

Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Aplicación de la biomasa a la generación de energía
térmica. Análisis de instalaciones.

Autor: Blanca Membrillera Serrano

Tutor: Manuel Felipe Rosa Iglesias

Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario de Ingeniería Industrial

Aplicación de la biomasa a la generación de energía térmica. Análisis de instalaciones.

Autor:

Blanca Membrillera Serrano

Tutor:

Manuel Felipe Rosa Iglesias

Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Máster: Aplicación de la biomasa a la generación de energía térmica. Análisis de instalaciones.

Autor: Blanca Membrillera Serrano

Tutor: Manuel Felipe Rosa Iglesias

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mis padres y mis hermanas.

A mis maestros

Resumen

En el proyecto se va a llevar a cabo un estudio de las diferentes formas de climatización mediante calderas de biomasa. Conoceremos los distintos tipos de aplicaciones, las diferentes partes de una caldera y su funcionamiento.

Se realizará un caso práctico donde se comparará una instalación de una vivienda en la que se utilizan varios tipos de combustibles fósiles y combustibles biomásicos, donde se podrá apreciar que a pesar de la alta inversión inicial de la instalación que emplea biomasa al cabo de los años llega a ser rentable.

Y por último se realizará una búsqueda de instalaciones que están en marcha actualmente y se estudiará que tipo de combustible es el más empleado, rango de potencia, tipo de unidad terminal... etc.

Abstract

The project contains a study of the different ways of climate control using biomass boilers. We will know the different types of applications, the different parts of a boiler and its operation.

A case study will be carried out comparing an installation of a house in which several types of fossil fuels and biomass fuels are used, where it will be appreciated that despite the high initial investment the installation which uses biomass after years it becomes more economic.

And finally a search will be made of facilities that are currently underway and will be studied which type of fuel is the most used, range of power, type of terminal unit... etc.

1	Introducción	1
1.1	<i>Biomasa</i>	4
1.1.1	Biomasa líquida	5
1.1.2	Biomasa gaseosa	6
1.1.3	Biomasa sólida	7
1.2	<i>Ventajas y desventajas de la energía procedente de la biomasa</i>	8
1.2.1	Beneficios socioeconómicos	10
1.3	<i>Procesos de conversión de la biomasa en energía.</i>	11
1.3.1	Procesos termoquímicos	11
1.3.2	Procesos bioquímicos	12
1.3.3	Procesos físicos	13
1.4	<i>Usos y aplicaciones</i>	13
1.4.1	Aplicaciones térmicas	13
1.4.2	Generación de electricidad	14
1.5	<i>Recursos en Andalucía</i>	16
1.5.1	Biomasa agrícola	16
1.5.2	Residuos forestales	17
1.5.3	Residuos industriales	17
1.5.4	Residuos ganaderos	17
1.5.5	Residuos urbanos	18
1.5.6	Cultivos energéticos	18
1.6	<i>Situación actual y expectativas en Andalucía</i>	19
2	Instalaciones de climatización	22
2.1	<i>Instalaciones habituales con biomasa</i>	22
2.1.1	Instalación de calefacción y producción de ACS con control de temperatura de retorno	22
2.1.2	Instalación de calefacción con suelo radiante	23
2.1.3	Instalación de suelo radiante y ACS	23
2.1.4	Instalación de producción de frío	24
2.2	<i>Instalaciones híbridas solar-biomasa</i>	25
2.2.1	Calefacción sin producción de agua caliente sanitaria	26
2.2.2	Calefacción y producción de agua caliente sanitaria descentralizada	26
2.2.3	Calefacción y producción de agua caliente sanitaria centralizada	27
3	Calderas de biomasa	29
3.1.1	Combustible empleado	29
3.2	<i>Tipos de calderas de biomasa</i>	32
3.2.1	Equipos compactos	32
3.2.2	Calderas en parrilla fija y alimentación inferior	33
3.2.3	Calderas con parrilla móvil	33
3.2.4	Calderas de gasóleo con un quemador de pellets	34
3.2.5	Calderas de combustión en cascada	34
3.3	<i>Despiece de la caldera</i>	35
3.3.1	Parrilla	35
3.3.2	Cenicero	35
3.3.3	Intercambiador	35
3.3.4	Chimenea	36
3.3.5	Sistema de alimentación	36

