan en las figuras 58 a 76.

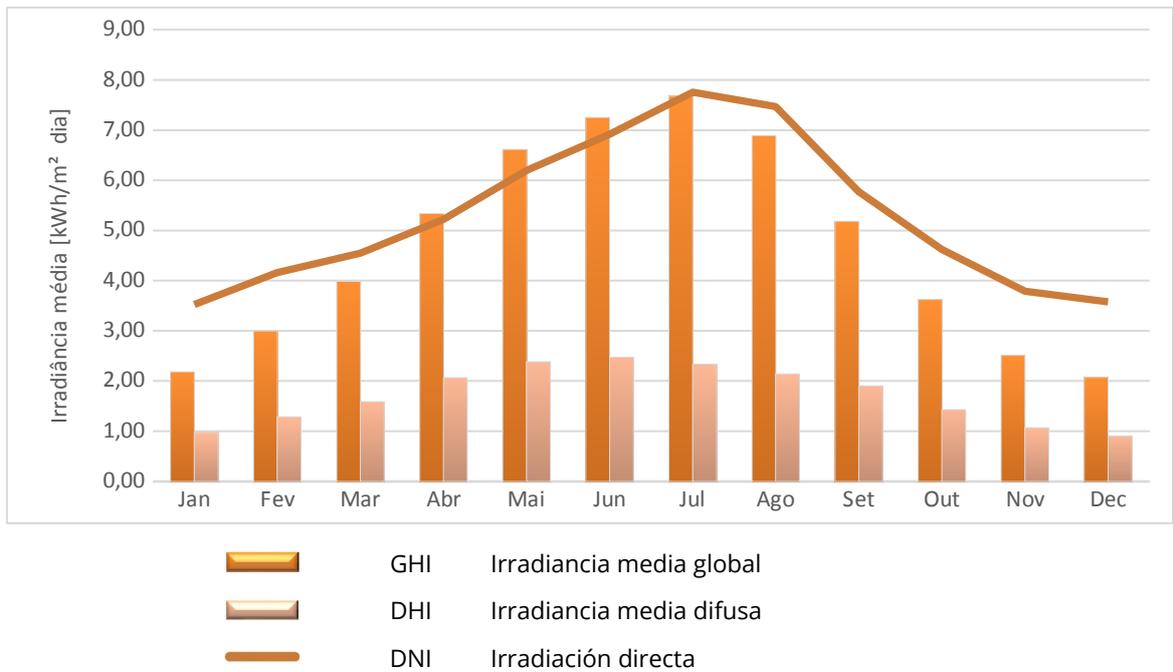


Figura 55 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Évora.

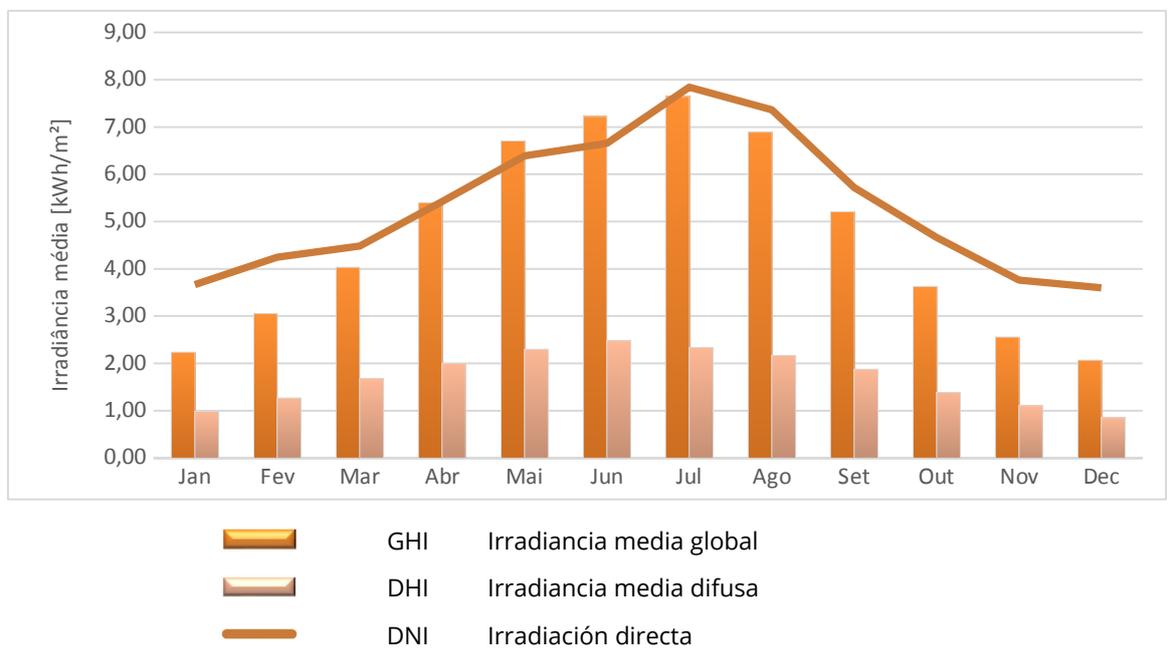


Figura 56 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vila Ruiva.

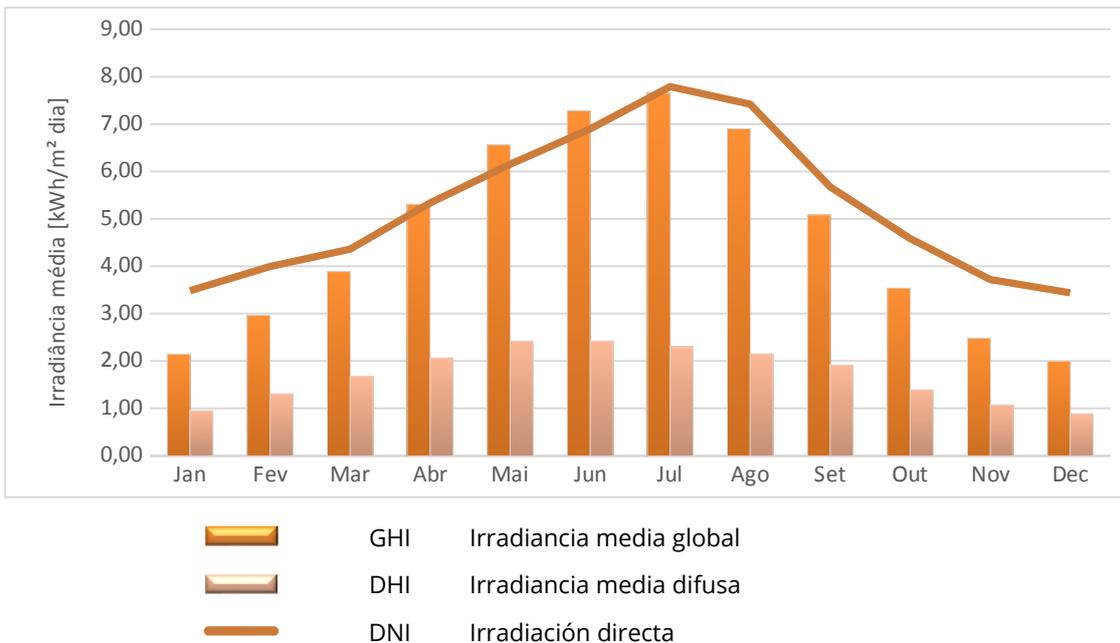


Figura 57 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal del Aterro Sanitario Resialentejo.

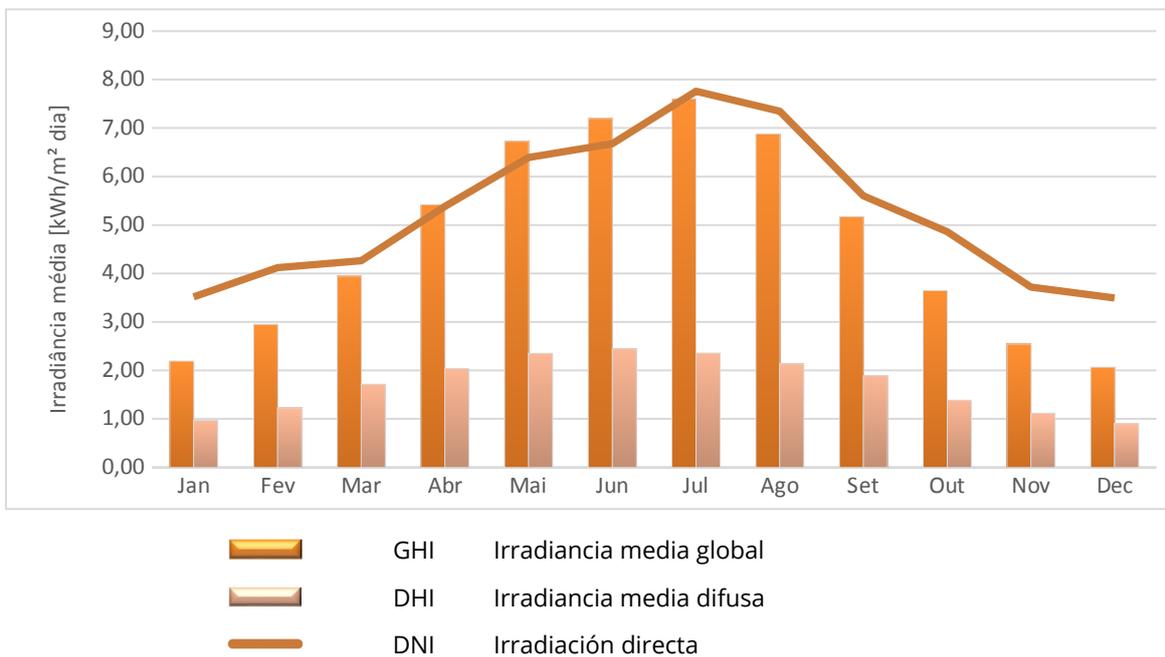


Figura 58 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Alcacer do Sal.

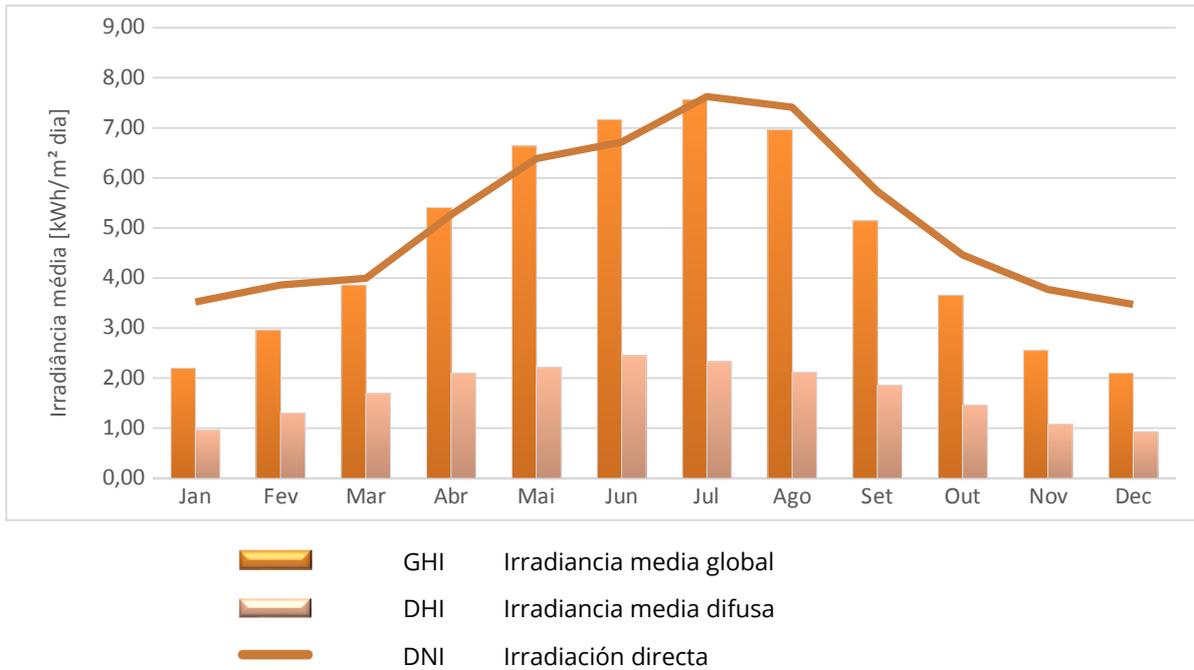


Figura 59 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Aljustrel.

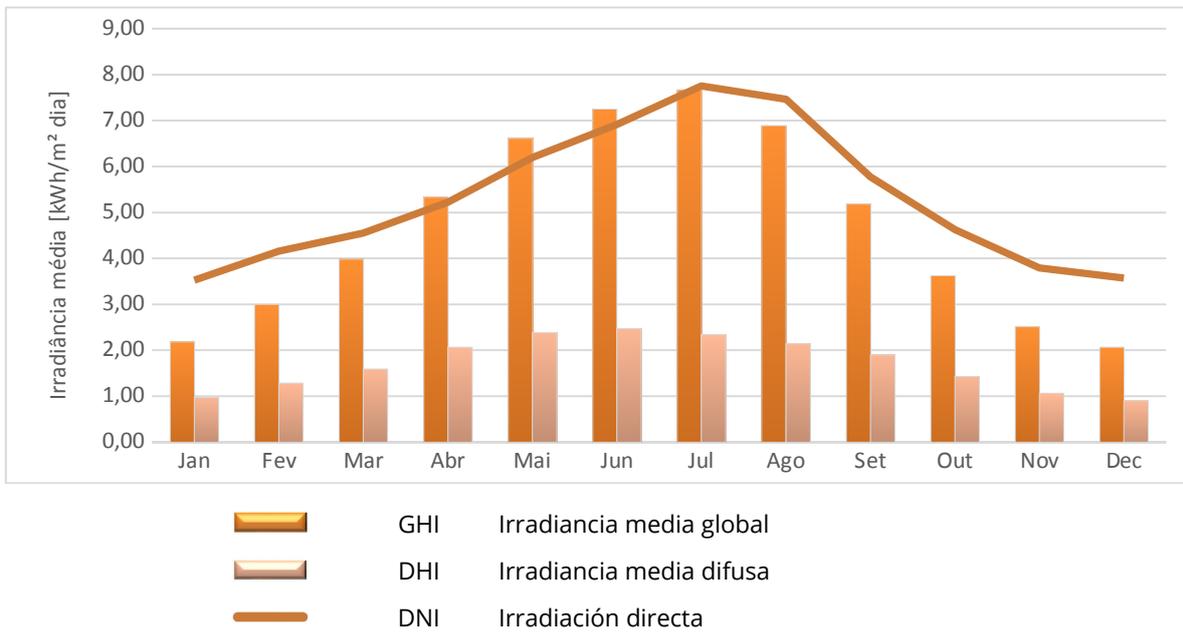


Figura 60 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Almodóvar.

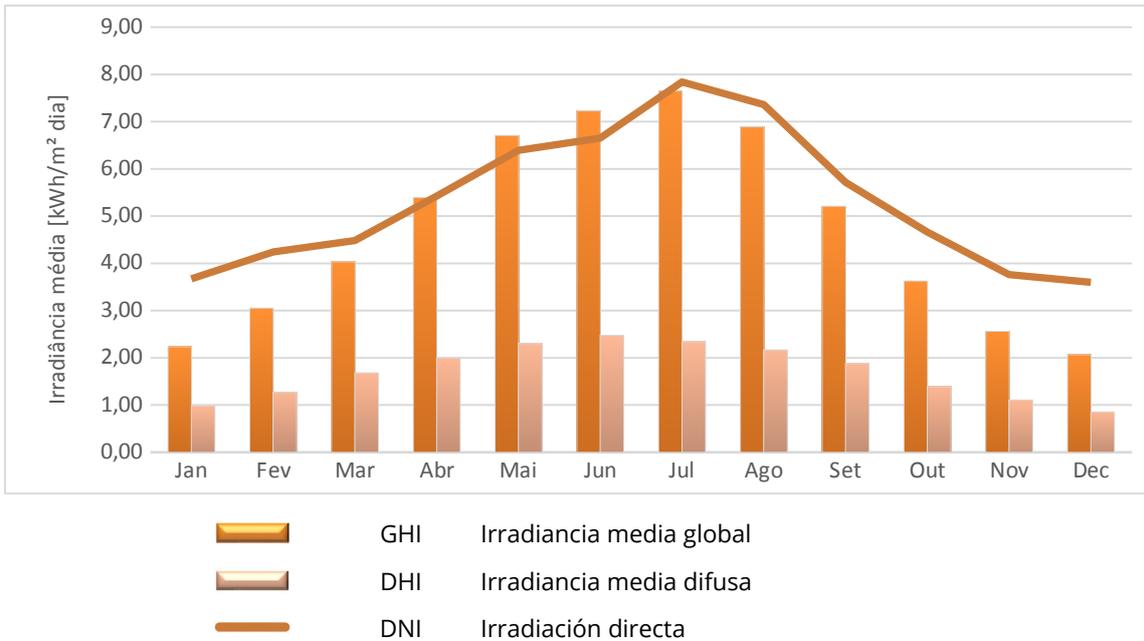


Figura 61 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Alvito.

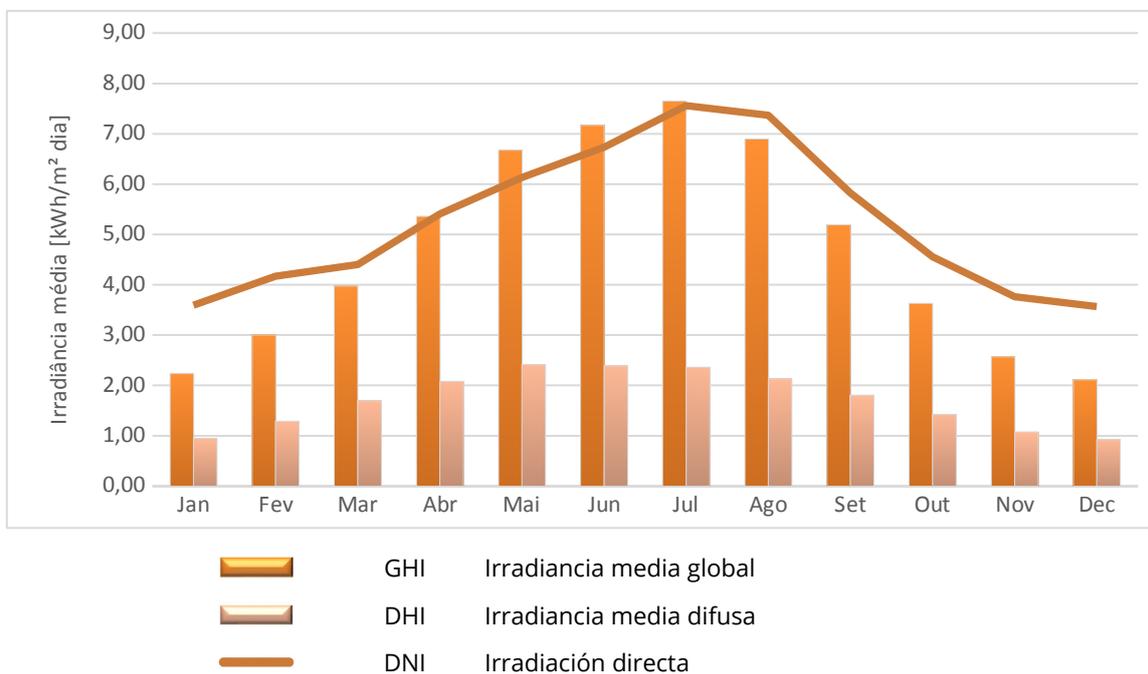


Figura 62 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Beja.

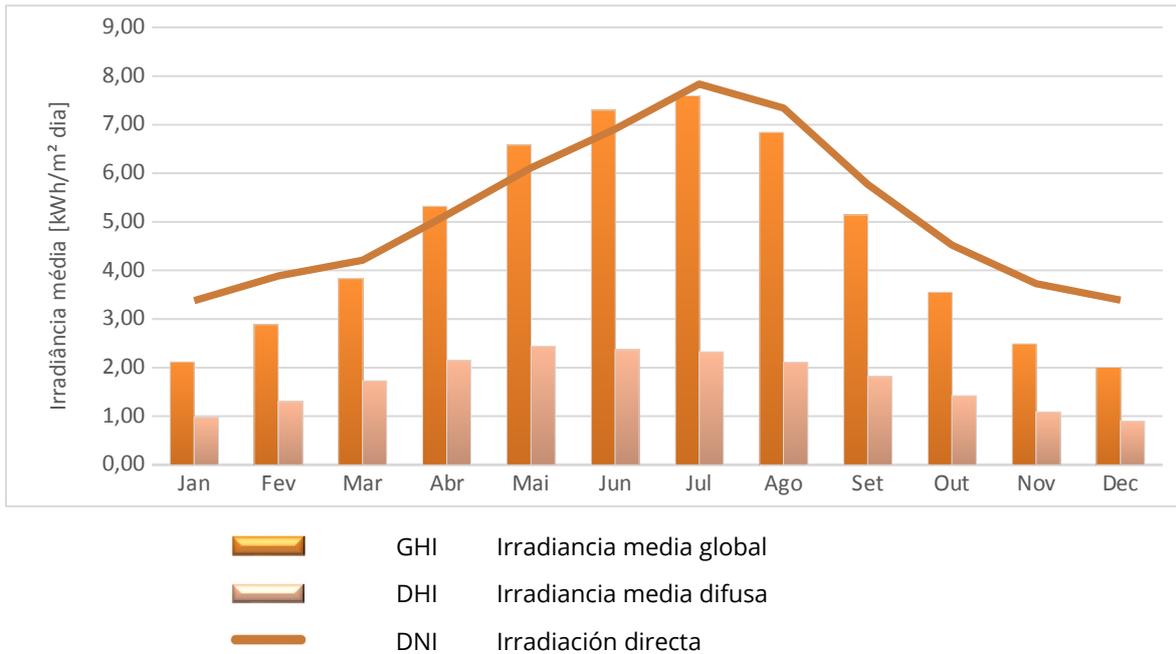


Figura 63 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Castro Verde.

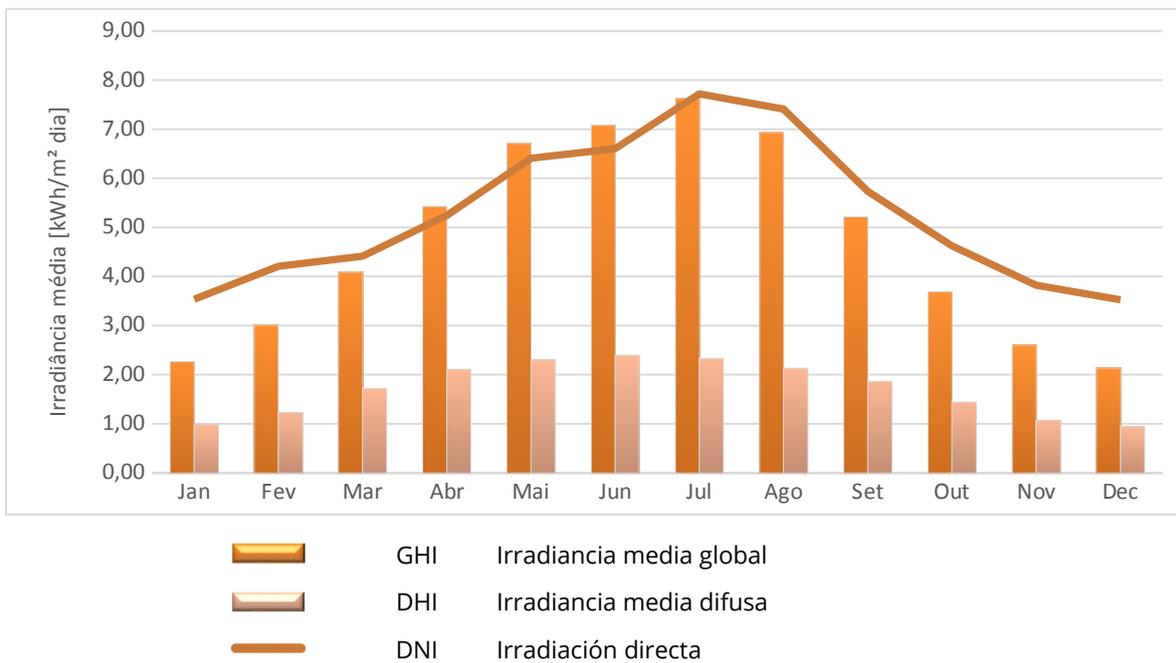


Figura 64 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Grândola.

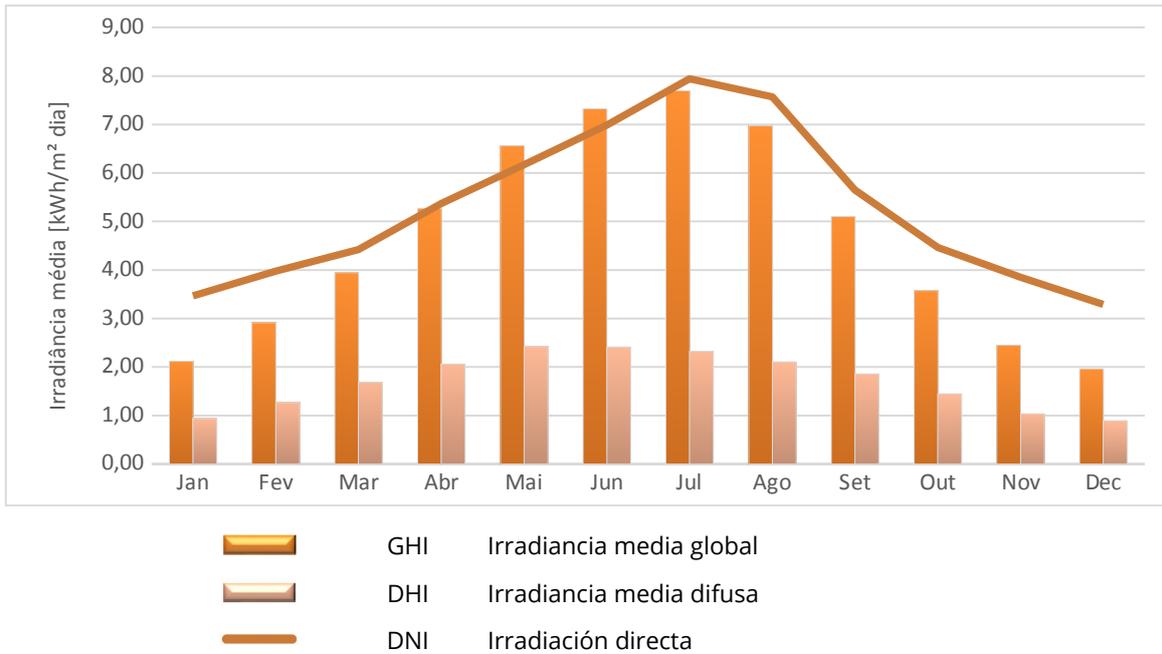


Figura 65 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Mértola.