3.4	<i>Almacenamiento de biomasa</i>	38
3.4.1	<i>Silos prefabricados</i>	38
3.4.2	<i>Silos de obra</i>	39
3.5	<i>Mantenimiento</i>	40
3.6	<i>Manipulación de las cenizas</i>	42
3.7	<i>Sistemas de seguridad</i>	43
3.8	<i>Emisiones</i>	45
4	Caso práctico	46
4.1	<i>Costes Variables</i>	47
4.2	<i>Costes Fijos</i>	49
5	Análisis de instalaciones	52
5.1	<i>Diferentes aplicaciones</i>	52
5.2	<i>Uso de la biomasa</i>	53
5.3	<i>Tipo de unidad terminal</i>	54
5.4	<i>Tipos de combustible</i>	54
5.5	<i>Rango de potencia instalada.</i>	56
5.6	<i>Instalación nueva o sustituida.</i>	57
6	Conclusiones	59
	Bibliografía	61
	ANEXO	63
	<i>Catálogos</i>	63
	<i>Mantenimiento e Instalación</i>	65
	<i>Precio del combustible</i>	65
	<i>Costes de las instalaciones</i>	67
	<i>Instalaciones de biomasa</i>	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cultivos energéticos. [7]	19
Tabla 2: Desglose del potencial por tipo de biomasa. [7]	20
Tabla 3: Distribución provincial de instalaciones térmicas de biomasa por sectores en 2016. [7]	21
Tabla 4: Propiedades de los combustibles biomásicos.	30
Tabla 5: Extracto de operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad (RITE)	41
Tabla 6: Programa de gestión energética (RITE)	41
Tabla 7: Dispositivos de seguridad de la caldera. (RITE)	43
Tabla 8: Límites de emisiones para calderas (UNE-EN-303-5)	45
Tabla 9: Potencia necesaria aproximada para distintos edificios típicos. [UNE-EN-12831]	46
Tabla 10: Factor de corrección según el grado de aislamiento [IDAE]	47
Tabla 11: Datos de los distintos combustibles.	48
Tabla 12: Costes anuales.	48
Tabla 13: Costes de inversión.	49
Tabla 14: Costes de las instalaciones.	67
Tabla 15: Costes de las instalaciones (continuación)	68
Tabla 16: Costes de las instalaciones (continuación)	68
Tabla 17: Instalaciones de biomasa.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Abaratamiento en el coste de adquisición de la energía en el Mercado Diario de OMIE.	1
Figura 2: Proporción de viviendas que usan biomasa. [18]	2
Figura 3: Producción de energía primaria con biomasa con en la Unión Europea. [18]	3
Figura 4: Consumo de energía primaria en 2015. Fuente: APPA	3
Figura 5: Situación de la biomasa dentro de las energías renovables. [4]	4
Figura 6: Producción de bioetanol en la UE (en toneladas). [27]	5
Figura 7: Proceso obtención biodiesel. [27]	6
Figura 8: Proceso de obtención del biogás. [28]	7
Figura 9: Objetivos de la biomasa para el sector de calefacción y transporte en España. [22]	8
Figura 10: Ciclo del carbono en la biomasa [5].	9
Figura 11: Empleos generados por las energía renovables a nivel mundial.	10
Figura 12: Clasificación energética de la biomasa. [30]	11
Figura 13: Proceso de pirólisis. [30]	12
Figura 14: Esquema de una red centralizada para calefacción.	13
Figura 15: Esquema de una planta de producción de electricidad. [18]	14
Figura 16: Esquema de la caldera de Sangüesa. [19]	15
Figura 17: Diagrama energético de la instalación. [31]	15
Figura 18: Balance de masa del proceso de la industria del aceite. [7]	16
Figura 19: Hueso de aceituna del almacén de CGC en Jerez de la Frontera. [7]	17
Figura 20: Distribución del potencial aprovechable en Andalucía [7]	18
Figura 21: Distribución del potencial de biomasa en Andalucía por fuentes de obtención. [8]	21
Figura 22: Instalación de calefacción y producción de ACS con control de la temperatura de retorno [9]	22
Figura 23: Instalación de calefacción de suelo radiante [9]	23
Figura 24: Instalación de suelo radiante y ACS [9]	23
Figura 25: Climatización por medio de biomasa [10].	24
Figura 26: Esquema de obtención de frío mediante compresión mecánica. [20]	25
Figura 27: Esquema de obtención de frío mediante absorción. [20]	25
Figura 28: Sistema mixto biomasa-solar para calefacción [10].	26
Figura 29: Sistema de energía solar térmica para calefacción y ACS descentralizada [10].	27
Figura 30: Sistema de energía solar térmica para calefacción y ACS centralizada [10].	27
Figura 31: Vivienda unifamiliar con instalación mixta biomasa-solar.	28
Figura 32: Pellets de biomasa. [13]	29
Figura 33: Evolución del precio de la energía (cent €/ kWh) [13]	31
Figura 34: Proceso de peletización. [10]	31
Figura 35: Briquetas. [17]	32
Figura 36: Caldera compacta. [13]	33

Figura 37: Caldera con parrilla móvil. [13]	33
Figura 38: Caldera de combustión en cascada. [14]	34
Figura 39: Caldera de biomasa. [17]	35
Figura 40: Consejos básicos sobre chimeneas. [9]	36
Figura 41: Sistema de alimentación de una caldera de biomasa. [17]	37
Figura 42: Alimentación superior. [9]	37
Figura 43: Alimentación horizontal. [9]	37
Figura 44: Silo textil. [15]	38
Figura 45: Silo enterrado fuera del edificio y bajo el edificio. [15]	39
Figura 46: Silo de obra. [15]	39
Figura 47: Suelo inclinado de un lado y tornillo sinfín recto. [15]	40
Figura 48: Sistema de eliminación de cenizas. [16]	42
Figura 49: Sistema de acumulación en el tubo de equilibrio del colector. [10]	44
Figura 50: Válvula de seguridad.	45
Figura 51: Evolución del coste de los combustibles.	48
Figura 52: Comparativa de las distintas instalaciones	49
Figura 53: Evolución del coste total de las instalaciones.	50
Figura 54: Evolución de las instalaciones de biomasa. [23]	51
Figura 55: Diferentes aplicaciones de la biomasa.	52
Figura 56: Uso de la biomasa.	53
Figura 57: Aplicaciones térmicas frente a la generación de electricidad.	53
Figura 58: Tipo de unidad terminal.	54
Figura 59: Tipos de combustibles.	55
Figura 60: Empleo de los subproductos de la aceituna por comunidades.	55
Figura 61: Empleo del pellet por comunidades.	56
Figura 62: Fabricantes de pellets en 2017. [15]	56
Figura 63: Potencia media instalada (kW).	57
Figura 64: Instalación nueva frente a sustitución.	57
Figura 65: Potencia instalada. [17]	60

1 INTRODUCCIÓN

“No es la contaminación la que amenaza al medio ambiente, sino la impureza del aire y del agua”.

- George W Bush -

A lo largo de los últimos tiempos el medio ambiente ha ido sufriendo cambios destacados en su mayor parte debido a la acción humana, hasta llegar al punto de generar cierta preocupación en la población. Esta preocupación no deja de aumentar, ya que la naturaleza es vital tanto para los seres humanos como para el resto de los seres vivos. Además el incremento progresivo de la demanda energética y la dependencia de las reservas de los combustibles fósiles, hoy por hoy limitadas, hace necesario la búsqueda de nuevas tecnologías energéticas. Estas nuevas tecnologías deben tener obligatoriamente una serie de características como: alto rendimiento y mínima emisión de contaminantes.