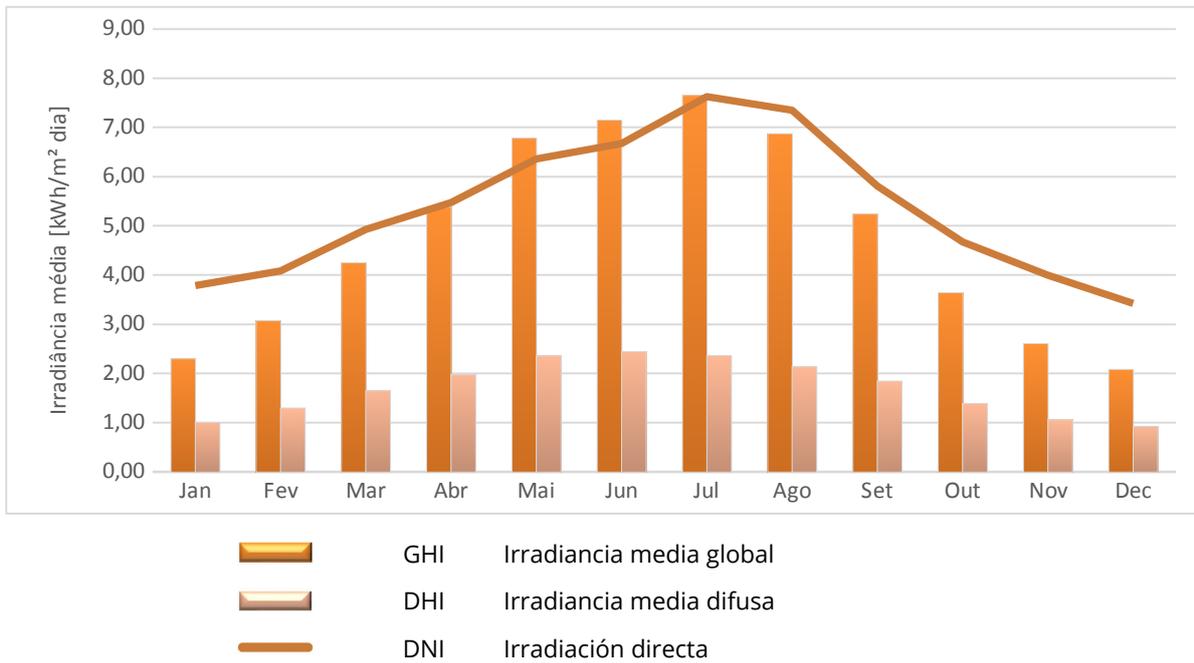


Figura 66 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Montemor-o-Novo.

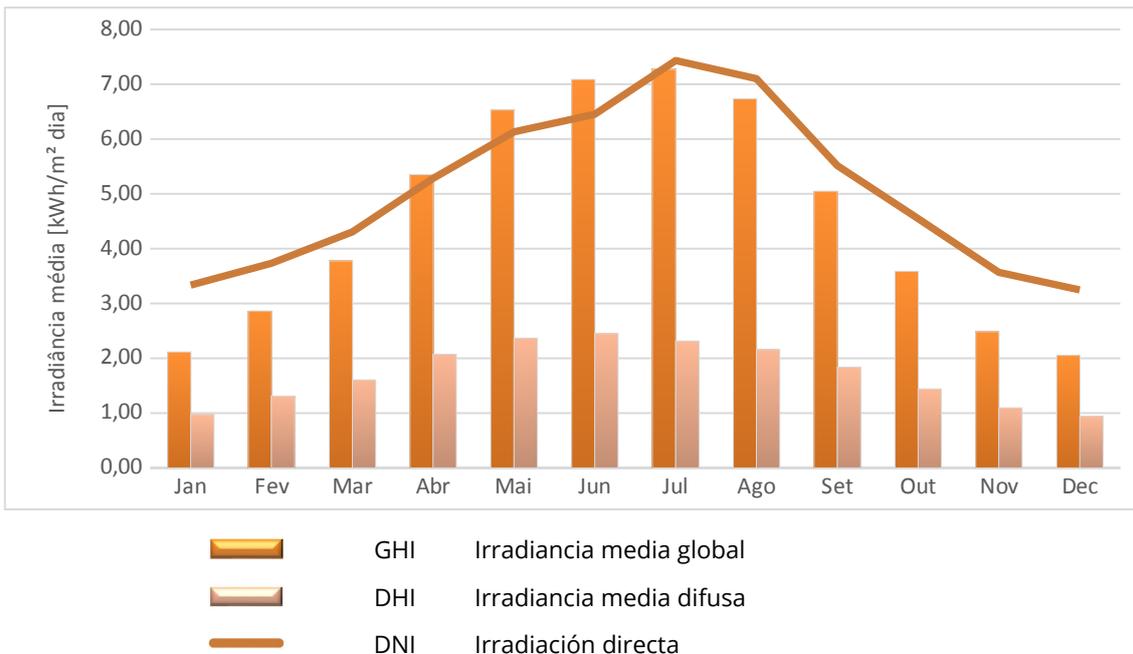


Figura 67 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Moura.

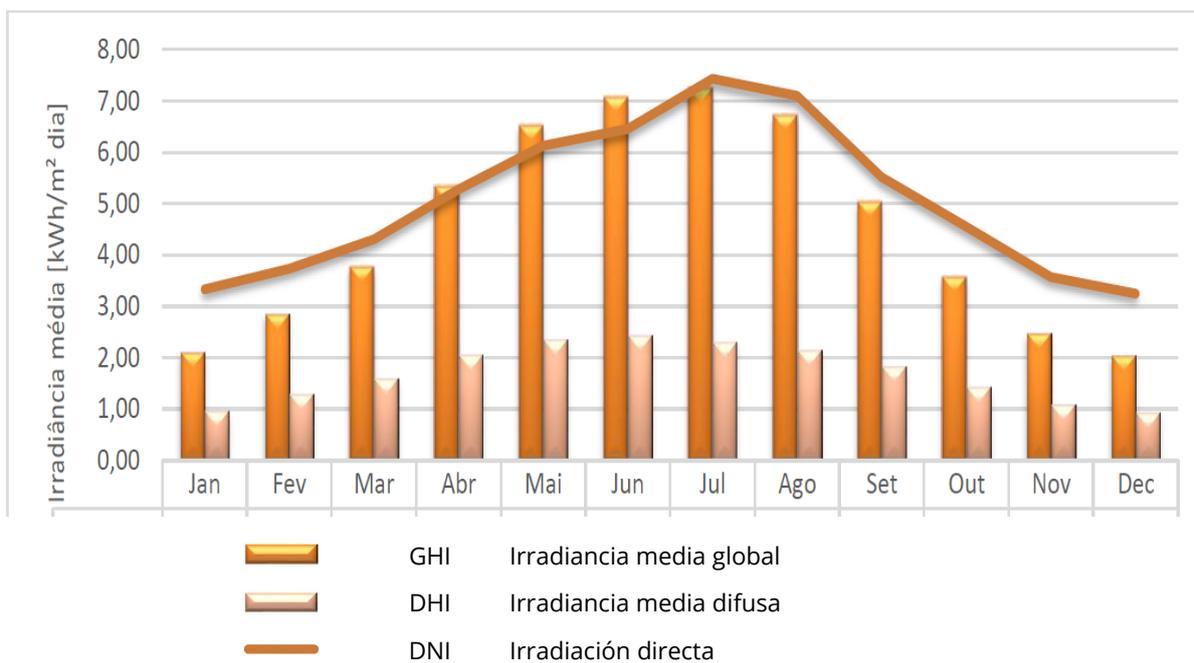


Figura 68 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Odemira.

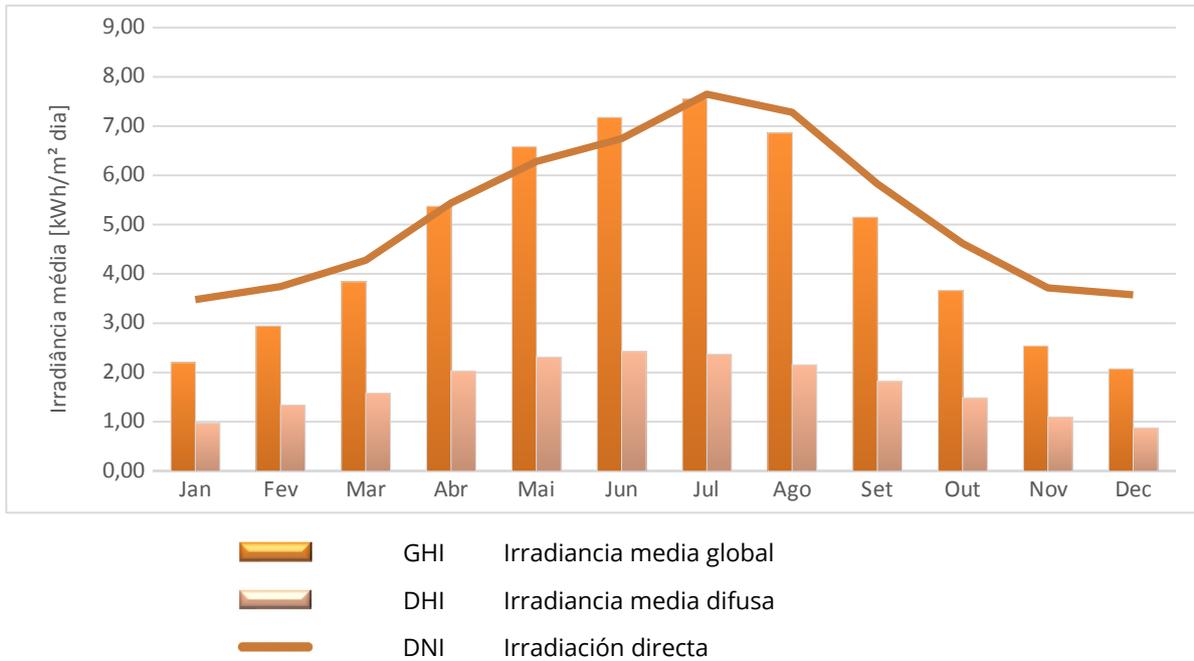


Figura 69 - Estimación para el valor diario medio de la irradiación media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Ourique.

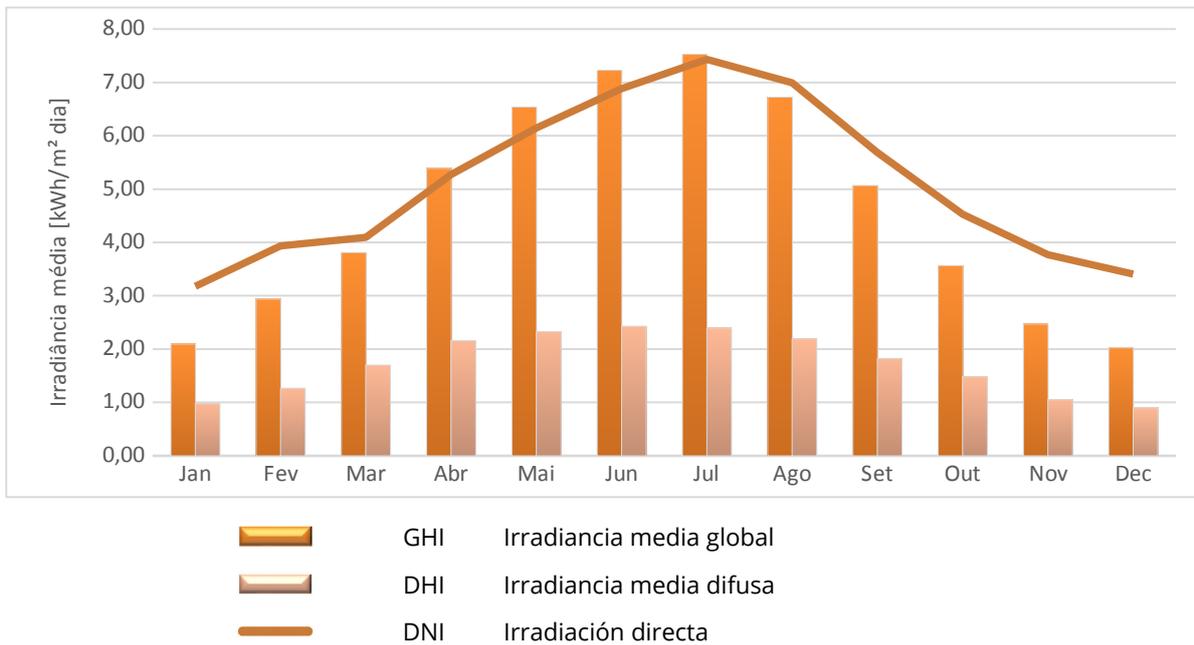


Figura 70 Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Santiago del Cacém.