A pesar de que las materias utilizadas como combustibles por el hombre han ido evolucionando a lo largo de la historia, la tendencia ahora muestra un aumento del uso de las energías renovables. A comienzos del 2012 se decretó en España un parón energético, que fue provocado por varios motivos: una gran instalación de renovables en un periodo en el que la tecnología no estaba demasiado madura y la necesidad de grandes ayudas públicas. Todo esto coincidió con una crisis que redujo drásticamente la demanda de electricidad por lo que había más energía instalada de la que era demandada, pero después de varios años las energías renovables están volviendo a tomar bastante fuerza.

La apuesta por las energías renovables a nivel mundial no se explica únicamente por una motivación medioambiental. Los beneficios de estas energías van mucho más allá de la descarbonización de la economía. La reducción de la dependencia energética, creación de empleo, fijación de población en entornos rurales, gestión de residuos agrícolas, ganaderos y urbanos...son algunos de los beneficios. Otro aspecto positivo de su uso es el abaratamiento del precio en el mercado diario. Esto ocurre debido a que se eliminan las emisiones, las cuales tienen unos costes en concepto de derechos de emisión.

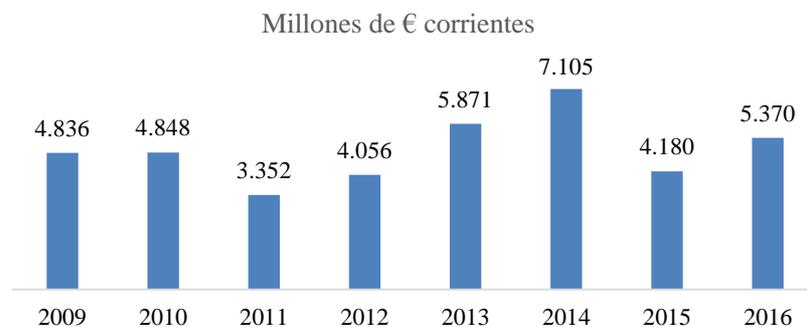


Figura 1: Abaratamiento en el coste de adquisición de la energía en el Mercado Diario de OMIE.

Fuente: APPA

Las energías renovables se han extendido a nivel mundial gracias a sus grandes ventajas, una importante es la capacidad de obtenerlas en casi cualquier lugar. Las energías renovables son tan variadas como lo es la naturaleza. Se pueden distinguir: energía solar, eólica, hidráulica, biocarburantes, biomasa...etc. En este trabajo nos vamos a centrar en la generación de energía mediante biomasa.

La biomasa permite de manera sostenible generar energía natural y de alta calidad en forma de electricidad y calor, haciendo uso de las materias primas. Por lo que se consigue simultáneamente generar energía mientras se están aprovechando recursos, los cuales han sido generados de manera natural en nuestros campos, montes, industrias agroalimentarias y ganaderas presentes en el medio rural español. Además de en nuestras ciudades, pues la mitad de los residuos municipales que se generan en los núcleos urbanos es materia orgánica que se considera biomasa.

La Agencia Internacional de la Energía ha calculado que el 10% de la energía primaria mundial procede de los recursos asociados a esta fuente, incluidos los relacionados con biocombustibles líquidos y biogás. La AIE establece que antes del 2100 la cuota de participación de la biomasa en la producción mundial de energía estará entre el 25% y el 46%. Gran parte de este porcentaje corresponde a los países pobres y en desarrollo, donde resulta ser la materia prima más utilizada para la producción de energía.

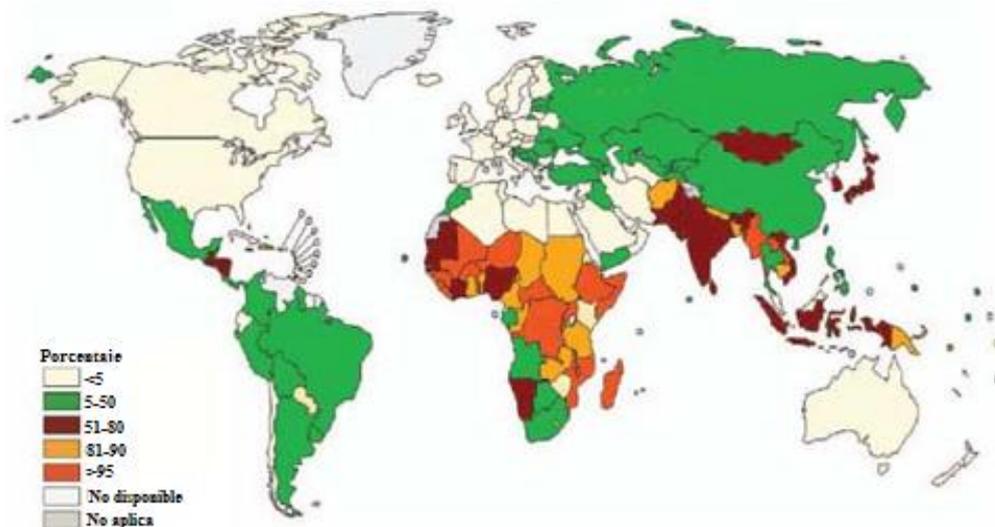


Figura 2: Proporción de viviendas que usan biomasa. [18]

Algunos organismos otorgan a la biomasa la máxima responsabilidad en el incremento del peso de las energías renovables para el futuro desarrollo europeo. Creen que si todas las intenciones se llegaran a concretar, la contribución de la biomasa a finales del siglo XXI podría alcanzar la cuarta parte de la producción mundial de energía.