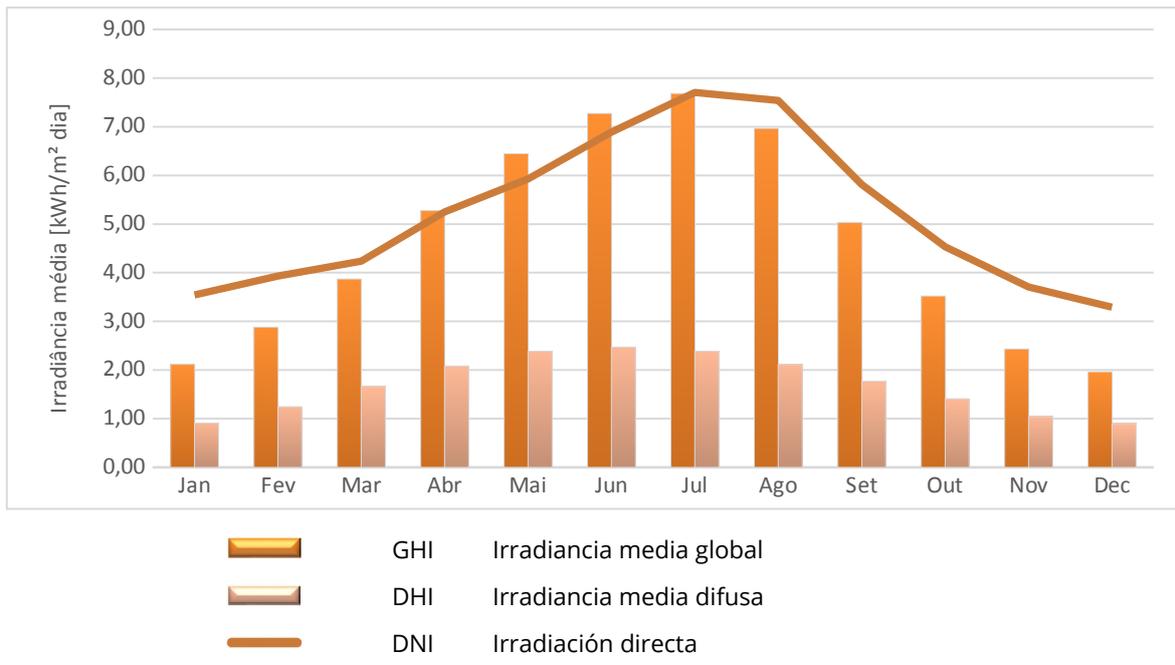


Figura 71 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Serpa.

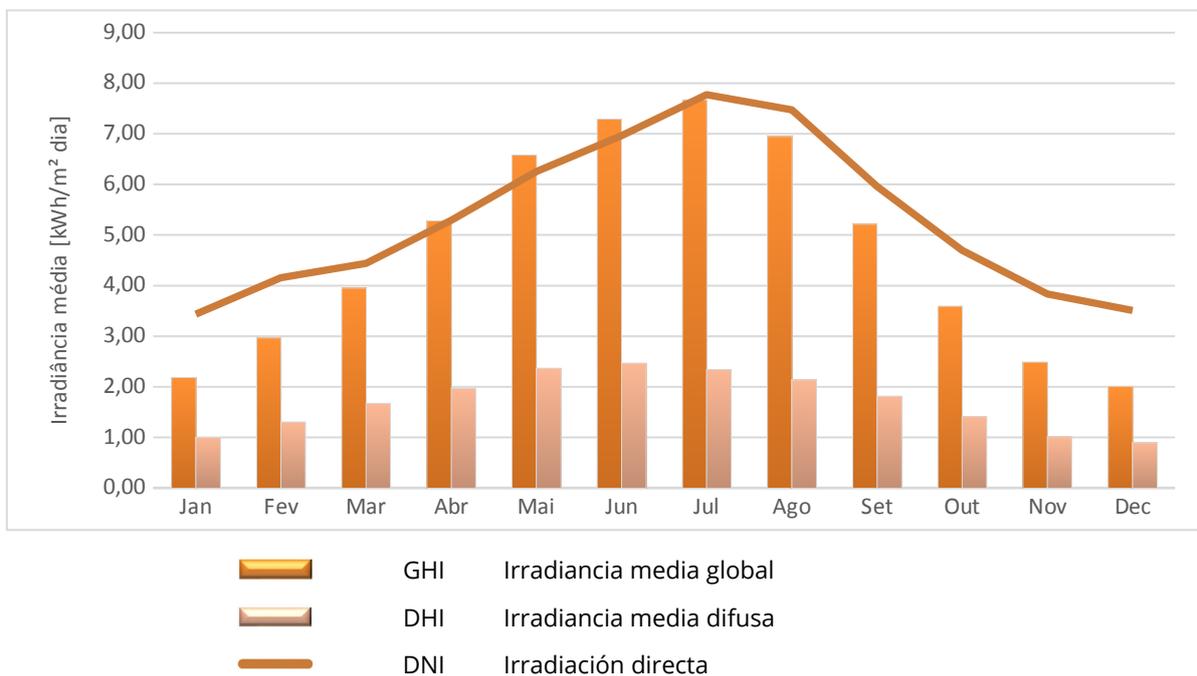


Figura 72 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Ventas nuevas.

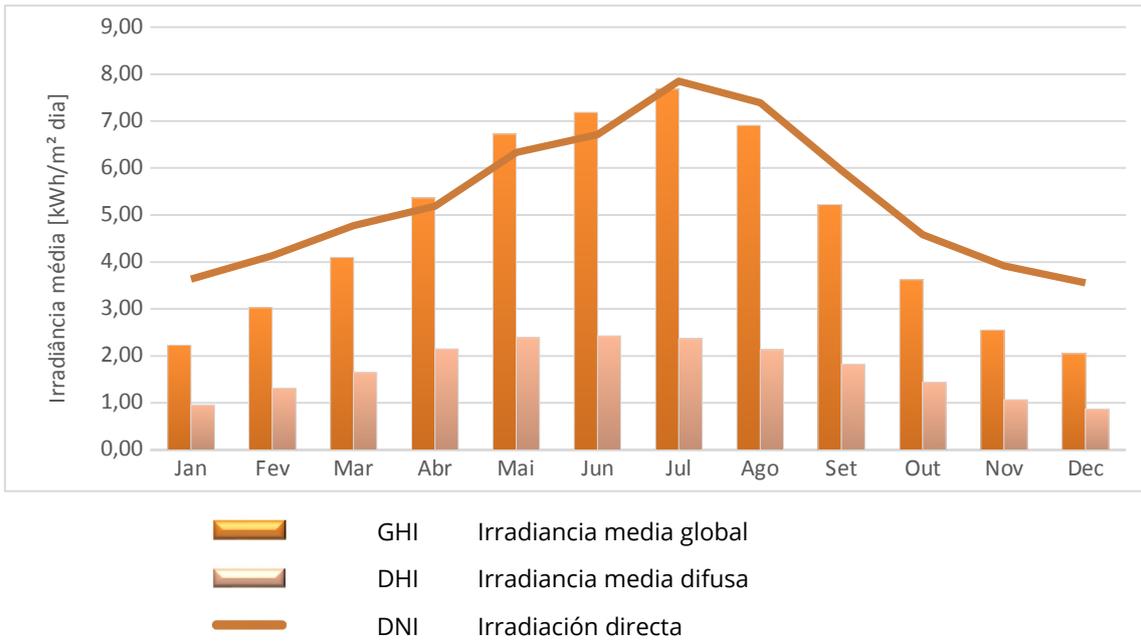


Figura 73 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Viana do Alentejo.

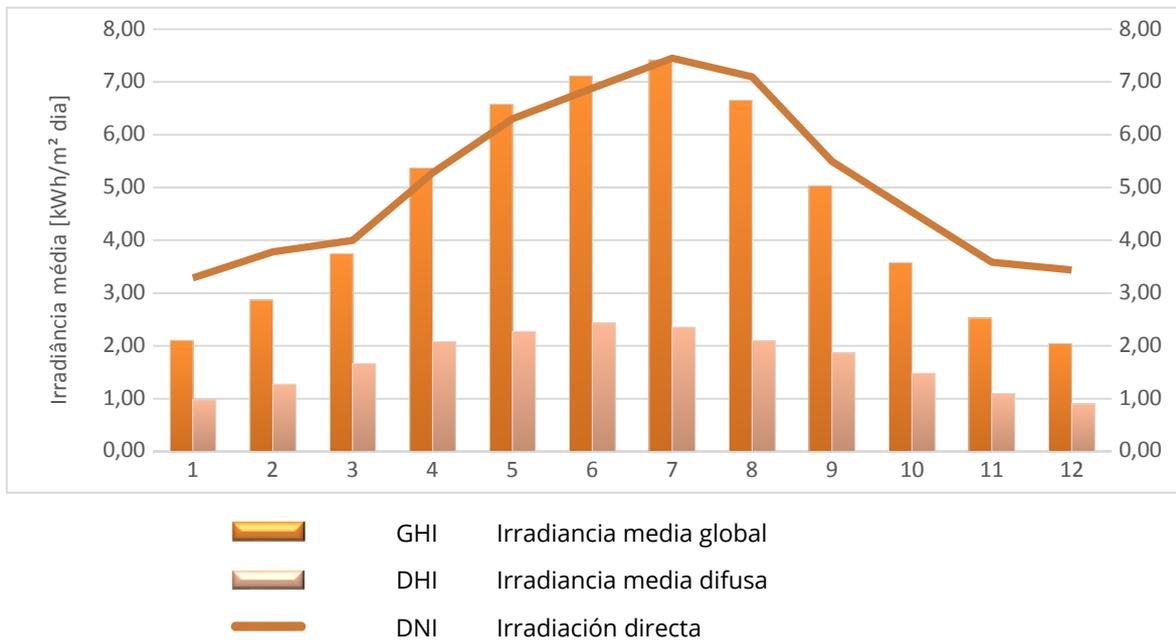


Figura 74 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vidigueira.

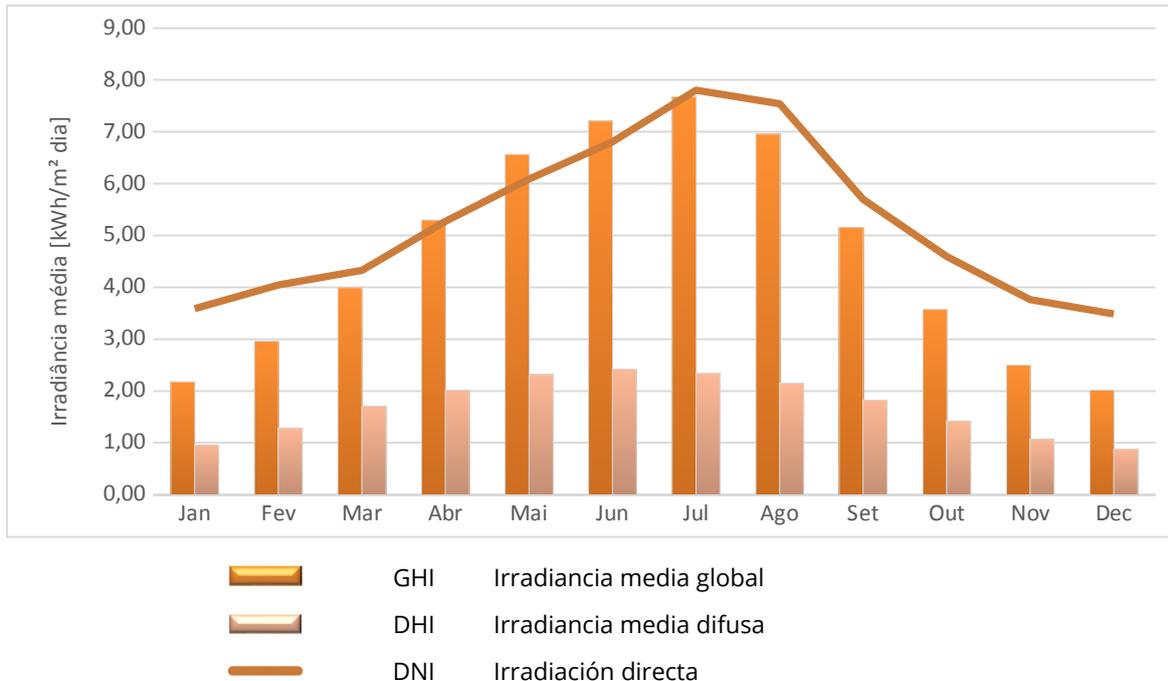


Figura 75 Estimación para el valor diario promedio de la irradiación media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en la Ribeira de Molinos de la empresa AdSA.

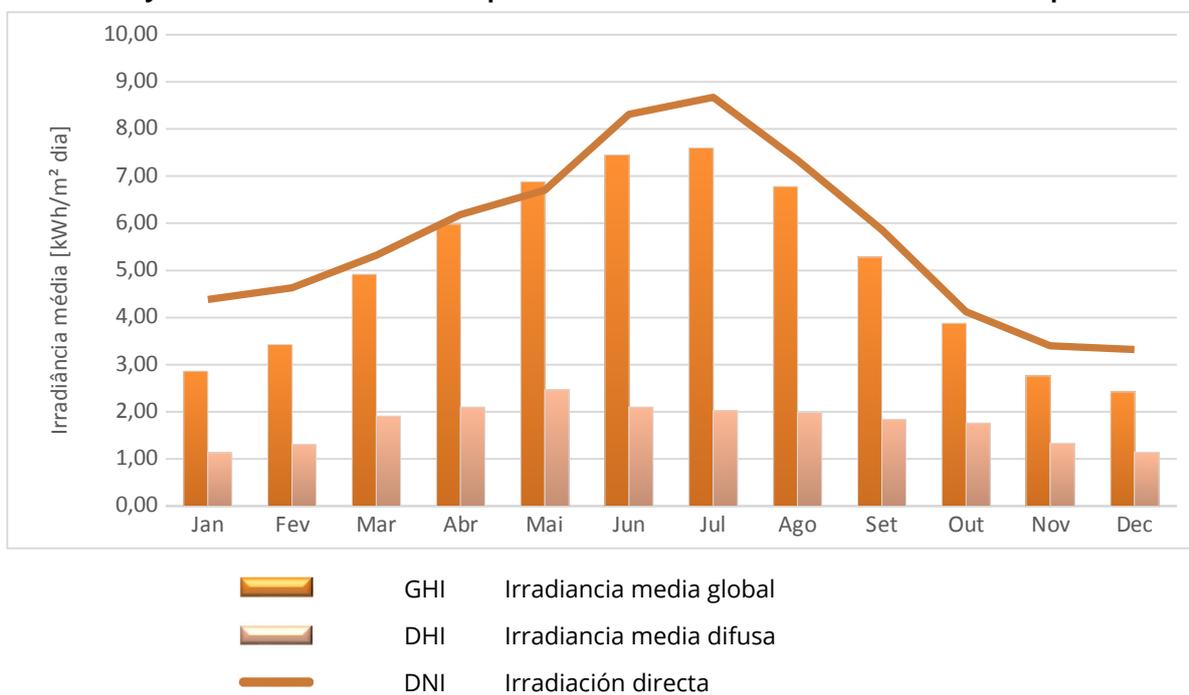


Figura 76 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Évora de la empresa AcA.

En las figuras anteriores se puede observar la variación mensual de la irradiancia diaria media disponible en los lugares de interés de la región del Alentejo. Como se esperaba, al igual que ocurre en la región del Algarve, existe una mayor disponibilidad del recurso solar durante los meses de verano, con un pico en julio, siendo también relevante en los meses de primavera. Al igual que para la región del Algarve, aunque con menor disponibilidad de recurso solar

durante los meses de invierno, debe ser posible operar el sistema de secado en los lugares arriba mencionados.

La tabla 17 presenta la estimación de los valores anuales para la irradiación global en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en los lugares de interés identificado en la región del Alentejo.

Tabla 17 - Intervalo de estimación de los valores anuales para la irradiación global en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en las principales instalaciones de tratamiento de residuos domésticos y aguas residuales del Alentejo

	GHI	DNI
	kWh/m ² ano	
RSU		
GESAMB	1 708 - 1 756	1 919 - 2011
AMCAL	1 715 - 1 756	1 936 - 1987
RESIALENTEJO	1 725 - 1 790	1 943 - 2017
EDAR		
Alcácer do Sal	1 700 - 1 737	1 914 - 1 927
Aljustrel	1 717 - 1 778	1 924 - 1 991
Almodôvar	1 712 - 1 803	1 896 - 2 045
Alvito	1 715 - 1 756	1 936 - 1 987
Beja	1 725 - 1 790	1 943 - 2 017
Castro Verde	1 719 - 1 785	1 921 - 2 033
Grândola	1 695 - 1758	1 895 - 1 965
Mértola	1 730 - 1 793	1 926 - 2 008
Montemor-o-Novo	1 702 - 1 723	1 924 - 1 932
Moura	1 738 - 1 780	1 955 - 2 022
Odemira	1 672 - 1 776	1 848 - 1 938
Ourique	1 705 - 1 782	1 908 - 1 993
Santiago do		
Cacém	1 686 - 1 759	1 867 - 1 951
Serpa	1 731 - 1 783	1 938 - 2 017
Vendas novas	1 689 - 1 716	1 900 - 1 914
Viana do Alentejo	1 712 - 1 756	1 943 - 1 996
Vidigueira	1 726 - 1 773	1 951 - 2 020
Ribeira de		
Moinhos	1 676 - 1 788	1 862 - 1 972
Évora	1 708 - 1 756	1 919 - 2 011

Los valores anuales estimados para la GHI y la DNI en la región de Alentejo indican que existe una significativa cantidad de recurso solar disponible para la utilización de sistemas solares térmicos. De esta forma existe un potencial técnico significativo para el aprovechamiento térmico de la energía solar en la región. En el caso de la región del Alentejo la disponibilidad estimada de radiación solar es ligeramente inferior al de la región del Algarve, pero aún así bastante apreciable

5.1.3 Andalucía

Como no se dispone de información detallada para todos los lugares donde se encuentran la

totalidad de las instalaciones de las centrales de tratamiento de residuos domésticos y las instalaciones de tratamiento de aguas residuales andaluzas, la información está disponible en términos de irradiación solar global y directa en el plano normal para todas las capitales de las provincias de Andalucía.

En los gráficos siguientes se representa la media diaria de la irradiación directa, difusa y global para las ocho capitales de las provincias de Andalucía (Sancho Ávila et al., 2012).

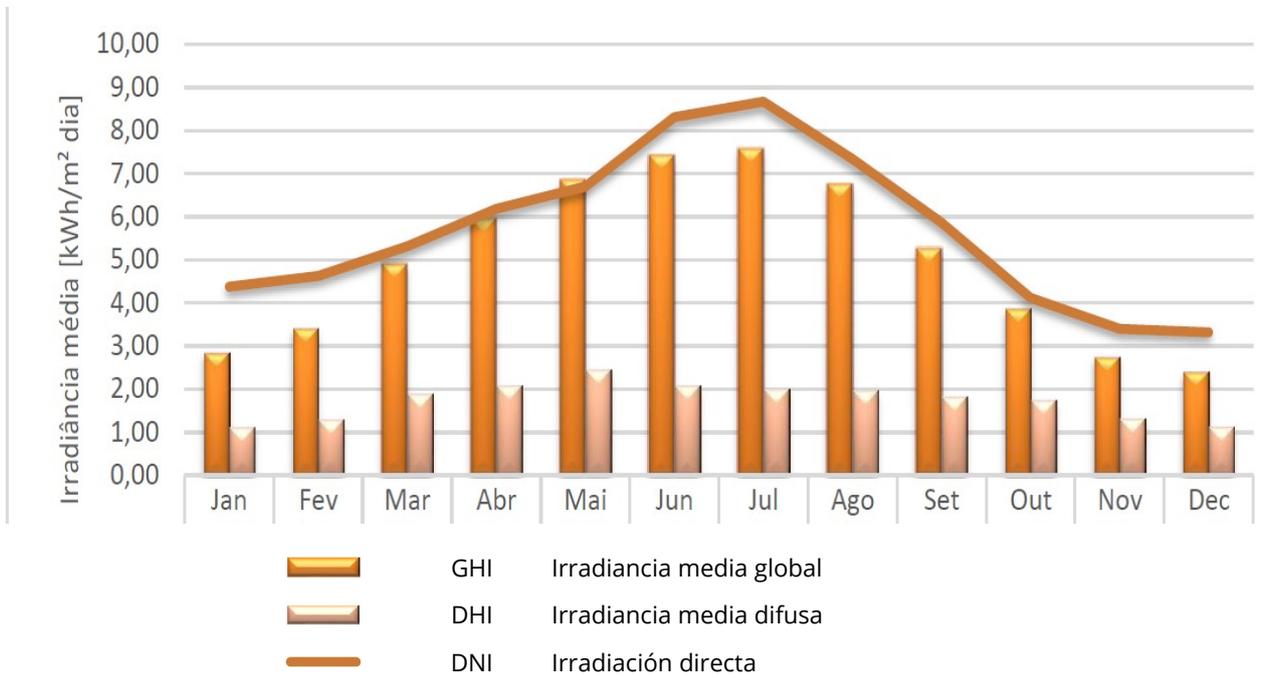


Figura 77 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Almería.

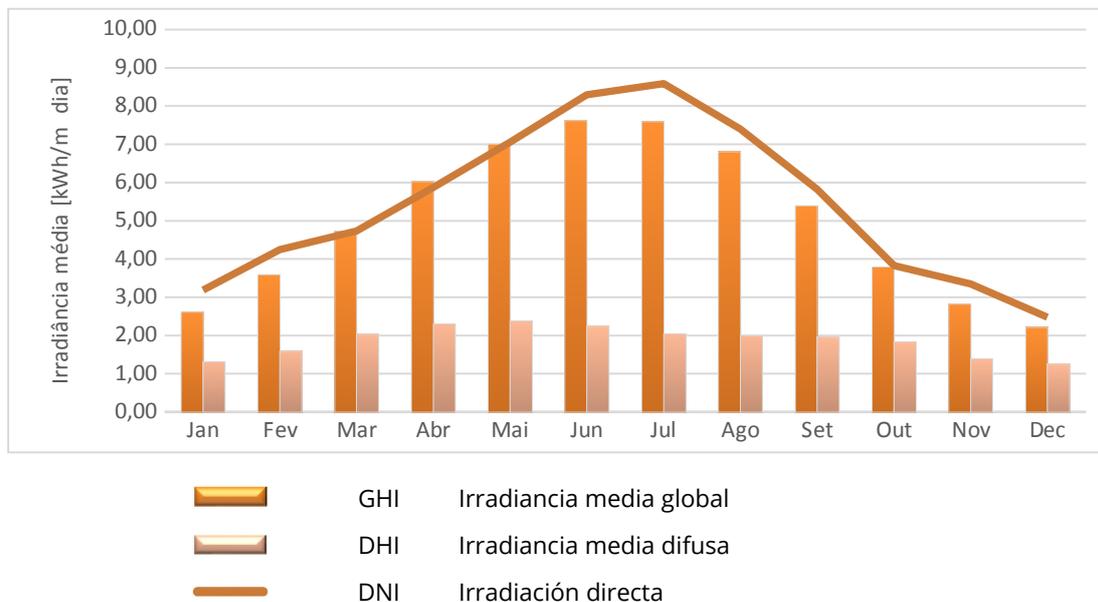


Figura 78 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Cádiz.

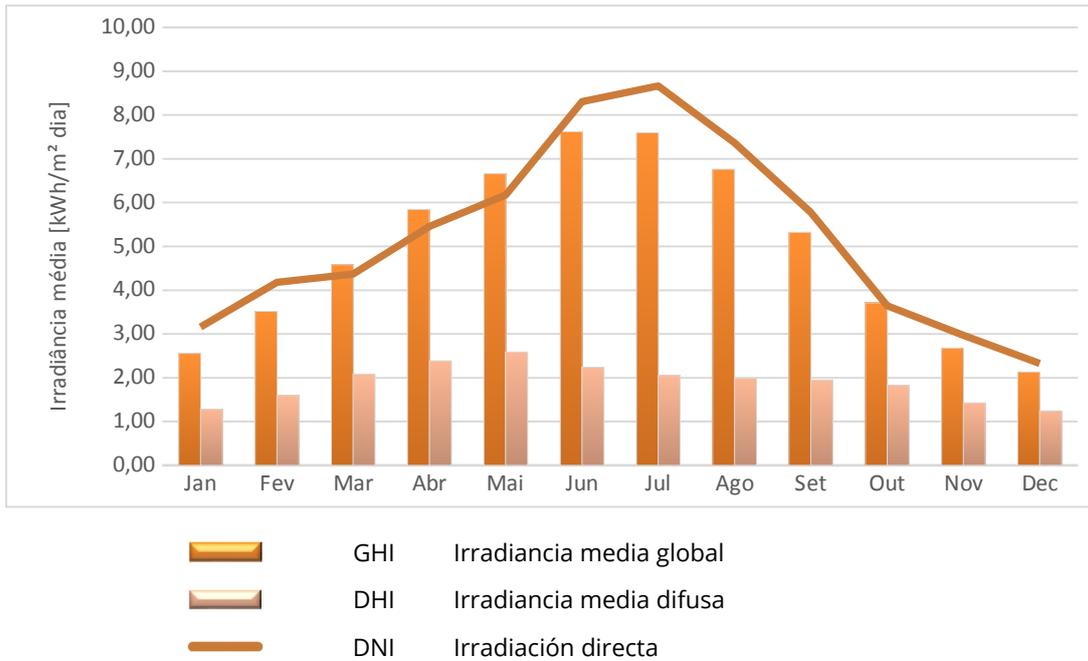


Figura 79 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Córdoba.

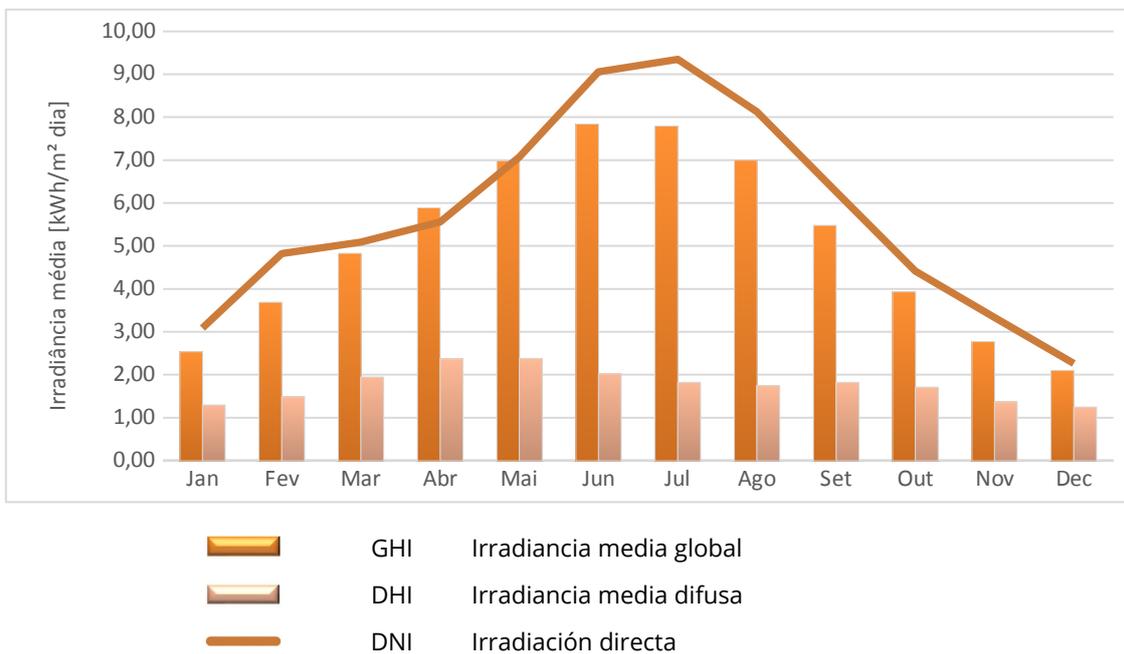


Figura 80 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Granada.