En Europa, el 60% de la energía primaria de origen renovable procede de esta fuente, sin embargo sólo supone el 4% sobre el total energético. La mayoría es destinada a la generación de calor en viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos y en redes de calefacción centralizada. En general, en torno al 83% se destina a usos térmicos y el 17% a la producción de electricidad. Finlandia cubre con biomasa el 50% de sus necesidades de calor y el 20% del consumo de energía primaria.

Aunque la disponibilidad de biomasa es abundante en Europa, el suministro aún no está organizado en muchos casos, siendo necesario promover un verdadero mercado europeo de biomasa. Los biocombustibles sólidos pioneros en este mercado europeo proceden de industrias forestales locales o de los residuos producidos en el aprovechamiento y cuidado de las masas forestales. Este mercado ha crecido rápidamente en los últimos años en algunos países como Austria, Dinamarca, Alemania y Suecia

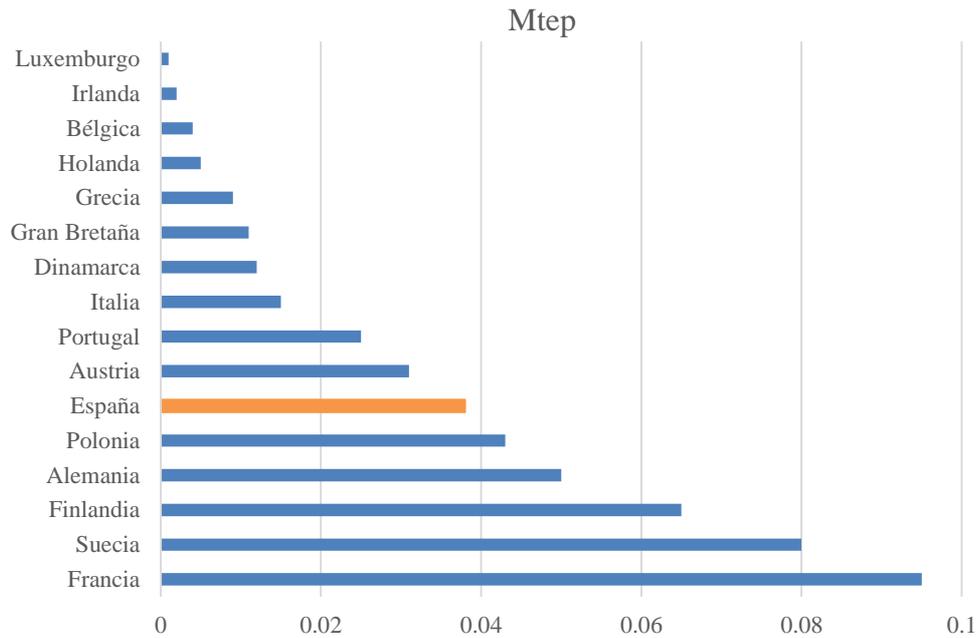


Figura 3: Producción de energía primaria con biomasa con en la Unión Europea. [18]

En España, la biomasa alcanza el 37% de la producción con energías renovables lo que equivale al 5,13% respecto al total del consumo de energía primaria, incluyendo las convencionales. En el cómputo global del consumo, además del sector doméstico, destacan las industrias de pasta y papel; las de madera, muebles y corchos; y las de alimentación, bebidas y tabaco, que suman el 90% del total. Igualmente, tanto en aplicaciones eléctricas como térmicas los recursos más utilizados son los residuos procedentes de industrias forestales y agrícolas. El escaso aprovechamiento de los residuos ganaderos y de los cultivos energéticos han motivado los malos resultados de la biomasa en general.

Andalucía, Galicia y Castilla y León son las Comunidades Autónomas que registran un mayor consumo de energía procedente de biomasa, debido principalmente a la presencia de empresas que utilizan grandes cantidades de biomasa, a la existencia de un sector forestal desarrollado y la diseminación de la población que facilita el uso de la biomasa doméstica.

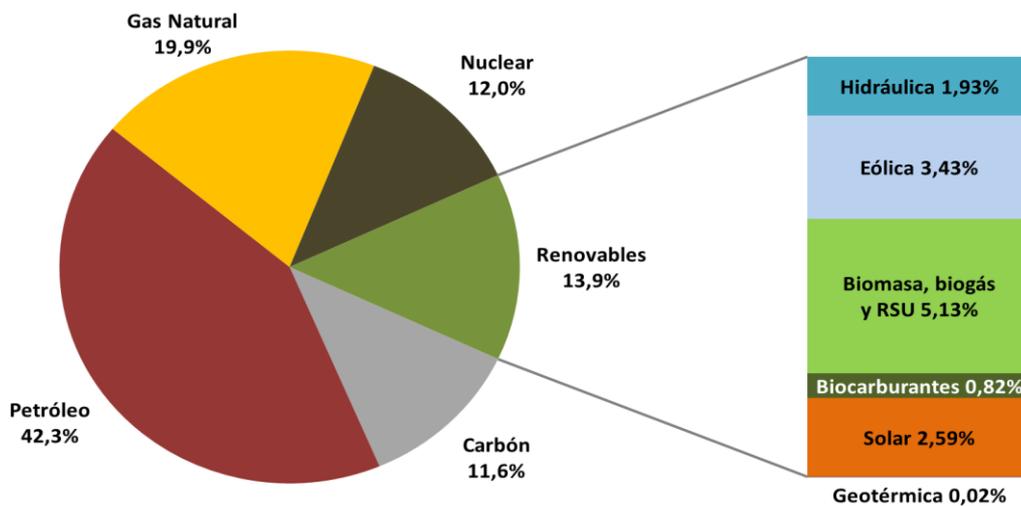


Figura 4: Consumo de energía primaria en 2015. Fuente: APPA

Andalucía es la comunidad autónoma que cuenta con mayor potencia eléctrica instalada, cuenta con una importante riqueza biomásica, en gran parte procedente del cultivo del olivar y de sus industrias derivadas. El uso de la biomasa está creciendo sobretodo en aplicaciones térmicas donde se emplea la biomasa para la producción de calor y agua caliente sanitaria en el sector doméstico. Ya que esta, permite alimentar un sistema de climatización del mismo modo que lo realiza actualmente cualquier combustible convencional fósil.