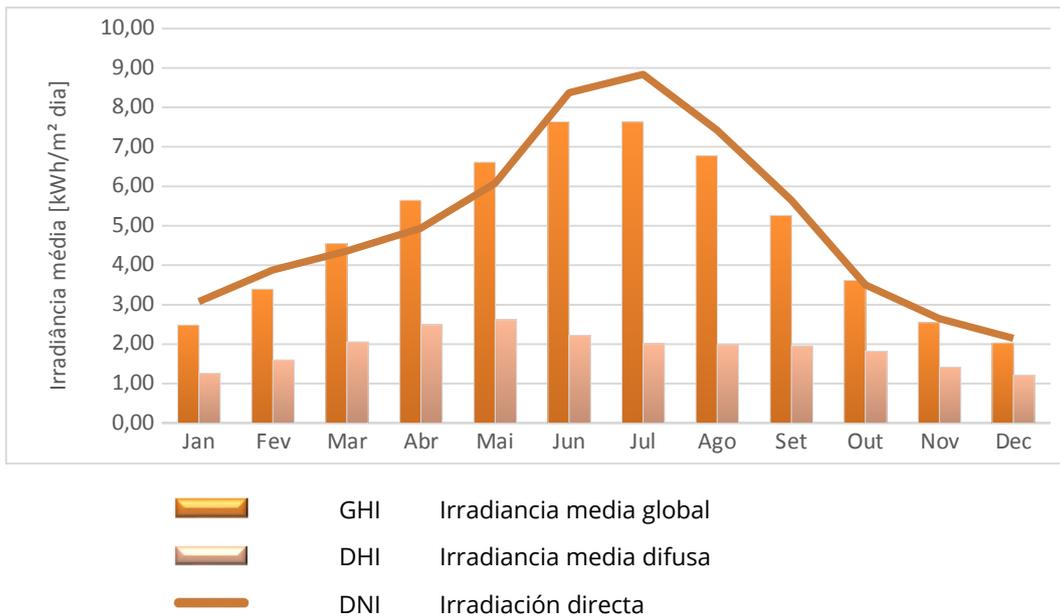


Figura 81 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Huelva.

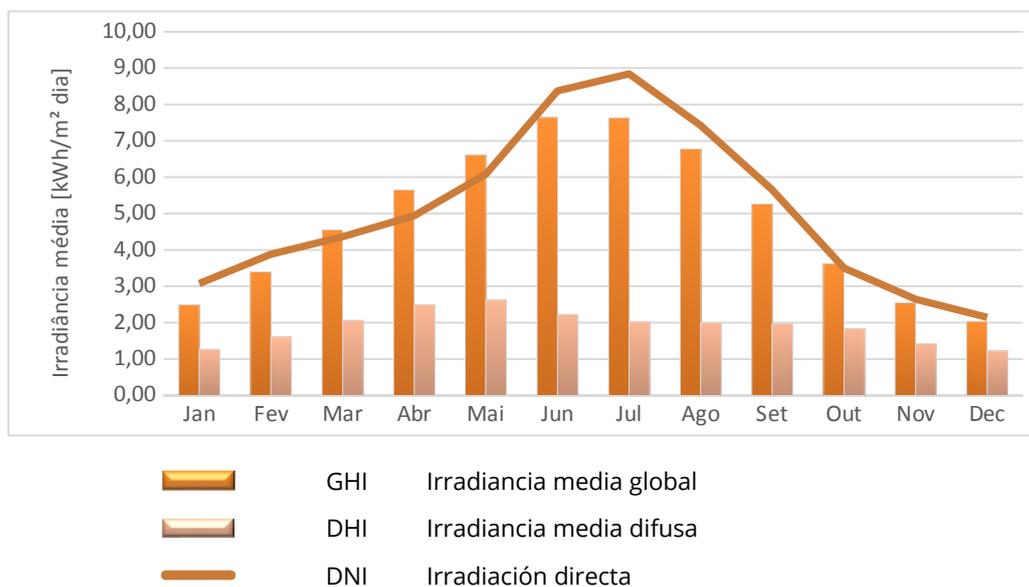


Figura 82 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Jaén.

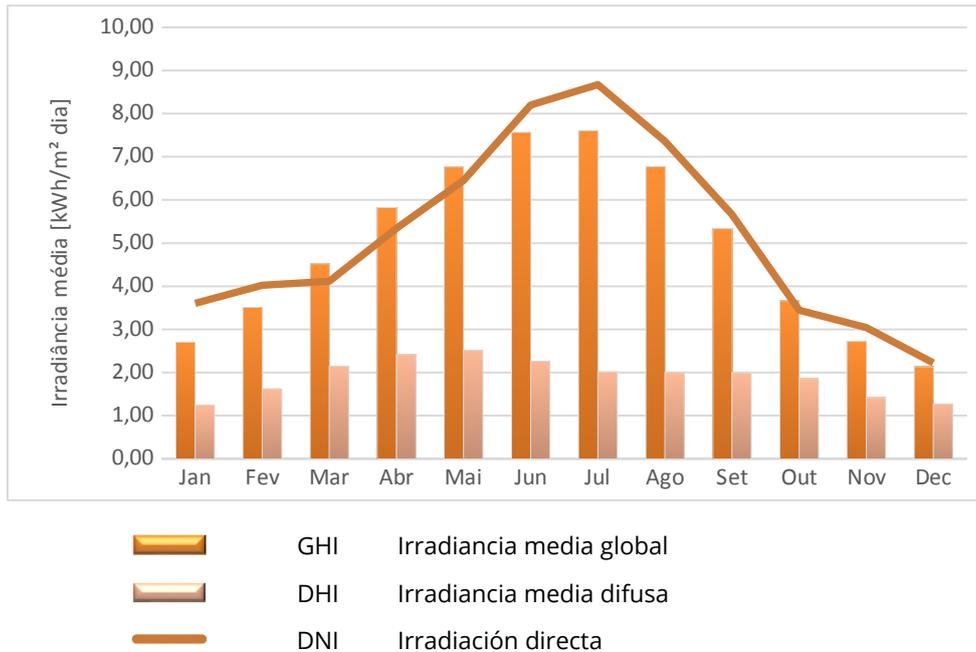


Figura 83 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Málaga.

$$m_{pot}^{sol} = \frac{q_{sol}}{q_{sec}}$$

Figura 84 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Sevilla.

Las cifras anteriores nos permiten observar la variación mensual de la irradiancia media diaria disponible en los lugares de interés en la región de Andalucía que representan de forma global perfiles no muy diferentes a los de las dos regiones portuguesas, en España, que tienen a nivel mundial, no muy diferentes perfiles existentes para las dos regiones portuguesas, presentando, no obstante, unos valores más altos que los portugueses. La tabla 18 presenta una estimación de los valores anuales para la irradiación global en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en los lugares de interés identificado en esta región.

Tabla 18 - Resumen del potencial de la radiación en los lugares de la región de Andalucía

	GHI	DNI
	kWh/m² ano	
Almería	1832	2077
Cádiz	1832	1971
Córdoba		
a	1781	1894
Granada	1792	1898
Huelva	1850	2080
Jaén	1770	1854
Málaga	1799	1891
Sevilla	1817	1989

A partir de los valores anuales estimados para el GHI y para el DNI en la región de Andalucía, se puede concluir que hay una significativa cantidad de energía solar disponible para ser aprovechada por los sistemas solares térmicos. De esta forma, existe un potencial técnico significativo para el aprovechamiento térmico de la energía solar en la región.

5.2 POTENCIAL TÉCNICO DE SECADO CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Las secciones anteriores presentan una estimación de la cantidad de energía solar disponible para alimentar los sistemas de secado solar, permitiendo estimar el potencial en términos de disponibilidad de la fuente de energía. Esta sección presenta una estimación del potencial de utilización de la energía solar en los dos procesos de secado de interés (CDR y lodos de ETAR), en términos de cantidad de materia procesada por unidad de área de captación de energía solar.

Para estimar el potencial técnico de secado con el recurso solar en los procesos de secado de lodos procedentes del sistema de tratamiento de aguas residuales y de secado de CDR procedentes del sistema de tratamiento de residuos domésticos, se considerará una evaluación simplificada de las necesidades de energía del proceso de secado. Así, se definió el potencial de secado con recurso de la energía solar térmica como:

$$m_{pot}^{sol} = \frac{q_{sol}}{q_{sec}} \quad (1)$$

onde q_{sol} representa la energía solar disponible para los procesos de secado por unidad de área de captación y q_{sec} la energía específica necesaria para secar un kg de materia. La energía solar disponible para el proceso de secado corresponde a la energía captada por el colector y transferida al fluido de trabajo. Para la presente estimación se considera que ésta depende del DNI y del rendimiento del colector de acuerdo com:

$$q_{sol} = \eta DNI \quad (2)$$

Para determinar el valor de q_{sec} se consideró un proceso de secado simplificado, donde el líquido es eliminado del sólido por evaporación, sin tener en cuenta procesos mecánicos de deshidratación, filtración y centrifugación. La cantidad mínima de calor requerida por el proceso de secado corresponde al calor latente de evaporación de la fracción líquida y al calor sensible utilizado para subir la temperatura del material (fracción líquida y fracción sólida) desde la temperatura de entrada hasta la temperatura de evaporación. De esta forma,

$$Q_{sec} = m_{H_2O}^{ev} \lambda_{H_2O} + \left[m_{H_2O} c_p^{H_2O} + (m_{in} - m_{H_2O}) c_p \right] (T_{op} - T_e) \quad (3)$$

donde $m_{H_2O}^{ev}$ representa la masa de agua evaporada, λ_{H_2O} el calor latente de evaporación del agua, m_{H_2O} la masa agua presente em el material a secar, $c_p^{H_2O}$ el calor específico del agua, m_i

la masa del material a secar, c_p el calor específico del material (lodos o CDR) totalmente seco, T_{op} la temperatura de operación del interior del secador – utilizada como estimación de la temperatura alcanzada por el material a secar - y T_e la temperatura de entrada del material a secar. La ecuación anterior puede ser reescrita en términos del contenido de humedad en base húmeda. Si se conoce el calor específico del fango o CDR seco se puede escribir:

$$Q_{sec} = m_{in} q_{sec} = m_{in} [(x_h - x_s) \lambda_{H_2O} + (x_h c_p^{H_2O} + (1 - x_h) c_p) (T_{op} - T_e)] \quad (4)$$

donde x_h e x_s representan respectivamente la fracción de humedad del material a secar y del material después del secado. Si se conoce el calor específico del material y del material completamente seco es preferible utilizar otra forma de la ecuación:

$$Q_{sec} = m_{in} q_{sec} = m_{in} [(x_h - x_s) \lambda_{H_2O} + c_p^h (T_{op} - T_e)] \quad (5)$$

donde c_p^h representa el calor específico del material por secar.

Para estimar el potencial de secado en las regiones del Algarve, Alentejo y Andalucía, se utilizaron las ecuaciones 2 y 4. Primero se estima el valor de la energía solar disponible con la ecuación 2 y luego se utilizó la ecuación 4 para estimar la cantidad de energía necesaria en el secado.

En el proceso de secado, cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la transferencia de calor y la evaporación. Sin embargo, existen algunas limitaciones de orden técnico relacionadas con el material a secar que limitan en la práctica la temperatura de operación. En el caso del secado de CDR, la temperatura alcanzada por el material no debe superar los 80 ° C, pues existen materiales plásticos constituyentes del CDR que tienen cambio de fase a 90 ° C (Energy Waste, 2012). Así, el valor de la temperatura del secado de CDR fue adoptado como 80 ° C, utilizando un valor para el calor latente de evaporación del agua a 80 ° C de 2.305,01 kJ kg⁻¹°C. La fracción de humedad en base húmeda del CDR por secar fue adoptada en el 50% y para el CDR después del secado se adoptó el valor del 10%.

En el proceso de secado de los lodos, las temperaturas pueden variar de 150 a 200 ° C. En este caso, para el secado de lodos se adoptó la temperatura de operación de 200 ° C, utilizando un valor para el calor latente de evaporación del agua a 200 ° C de 1950,2 kJ kg⁻¹. La temperatura ambiente en los dos casos se consideró igual a 25 ° C, igual a la temperatura de referencia para el material a secar. El calor específico del agua $c_p^{H_2O}$ utilizado fue 4,2 k J/kg ° C.

Los lodos de EDAR se caracterizan por un alto contenido de humedad, algunos superior al 83% (Banegas et al., 2007). La fracción de humedad en base húmeda de los lodos por secar considerada en esta estimación fue 83% y después del secado 5%. Si el contenido de humedad en los lodos es superior al 5-6% no puede almacenarse, ya que puede originar el crecimiento de microorganismos y originar autocombustión del producto.

Considerando estos supuestos se obtuvo un valor de q_{sec} para el secado de lodos de 0,6226 kWh/kg y para el secado de CDR de 0,32 kWh/kg.

Para las regiones del Algarve, Alentejo y Andalucía, se utilizaron los valores de DNI anuales presentados en las tablas 16, 17 y 18. El rendimiento promedio del colector solar fue estimado en un 71% hasta una temperatura de operación de 350 °C (Kutscher et al. al., 2010). Esta eficiencia se utilizó para calcular la energía solar suministrada por el colector para el secado en cada uno de los lugares de interés de las diferentes regiones de Portugal y España.

Para secar un kilo de lodos es necesario entre 1,5 a 12 MJ / kg de energía, dependiendo del porcentaje de humedad en el producto, la temperatura en el proceso de secado y la eficiencia en el proceso (APDA, 2010). En el caso del secado del CDR, la cantidad de energía necesaria es menor, esto va a depender también de factores como el porcentaje de humedad, eficiencia en el proceso de secado, etc.