Este incremento del uso de la biomasa como fuente alternativa de energía limpia se ha visto ayudado por una serie de factores como: subida del precio del petróleo, el crecimiento de la producción agrícola, aumento del conocimiento científico en la investigación de renovables y algunas trabas burocráticas a otro tipo de promoción de energías renovables.

1.1 Biomasa

La utilización de la biomasa para obtener calor es tan antigua como son las primeras hogueras de leña que utilizaron los hombres prehistóricos como sistema único de calefacción en sus cuevas. Pero después de miles de años, parece que esta tecnología puede ser una alternativa al grave problema que supone la utilización de los combustibles fósiles

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptibles de ser aprovechados energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

Por lo tanto, quedan fuera de este concepto los combustibles fósiles y las materias orgánicas derivadas de éstos como son los plásticos y la mayoría de los productos sintéticos, ya que aunque tuvieron un origen biológico, su formación tuvo lugar en tiempos remotos. Estos residuos también son denominados biocombustibles y se pueden encontrar en estado sólido, líquido o gaseoso.

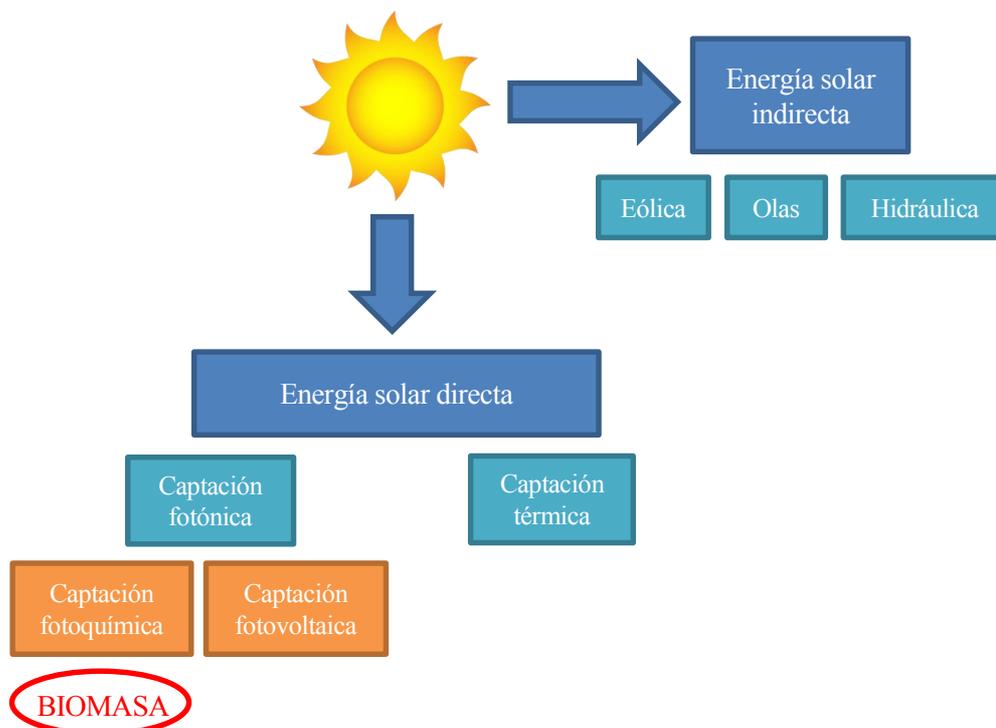


Figura 5: Situación de la biomasa dentro de las energías renovables. [4]

1.1.1 Biomasa líquida

Los biocarburantes, son aquellos combustibles líquidos de origen biológico que por sus características físico químicas resultan adecuadas para sustituir la gasolina o el gasóleo bien sea de manera total, en mezcla de estos últimos o como aditivo. Estos productos se obtienen principalmente a partir de materia vegetal como pueden ser: aceites vegetales, grasas animales o cultivos con alto contenido en azúcares. Actualmente los principales biocarburantes son el biodiésel y el bioetanol, el primero se emplea en motores de gasoil y el segundo en motores de combustión de gasolina. Su transporte y almacenamiento es más seguro, debido al mayor punto de ignición y a la menor inflamabilidad que los convencionales.

El biodiésel se obtiene principalmente de plantas oleaginosas, tales como la soja o el girasol, también se pueden utilizar igualmente los aceites de fritura usados y las grasas animales. El bioetanol es el otro gran pilar de los biocarburantes, se produce principalmente mediante la fermentación de granos ricos en azúcares o almidón. Dentro del contexto europeo, nuestro país es líder absoluto en la producción de bioetanol.

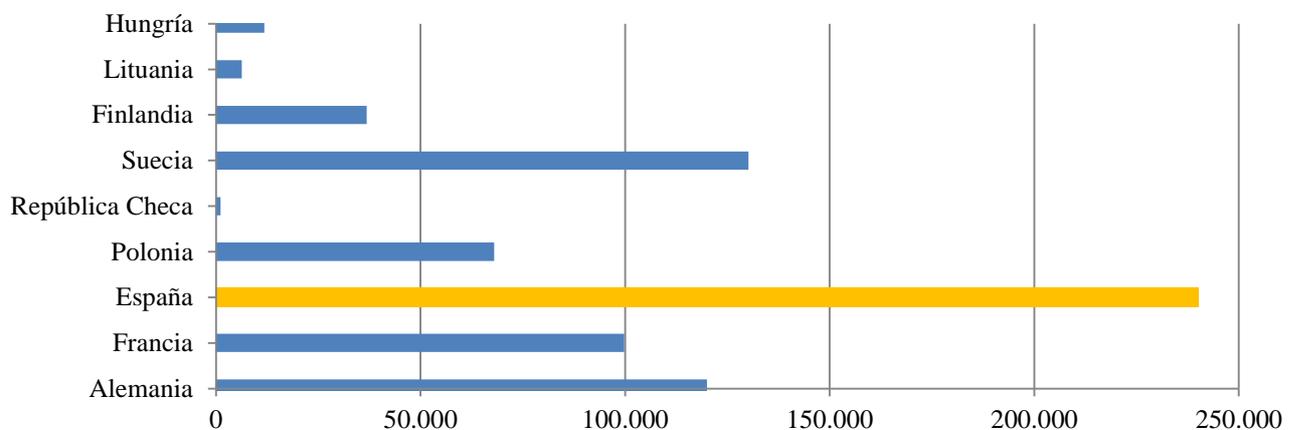


Figura 6: Producción de bioetanol en la UE (en toneladas). [27]

1.1.1.1 Bioetanol

La base para la fabricación de bioetanol son los azúcares contenidos en diversas plantas, como la remolacha, la caña de azúcar y el almidón o inulina presentes en los granos de cereal o los tubérculos de patata. Este último grupo de vegetales necesita ser previamente hidrolizado para obtener fructosa o glucosa. Una tercera fuente es la biomasa lignocelulosa, de la que también por hidrólisis, en este caso de la celulosa, se puede obtener glucosa fermentable. Los dos primeros casos son los más extendidos en la actualidad, pero el tercero es el más atractivo por su abundancia y bajo coste.

A partir de cualquiera de las opciones comentadas, se obtiene un mosto azucarado cuya fermentación en ausencia de oxígeno transforma la glucosa en etanol hasta obtener un líquido con un grado de alcohol entre el 10 y 15%, que se destila para obtener un alcohol hidratado con una cantidad de agua del 4-5%. El producto resultante es capaz de sustituir a la gasolina en motores de explosión convencionales, aunque es preciso realizar algunas modificaciones mecánicas.

1.1.1.2 Biodiésel

En base a su origen, podemos distinguir dos grandes tipos de materia prima para la elaboración del biodiésel. En el primer grupo se podrían incluir los aceites usados de fritura o los aceites vegetales de final de campaña (aceite de oliva de gran acidez). Sin embargo, el volumen de este tipo de residuos es limitado y por ello la tendencia lógica apunta hacia una mayor utilización de los aceites vegetales puros cultivados para uso energético. Estos aceites vírgenes se obtienen a partir de las semillas de plantas como pueden ser el girasol, la soja y la palma oleífera. De esta última no es que haya una gran tradición de cultivo en nuestro país, pero debido a su alto nivel

productivo se están realizando cultivos experimentales para determinar las posibilidades que podría ofrecer en el campo español.

Una vez obtenida la materia prima, el proceso de fabricación de este producto resulta bastante sencillo desde el punto de vista técnico. Este proceso se realiza en presencia de un catalizador, y a una temperatura moderada de unos 60 °C aproximadamente. En realidad, se trata de algo muy parecido a la elaboración del jabón casero con el que el aceite era reciclado antiguamente. De hecho, durante la elaboración del biodiesel se obtiene el principal compuesto de estos jabones: la glicerina, que es un subproducto de gran valor añadido y con múltiples salidas comerciales en los sectores químico, agrario y alimentario.



Figura 7: Proceso obtención biodiesel. [27]

Los biocarburantes aportan más energía de la que se necesita para su producción, alrededor del doble en el caso del bioetanol y del triple en el caso del biodiesel. Por lo que el balance energético resulta sumamente positivo. Es cierto que el poder calorífico del carburante vegetal es algo menor que el del carburante fósil pero tiene un mayor poder lubricante que contribuye a alargar la vida de los motores.

1.1.2 Biomasa gaseosa

Los biocombustibles gaseosos son aquellos combustibles de origen no fósil obtenidos a partir de la descomposición de materia orgánica en condiciones de ausencia de oxígeno. El más conocido es el biogas. Este se genera en dispositivos específicos o en medios naturales a partir de las diferentes reacciones de biodegradación que sufre la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos así como de otros factores en ausencia de aire. El gas resultante de estas reacciones está formado por dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) y otros gases en menores cantidades. Las principales fuentes son los residuos ganaderos y agroindustriales, los lodos de las depuradoras y la fracción orgánica de los residuos domésticos.

La producción de biogás por descomposición sin oxígeno es un modo útil para tratar residuos biodegradables, dado que produce un combustible útil y genera una corriente de agua, llamada digestato que puede utilizarse como abono orgánico para el suelo. Principalmente se emplea para alimentar un generador que produce electricidad, pero también se puede emplear como combustible en cocinas o en iluminación.

La utilidad del biogás es similar a la de cualquier gas obtenido de minerales fósiles, pero con la gran ventaja de que su fuente es inagotable, es beneficiosa para el medio ambiente y produce una fuente de ingresos extra a una explotación ganadera, alimentaria o agrícola.