Hay que señalar que las estimaciones que se presentan están dotadas de un grado de incertidumbre asociado a las premisas adoptadas. Por ejemplo, a utilización de un secador ideal, a utilización de un valor medio para la eficiencia del colector que en realidad depende del colector escogido y del punto de operación del mismo o la ocurrencia de diferentes condiciones meteorológicas que influyen la eficiencia del colector y del contenido de humedad de los materiales a secar. La Tabla 19 presenta la estimación de la cantidad de lodos y CDR que se puede secar por unidad de área de captación de energía solar en un año tipo para las ubicaciones de referencia de la región del Algarve.

Tabla 19 - Resultados de la estimación de la capacidad específica de secado para un año típico en las instalaciones de la región del Algarve.

	Q_{sec} kg/(m ² año)
RSU	
Algar	4 090 - 4 566
ETAR	
Boa Vista	2 117 - 2 420
Companheira	2 178 - 2 397
Albufeira	2 137 - 2 413
Almargem	2 194 - 2 357
Faro Noroeste	2 188 - 2 453
Lagos	2 067 - 2 332
Vale do Faro	2 137 - 2 413
Olhão Nascente	2 178 - 2 397
Vilamoura	2 154 - 2 395
V. R. Santo Antonio	2 196 - 2 394

Como se indica en la Tabla 20, existe un potencial de secado solar para la localización de la unidad de TMB de la empresa ALGAR entre 4.090 kg/(m² año) y 4.566 kg/(m² año) de CDR. Los resultados sugieren que el lugar con mayor potencial para el secado de lodos en el Algarve

corresponde a la EDAR de Faro Noroeste, cuyos valores varían entre $2.188 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ año})$ y $2.453 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ año})$.

La Tabla 20 se muestran los resultados referentes a la estimación del secado de lodos en las estaciones de tratamiento de aguas residuales y CDR para la región de Alentejo.

Tabla 20 - Resultados de la estimación de la capacidad específica de secado para un año típico en las instalaciones de la región del Alentejo.

	Q_{sec}
	$\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ año})$
RSU	
GESAMB	4 260 - 4 462
AMCAL	4 296 - 4 409
RESIALENTEJO	4 313 - 4 475
ETAR	
Alcácer do Sal	2 184 - 2 198
Aljustrel	2 194 - 2 271
Almodôvar	2 162 - 2 332
Alvito	2 208 - 2 266
Beja	2 217 - 2 300
Castro Verde	2 191 - 2 318
Grândola	2 161 - 2 241
Mértola	2 197 - 2 290

Tabla 20 - Resultados de la estimación de la capacidad específica de secado para un año típico en las instalaciones de la región del Alentejo. (Continuación)

	Q_{sec}	
	$\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ año})$	
EDAR		
Mértola	2 197	2 290
Montemor-o-Novo	2 194	2 203
Moura	2 230	2 306
Odemira	2 107	2 210
Ourique	2 176	2 273
Santiago do Cacém	2 130	2 225
Serpa	2 211	2 300
Vendas novas	2 167	2 183
Viana do Alentejo	2 216	2 276
Vidigueira	2 225	2 304
Ribeira de Moinhos	2 124	2 249
Évora	2 189	2 293

Para la UTMB de RESIALENTEJO se estimó un potencial de secado de entre $4.313 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ año})$ y $4.475 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ año})$ de CDR, siendo este valor el más elevado en comparación con los resultados obtenidos para la localización de las instalações de GESAMB y AMCAL. En el caso del secado de lodos, la instalación que presentó un mayor potencial fue la EDAR de Almodovar, con una capacidad estimada de secado de $2.162 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ año})$ a $2.332 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ año})$.

La Tabla 21 presenta los resultados de la estimación anual de la capacidad de secado para las

provincias de Andalucía

Tabela 21 - Resultados de la estimación de la capacidad específica de secado para un año típico en las provincias de Andalucía.

	Q_{sec}	Q_{sec}
	CDR	Lamas
	kg/(m ² año)	kg/(m ² año)
Almería	4 608	2 368
Cádiz	4 371	2 247
Córdoba	4 203	2 160
Granada	4 212	2 165
Huelva	4 615	2 372
Jaén	4 112	2 113
Málaga	4 197	2 157
Sevilla	4 413	2 267

Para Andalucía la estimación del potencial técnico de secado de CDR varía entre 4.112 $kg/(m^2 \text{ año})$ y 4.608 $kg/(m^2 \text{ año})$. Para el secado de lodos procedentes del depuramiento aguas residuales, los valores se sitúan entre los 2 113 $kg/(m^2 \text{ año})$ y los 2 372 $kg/(m^2 \text{ año})$.

5. CONCLUSIONES

El informe identifica los principales procesos utilizados en el tratamiento de los residuos sólidos municipales y las aguas residuales en Portugal y España, verificando la existencia de un conjunto de procesos térmicos que puede ser alimentada con energía solar, concretamente el proceso de secado de lodos y de los combustibles derivados de residuos.

Se identificaron las principales entidades responsables del tratamiento de estos residuos y se localizaron las principales estaciones de tratamiento. Se comprobó que tanto las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y de residuos sólidos urbanos se encuentran distribuidas de forma regular por todo el territorio objeto de análisis (Algarve, Alentejo y Andalucía).

Se estimó la irradiación directa en el plano normal para las localidades que poseen equipos de tratamiento de los residuos objeto de estudio en este documento, observándose que existe una disponibilidad relevante de energía solar térmica para aplicaciones de secado con utilización de sistemas solar de concentración.

El potencial de uso de la energía solar térmica en los procesos de secado estudiado en el proyecto SECASOL fue estimado en términos de la cantidad de materia que es posible secar por unidad de área de captación de energía solar. Para ello se asumieron condiciones típicas de estos procesos.

Para el proceso de secado de CDR se verificó que en las instalaciones del Algarve deberá ser posible secar entre $4\,090\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$ y $4\,566\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$, teniendo en cuenta los valores de DNI estimados. Los valores estimados para el Alentejo se sitúan entre los $4\,296\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$ y los $4.475\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$. Para Andalucía estos valores se sitúan entre los $4\,112\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$ y los $4\,608\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$.

Para el proceso de secado de lodos procedentes de EDAR se comprobó que en las instalaciones del Algarve es posible secar entre $2.067\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$ a $2\,453\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$ de lodos, teniendo en cuenta los valores de DNI estimados. Los valores estimados para el Alentejo se sitúan entre los $2\,107\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$ y los $2\,332\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$. Para Andalucía estos valores se sitúan entre los $2\,113\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$ y los $2\,372\text{ kg}/(\text{m}^2\text{ año})$.

Estos valores representan una estimación global del potencial de utilización de energía solar térmica en estos procesos de secado que puede considerarse en una fase de planificación y evaluación preliminar

6. ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

6.1. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Línea de aguas(parte superior). Línea de lodos (parte central). Utilización de biogás (parte inferior). (Fuente: Trindade Rodrigues Silva Moura, 2011).....	11
Figura 2 - Sistema de tratamiento secundario y con eliminación de nutrientes (Di Berardino and Miranda, 2018).....	12
Figura 3 - Procesos de tratamientos avanzados o terciarios.....	13
Figura 4 - Configuración de un sistema de lechos de macrófitas para la deshidratación de los lodos (Melidis et al., 2010).....	27
Figura 5 - Diagrama de flujo general para un proceso de secado térmico.....	31
Figura 6 - Proceso de secado parcial y completo de lodos deshidratados.....	34
Figura 7 - Diagrama de flujo del proceso Carver-Greenfield (CG).....	35
Figura 8 - Diagrama de flujo de la central Hyperion Energy Recovery System (HERS).....	36
Figura 9 - Ciclo de gestión de los residuos domésticos (Instituto de Geociencias y Ciencias Exactas -UNESP, 2015).....	40
Figura 10 - Estación de transferencia de GESAMB. (Fuente: GESAMB).....	41
Figura 11 – Ejemplo de equipamiento para el depósito de residuos valorizables (Fuente: GESAMB).	41
Figura 12 - Fases del tratamiento mecánico biológico (TMB) (Thomé, 2013).....	43
Figura 13 - Tecnologías de concentración solar térmica: a) Cilindro parabólico, b) Fresnel Linear, c) Torre central y d) Disco Parabólico.....	48
Figura 14 - Estación de tratamiento de aguas residuales utilizando los concentradores de cilindros parabólicos para el secado de los lodos Fuente: Helio CSP.....	49
Figura 15 - Reactor Fotográfico Solar (Adaptado de CSEM - United Arab Emirates, 2013).....	52
Figura 16 - Localización geográfica do Alentejo, Algarve e Andalucía.....	54
Figura 17 - Ubicación de los vertederos y EDAR en el Algarve (Adaptado de Google Maps).....	55
Figura 18 - Mapa de la región del Algarve con la infraestructura de Algar (Fuente: GESAMB).....	56
Figura 19 - Evolución de la captación de residuos doméstico en el Algarve por la empresa Algar. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	57
Figura 20 - Gráfico de los destinos de los residuos domésticos en el Algarve (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	57
Figura 21 - Sistema multimunicipal de abastecimiento de agua y saneamiento de aguas residuales del Algarve. (Fuente: Águas do Algarve).....	58
Figura 22 - Localización de los vertederos y las EDAR en la región de Alentejo (Adaptado de Google Maps).....	59
Figura 23 - Infraestructuras que pertenecen a GESAMB. Fuente: GESAMB.....	61
Figura 24 - Flujograma de las operaciones de tratamiento de residuos domésticos en GESAMB...	62

Figura 25 - Cantidades mensuales de materia residual recepcionada (2015). (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	63
Figura 26 - Destino de los residuos domésticos. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).	66
Figura 27 - Evolución de la capitación de los residuos domésticos desde 2013 hasta 2017 por la empresa AMCAL. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	67
Figura 28 - Destinos finales de los residuos domésticos tratados por la empresa AMCAL (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	67
Figura 29 - Evolución de la capitación de residuos domésticos desde 2013 hasta 2017 por la empresa RESIALENTEJO (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	68
Figura 30 - Destinos finales de los residuos domésticos gestionados por la empresa RESIALENTEJO. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	68
Figura 31 - Evolución de la capitación de residuos domésticos desde 2013 hasta 2017 por la empresa AMBILITAL. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	69
Figura 32 - Destinos finales de los residuos domésticos gestionados por la empresa AMBILITAL (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	69
Figura 33 - Evolución de la capitación de residuos domésticos desde 2013 hasta 2017 por la empresa VALNOR. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	70
Figura 34 - Destinos finales de los residuos domésticos gestionados por la empresa VALNOR. (Fuente: Agencia Portuguesa de Medio Ambiente).....	70
Figura 35 - Estaciones de tratamiento de aguas residuales en Andalucía. Número de estaciones de tratamiento de agua construidas. (Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio).....	73
Figura 36 - EDAR en Andalucía. (Fuente: Solar Concentra- Solatom CSP s.1).....	74
Figura 37 - Destino final de los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales (miles de toneladas de materia seca). (Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).....	78
Figura 38 - Tratamiento de aguas residuales en Guadalhorce (Fuente: EMASA).....	79
Figura 39 - EDAR de Guadalhorce. (Fuente: EMASA).....	79
Figura 40 - Central de tratamiento de Villarasa.....	80
Figura 41 - Central de tratamiento de residuos domésticos del Andevalo.....	80
Figura 42 – Distribución de la DNI en Portugal. Fuente: Solargis.....	82
Figura 43 - Distribución de la DNI en España. Fuente: Solargis.....	83
Figura 44 – Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Puerto de Lagos.....	85
Figura 45 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Boa Vista.....	86
Figura 46 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Compañera.....	86
Figura 47 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Albufeira.....	87

Figura 48 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Almargem.....87

Figura 49 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Faro Noroeste.....88

Figura 50 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Lagos.....88

Figura 51 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vale do Faro.....89

Figura 52 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Olhão Nascente.....89

Figura 53 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vila Real do Santo Antonio.....90

Figura 54 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vilamoura.....90

Figura 55 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Évora.....92

Figura 56 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vila Ruiva.....92

Figura 57 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal del Aterro Sanitariol Resialentejo.....93

Figura 58 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Alcacer do Sal.....93

Figura 59 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Aljustrel.....94

Figura 60 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Almodóvar.....94

Figura 61 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Alvito.....95

Figura 62 - Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Beja.....95

Figura 63 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Castro Verde.....96

Figura 64 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Grândola.....96

Figura 65 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Mértola.....97

Figura 66 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Montemor-o-Novo.....97

Figura 67 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Moura.....98

Figura 68 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Odemira.....98

Figura 69 - Estimación para el valor diario medio de la irradiación media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Ourique.....99

Figura 70 Estimación para el valor diario promedio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Santiago del Cacém.....99

Figura 71 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Serpa.....100

Figura 72 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Ventas nuevas.....100

Figura 73 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Viana do Alentejo.....101

Figura 74 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Vidigueira.....101

Figura 75 Estimación para el valor diario promedio de la irradiación media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en la Ribeira de Molinos de la empresa AdSA.....102

Figura 76 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en Évora de la empresa AcA.....102

Figura 77 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Almeria.....104

Figura 78 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Cádiz.....104

Figura 79 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Córdoba.....105

Figura 80 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Granada.....105

Figura 81 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Huelva.....106

Figura 82 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Jaén.....106

Figura 83 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Málaga.....107

Figura 84 - Estimación para el valor diario medio de la irradiancia media global y difusa en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano horizontal en Sevilla.....107

6.2. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Parámetros de caracterización de las aguas residuales.....	8
Tabla 2 - Operaciones y procesos usados para el tratamiento de aguas residuales.....	15
Tabla 3 - Eficiencia de eliminación de contaminantes químicos – Niveles de tratamiento primario, secundario, terciario y avanzado.....	16
Tabla 4 - Tratamientos biológicos más utilizados y sus ventajas e inconvenientes.....	16
Tabla 5 - Tratamientos terciarios.....	17
Tabla 6 - Procesos termoquímicos.....	26
Tabla 7 - Poder calorífico superior de los diferentes tipos de lodos.....	35
Tabla 8 - Cantidades anuales de material recepcionado y depositado en el vertedero (2014-2015)..	63
Tabla 9 - Material recepcionado (recogida selectiva).....	64
Tabla 10 - Entradas y salidas de material (RSU Indiferenciados) en UTMB (2015).....	64
Tabla 11 - Cantidades mensuales de residuos domésticos separados en la UTMB.....	65
Tabla 12 - Tratamiento de lixiviados (ETAL – GESAMB 2014 e 2015).....	65
Tabla 13 - Perfil del sistema de saneamiento de Aguas Residuales en el año 2016 de la empresa AgdA. (Fuente: AgdA).....	71
Tabla 14 - Número de Estaciones de Tratamiento para poblaciones >2 000 habitantes. (Fuente: Junta de Andalucía).....	74
Tabla 15 - Tratamientos utilizados en la provincias de Andalucía. (Fuente: CENTA).....	75
Tabla 16 - Intervalos de estimación de los valores anuales para la irradiación global en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en las principales instalaciones de tratamiento de residuos domésticos y aguas residuales del Algarve.....	91
Tabla 17 - Intervalo de estimación de los valores anuales para la irradiación global en el plano horizontal y la irradiación directa en el plano normal en las principales instalaciones de tratamiento de residuos domésticos y aguas residuales del Alentejo.....	103
Tabla 18 - Resumen del potencial de la radiación en los lugares de la región de Andalucía.....	107
Tabla 19 - Resultados de la estimación de la capacidad específica de secado para un año típico en las instalaciones de la región del Algarve.....	110
Tabla 20 - Resultados de la estimación de la capacidad específica de secado para un año típico en las instalaciones de la región del Alentejo.....	111
Tabela 21 - Resultados de la estimación de la capacidad específica de secado para un año típico en las provincias de Andalucía.....	112

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Agência Portuguesa do Ambiente, 2017. Relatório Anual - Resíduos Urbanos.
- ✓ Aguiar, R., 2004. Procedimentos de Construção de Anos Meteorológicos Representativos para o RSECE. Lisboa.
- ✓ Aguiar, R., 1998. Dados Meteorológicos para Energias Renováveis e URE em Portugal (Projecto P-CLIMA) Relatório final do Projecto ALTENER XVII/4.1030/Z/98-92). Lisboa.
- ✓ Aguiar, R., 1996. Geração de Séries Meteorológicas Sintéticas para Portugal. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- ✓ Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F., 2007. Sludge Treatment and Disposal. IWA, London.
- ✓ Andrezzi, R., Caprio, V., Insola, A., Marotta, R., 1999. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. Catal. today 51–59.
- ✓ APDA, 2010. Valorização Energética de Lamas de ETAR nos Fornos de Cimento.
- ✓ Bahnemann, D., 1999. Photocatalytic detoxification of polluted waters, The Handbook of Environmental Chemistry. Berlin.
- ✓ Banegas, V., Moreno, J.L., Moreno, J.I., García, C., León, G., Hernández, T., 2007. Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. Waste Manag. 27, 1317–1327. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.09.008>
- ✓ Bitton, G., 2005. Wastewater Microbiology, 4th ed. John Wiley & Sons.
- ✓ Burrows, H.D., Canle, M., Santaballa, J.A., Steenken, K., 2002. Reaction pathways and mechanisms of photodegradation of pesticides. J. Photochem. Photobiol. B Biol. 67, 71–108. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(02\)00277-4](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(02)00277-4)
- ✓ Cavaco, A., Silva, H., Canhoto, P., Neves, S., Neto, J., Pereira, M.C., 2016. Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade , mensal e anual 1–32. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15908.27527>
- ✓ CDCP, 2010. Centres for Disease Control and Prevention [WWW Document].
- ✓ Comninellis, C., Kapalka, A., Malato, S., Parsons, S.A., Poullos, I., Mantzavinos, D., 2008. Advanced Oxidation Processes for Water Treatment. J. Chem. Technol. Biotechnol. 769–776. <https://doi.org/10.1002/jctb.1873>

- ✓ Cooper, P.I., 1973. The maximum efficiency of single-effect solar stills. *Sol. Energy* 15, 205–214. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(73\)90085-6](https://doi.org/10.1016/0038-092X(73)90085-6)
- ✓ CSEM - United Arab Emirates, 2013. Waste water Treatment using Solar UV Radiation [WWW Document]. UAE Innovarion Cent. LLC. URL www.csem-uae.com (accessed 7.19.15).
- ✓ Di Berardino, S., Miranda, M., 2018. Guidelines for wastewater treatment - Re-design of the dairy industry for sustainable milk processing, Susmilk Project (Derivable D4.5).
- ✓ Doll, T.E., Frimmel, F.H., 2015. Removal of selected persistent organic pollutants by heterogeneous photocatalysis in water. *Catal. Today* 101, 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.03.005>
- ✓ Dufour, P., 2006. Control engineering in drying technology: Review and trends. *Dry. Technol.* 24, 889–904. <https://doi.org/10.1080/07373930600734075>
- ✓ Energy Waste, 2012. Review of alternative pre-treatment equipment [WWW Document]. URL http://www.energywaste.gr/pdf/Deliverable_3.1_Review_of_alternative_pretreatment_equipment.pdf
- ✓ Eurostat, 2017. Waste Statistics/es. Regul. No 2150/2002 1–13.
- ✓ Fernández-Alba, A.R., Hernando, D., Aguera, A., Cáceres, J., Malato, S., 2002. Toxicity assays: a way for evaluating AOPs efficiency. *Water Res.* 36, 4255–4262. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00165-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00165-3)
- ✓ Fujishima, A., Rao, T.N., Tryk, D.A., 2000. Titanium dioxide photocatalysis. *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.* 1, 1–21. [https://doi.org/10.1016/S1389-5567\(00\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S1389-5567(00)00002-2)
- ✓ Gogate, P.R., Pandit, A.B., 2003. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. *Adv. Environ. Res.* 8, 501–551.
- ✓ Guillard, C., Disdier, J., Monnet, C., Dussaud, J., Malato, S., Blanco, J., Maldonado, M.I., Herrmann, J.-M., 2003. Solar efficiency of a new deposited titania photocatalyst: chlorophenol, pesticide and dye removal applications. *Appl. Catal. B Environ.* 46, 319–332. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(03\)00264-9](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(03)00264-9)
- ✓ Gummy, D., Bowen, C., Pulgarin, C., 2006. Catalytic activity of commercial of TiO₂ powders for the abatement of the bacteria (*E. coli*) under solar simulated light: Influence of the isoelectric point. *Appl. Catal. B Environ.* 63, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2005.09.013>
- ✓ Hay, S.O., Obe, T.N., 1999. The Augmentation of UV Photocatalytic Oxidation with

TraceQuantities of Ozone. Adv. Oxid. Technol. 4, 209–218.

- ✓ Hincapié, M., Maldonado, M.I., Oller, I., Gernjak, W., Sánchez-Pérez, J.A., Ballesteros, M.M., Malato, S., 2005. Solar photocatalytic degradation and detoxification of EU priority substances. *Catalysis Today* 101, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.03.004>
- ✓ Instituto de Geociências e ciências exatas -UNESP, 2015. Ciclo de gerenciamento de resíduos “da Geração à disposição.”
- ✓ Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2015. Temperatura média Período 1971-2000, Portugal (Continente) [WWW Document]. URL <http://portaldoclima.pt/pt/> (accessed 11.3.18).
- ✓ Kamat, P. V., Meisel, D., Weller, H., Eychmuller, A., 1996. Semiconductor Nanoclusters - Physical, Chemical and Catalytic Aspects. <https://doi.org/9780080540931>
- ✓ Karwat, B., Głowiński, D., Stańczyk, E., 2014. Using alternative fuels in the production of cement 25, 35–38.
- ✓ Kutscher, C., Burkholder, F., Stynes, K., 2010. Generation of a Parabolic Trough Collector Efficiency Curve from Separate Measurements of Outdoor Optical Efficiency and Indoor Receiver Heat Loss, in: NREL (Ed.), . p. 10.
- ✓ Malato, S., 2007. Waste water treatment by advanced oxidation processes (solar photocatalysis in degradation of industrial contaminants).
- ✓ Malato, S., Blanco, J., Vidal, A., Alarcón, D., Maldonado, M.I., Cáceres, J., Gernjak, W., 2003. Applied studies in solar photocatalytic detoxification: an overview. *Sol. Energy* 75, 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.017>
- ✓ Malato, S., Blanco, J., Vidal, A., Richter, C., 2002. Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview. *Appl. Catal. B Environ.* 37, 1–15. [https://doi.org/Advanced oxidation processes \(AOPs\) are characterized by a common chemical feature: the capability of exploiting the high reactivity of OH radicals in driving oxidation processes which are suitable for achieving the complete abatement and through mineralization of even less reactive pollutants. This paper reviews the use of sunlight to produce OH radicals. The experimental systems necessary for performing pilot-plant scale solar photocatalytic experiments are described. It outlines the basic com](https://doi.org/Advanced oxidation processes (AOPs) are characterized by a common chemical feature: the capability of exploiting the high reactivity of OH radicals in driving oxidation processes which are suitable for achieving the complete abatement and through mineralization of even less reactive pollutants. This paper reviews the use of sunlight to produce OH radicals. The experimental systems necessary for performing pilot-plant scale solar photocatalytic experiments are described. It outlines the basic com)
- ✓ Marco, A., Esplugas, S., Saum, G., 1997. How and why combine chemical and biological processes for wastewater treatment. *Water Sci. Technol.* 35, 321–327. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00041-3)
- ✓ Marinas, A., Guillard, C., Marinas, J.M., Fernández-Alba, A., Aguera, A., Herrmann, J.-M., 2001.

- Photocatalytic degradation of pesticide–acaricide formetanate in aqueous suspension of TiO₂. *Appl. Catal. B Environ.* 34, 241–252. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(01\)00219-3](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(01)00219-3)
- ✓ Matilainem, A., Sillanpaa, M., 2010. Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes. *Chemosphere* 80, 351–365. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.067>
 - ✓ Melidis, P., Gikas, G.D., Akratos, C.S., Tsihrintzis, V.A., 2010. Dewatering of primary settled urban sludge in a vertical flow wetland. *Desalination* 250, 395–398. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.063>
 - ✓ Mendes, C., 2014. Métodos inovadores para a bio-secagem do CDR produzido na linha de processo da unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) – Caso de estudo na VALNOR SA.
 - ✓ Metcalf & Eddy, 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Fourth Ed. ed. New York.
 - ✓ Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, n.d. Atlas Climático Ibérico Iberian Climate Atlas Gobierno De España.
 - ✓ Peiró, A.M., Ayllón, J.A., Peral, J., Doménech, X., 2001. TiO₂-photocatalyzed degradation of phenol and ortho-substituted phenolic compounds. *Appl. Catal. B Environ.* 30, 359–373. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(00\)00248-4](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(00)00248-4)
 - ✓ Pera-Titus, M., García-Molina, V., Baños, M.A., Giménez, J., Esplugas, S., 2004. Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review. *Appl. Catal. B Environ.* 47, 219–256. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2003.09.010>
 - ✓ Pirkanniemi, K., Sillanpaa, M., 2002. Heterogeneous water phase catalysis as an environmental application: a review. *Chemosphere* 48, 1047–1060.
 - ✓ Rodriguez, M., Sarria, V., Esplugas, S., Pulgarin, C., 2002. Photo-Fenton treatment of a biorecalcitrant wastewater generated in textile activities: biodegradability of the photo-treated solution. *Journal Photochem. Photobiol. A Chem.* 151, 129–135. [https://doi.org/10.1016/S1010-6030\(02\)00148-X](https://doi.org/10.1016/S1010-6030(02)00148-X)
 - ✓ Safarzadeh-Amiri, A., Bolton, J.R., Cater, S.R., 1996. The use of iron in advanced oxidation processes. *A J. Adv. Oxid. Technol.* 1, 18–26. <https://doi.org/10.1515/jaots-1996-0105>
 - ✓ Sancho Ávila, J.M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez De Cos Escuin, M.C., Montero Cadalso, J., López Bartolomé, M., 2012. Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. *Aemet* 162.

<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.40.7247>

- ✓ Sarria, V., Parra, S., Adler, N., Péringer, P., Benítez, N., Pulgarin, C., 2002. Recent developments in the coupling of photoassisted and aerobic biological processes for the treatment of biorecalcitrant compounds. *Catal. Today* 76. [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(02\)00228-6](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(02)00228-6)
- ✓ Scott, J.P., 1995. Integration of Chemical and Biological Oxidation Processes for Water Treatment: Review and Recommendations. *Ollis* 14, 88–103. <https://doi.org/10.1002/ep.670140212>
- ✓ Scott, J.P., Ollis, D.F., 1996. Engineering Models of Combined Chemicals and Biological Processes. *J. Environ. Eng.* 122. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1996\)122:12\(1110\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1996)122:12(1110))
- ✓ Shifu, C., Gengyu, C., 2005. Photocatalytic Degradation of Organophosphorus Pesticides Using Floating Photocatalyst TiO₂-SiO₂/Beads by Sunlight. *Sol. Energy* 79, 1–9.
- ✓ Thomé, J.F., 2013. Tecnologias Disponíveis para Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos, in: Conferência Das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento Sustentável.
- ✓ Tiwari, G.N., Singh, H.N., Tripathi, R., 2003. Present status of solar distillation. *Sol. Energy* 75, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.005>
- ✓ Trindade Rodrigues Silva Moura, A.S., 2011. Diversidade molecular e transferência de integreões. Universidade de Aveiro.
- ✓ Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J.T., 2009. Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresour. Technol.* 100, 2747–2761. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.026>