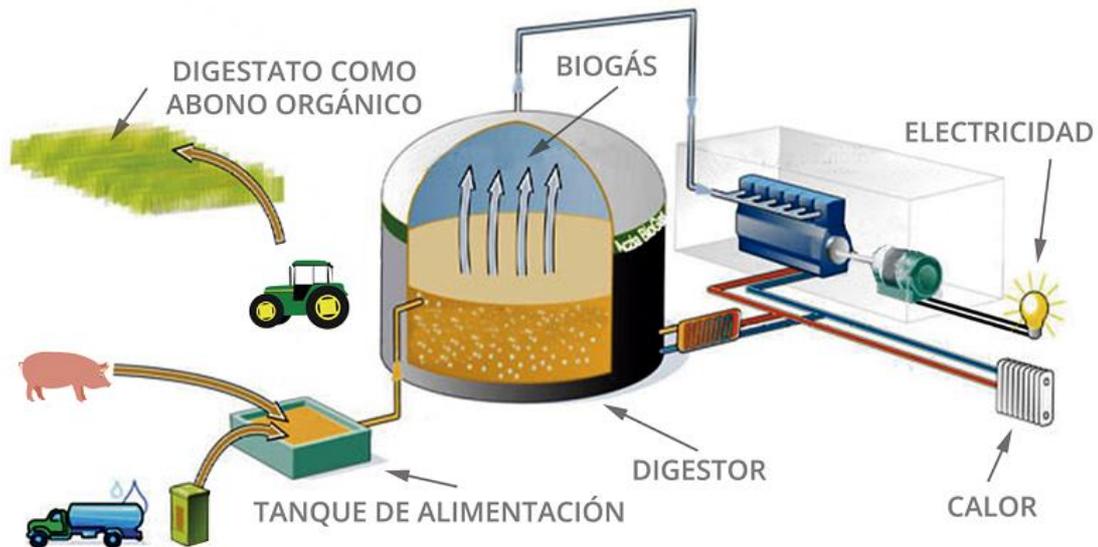


Figura 8: Proceso de obtención del biogás. [28]

La forma de obtención de energía a partir del biogás es la siguiente:

1. Un digestor recibe los desechos orgánicos y una vez mezclados, se encierran en un depósito cerrado herméticamente para evitar la entrada de oxígeno.
2. Los desechos orgánicos, gracias a la acción de las bacterias producen un gas rico en metano.
3. Este gas es extraído del depósito y posteriormente es limpiado de impurezas para que pueda ser utilizado.

Alguna de sus ventajas es que puede resultar difícil su almacenamiento y distribución, además puede ser peligroso ya que tiene facilidad a inflamarse.

1.1.3 Biomasa sólida

En nuestro trabajo nos vamos a centrar en la biomasa sólida, dentro de este grupo los más importantes son los residuos de tipo primario, constituidos por materias procedentes del sector agrícola, forestal y de las industrias de transformación. Se pueden considerar tres grandes grupos en cuanto a las posibles fuentes de biomasa sólida para su aprovechamiento energético:

- **Biomasa natural:** son las masas vegetales que se producen sin intervención humana, constituyen la flora terrestre.
- **Biomasa residual:** es la generada en cualquier actividad que emplee como materia prima recursos orgánicos, provenientes principalmente de procesos productivos de los sectores agrícolas, forestales, industriales o ganaderos, así como la generada por la población en los núcleos urbanos.
- **Biomasa producida por cultivos energéticos:** es aquella producida expresamente con la finalidad de generar energía. Debido a las altas expectativas de los cultivos energéticos, se están redactando diferentes regulaciones que afectan a la sostenibilidad de la biomasa energética especialmente en materia de cultivos energéticos, con el fin de asegurar que su uso representa una mejora en el balance energético, en el balance de emisiones y no una amenaza en el equilibrio natural.

La biomasa sólida y el biogás suelen ser empleadas tanto en el sector eléctrico como en el sector de la calefacción, en cambio los biocarburantes suelen ser empleados para el sector transportes.

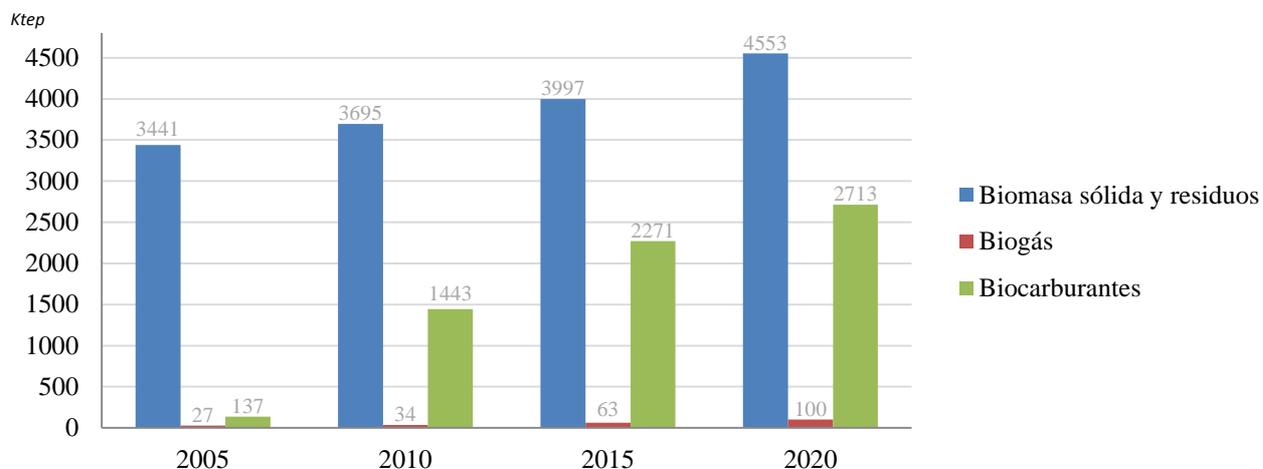


Figura 9: Objetivos de la biomasa para el sector de calefacción y transporte en España. [22]

1.2 Ventajas y desventajas de la energía procedente de la biomasa

Las ventajas del uso de la biomasa son:

- ✓ Es una fuente de energía renovable. Permite eliminar residuos orgánicos e inorgánicos, como restos de cosecha, estiércol y basura orgánica, al tiempo que se les da una utilidad.
- ✓ Neutral respecto a las emisiones de carbono, porque el carbono de la atmósfera es captado por las plantas durante la fotosíntesis y pasa a formar parte de sus estructuras. Cuando la planta muere o es quemada, ese carbono retorna a la atmósfera. Puesto que es un ciclo, los siguientes cultivos absorben el carbono una y otra vez, por lo que se mantiene un equilibrio.
- ✓ Produce una menor cantidad de dióxido de carbono y de gases nocivos de efecto invernadero que lo que otros combustibles fósiles.
- ✓ Produce niveles más bajos de dióxido de azufre, que es un componente principal de la lluvia ácida.
- ✓ Fácilmente sostenible si los cultivos son cultivados y gestionados con eficacia. Además está disponible donde las plantas puedan ser cultivadas y existe una gran variedad de combustibles.
- ✓ Puede ser utilizada para una serie de diferentes propósitos, incluyendo la producción de calor, el combustible para coches y la producción de electricidad.
- ✓ El aprovechamiento de la energía contenida en la biomasa resulta muy económico comparado con el petróleo o el carbón. Suele costar alrededor de un tercio de los combustibles fósiles para obtener el mismo resultado y además las cenizas son poco agresivas para el medio ambiente.
- ✓ Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- ✓ La biomasa es abundante, ya que está disponible en grandes cantidades por todo el mundo. Teóricamente se puede considerar una fuente inagotable.

- ✓ Genera poca corrosión en los equipos que se utilizan. Por lo que su vida útil es larga.
- ✓ Su operación y mantenimiento son sencillos ya que suelen incorporar sistemas de control electrónico.
- ✓ Poseen un alto rendimiento energético, entre el 85-92%.

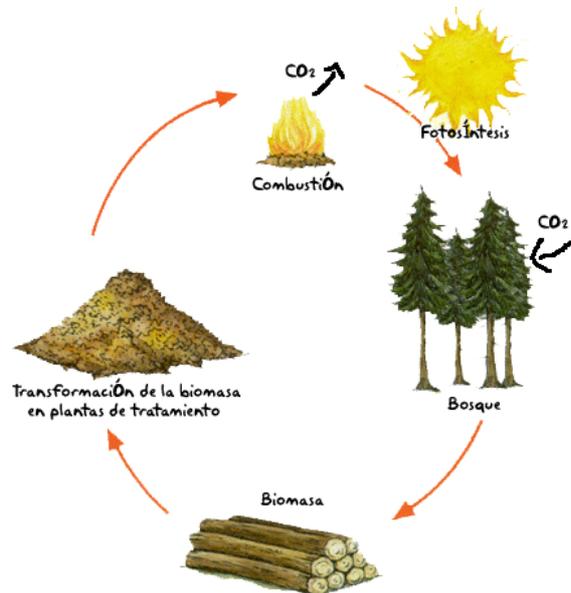


Figura 10: Ciclo del carbono en la biomasa [5].

Las desventajas del uso de la biomasa son:

- ✗ Se necesita una gran cantidad de tierra y agua para que algunos cultivos de biomasa se produzcan y cuando han crecido, el producto requiere una gran cantidad de espacio de almacenamiento antes de ser convertido en energía.
- ✗ Todavía existen dificultades para llevar a cabo el transporte y almacenamiento de la biomasa sólida. Las zonas de almacenamiento pueden llegar a ser particularmente extensas.
- ✗ En ciertas zonas y en ciertas condiciones, la extracción de la biomasa puede llegar a ser cara. Esto además suele ocurrir en proyectos de aprovechamiento que impliquen recolección, procesado y almacenamiento de algunos tipos de biomasa.
- ✗ En ocasiones se destinan amplias zonas forestales o silvícolas para la obtención de biomasa, destruyendo hábitats de gran valor ecológico y provocando la desaparición o el movimiento de especies animales al destruir sus refugios y fuentes de alimento.
- ✗ La incineración puede resultar peligrosa, por ello se deben utilizar filtros y realizar la combustión a temperaturas mayores a 900 °C
- ✗ Las calderas de biomasa tienen un menor poder calorífico. Esto no implica costes mayores, pero sí tiene el inconveniente del espacio.

1.2.1 Beneficios socioeconómicos

El fomento de la producción de biomasa para uso energético permite el desarrollo de una nueva actividad en las áreas rurales, se trata de un mercado con demanda continua y sin fluctuaciones, que genera puestos de trabajo estables, bien remunerados y supone una fuente de ingresos para las industrias locales. Según el Comité de las Regiones, a igual potencia instalada se crean hasta cinco veces más puestos de trabajos con energías renovables que con combustibles convencionales.

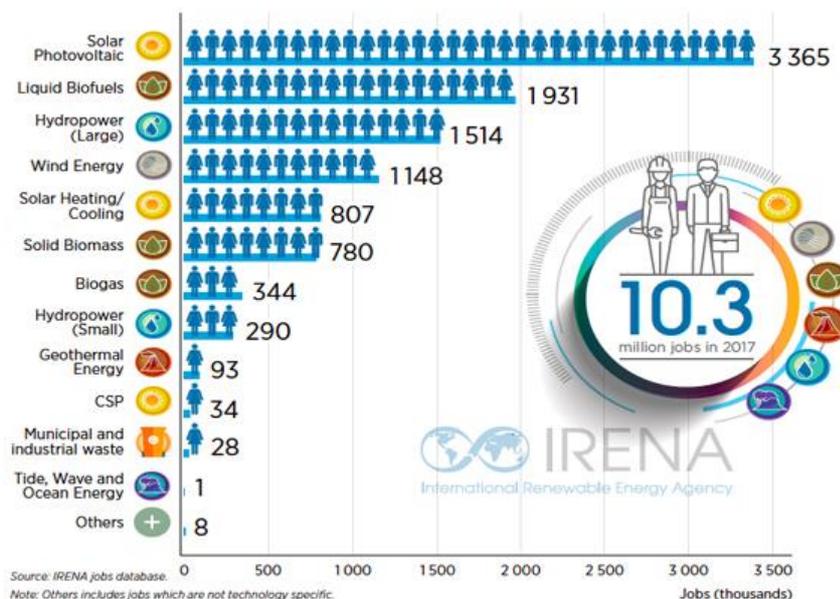


Figura 11: Empleos generados por las energía renovables a nivel mundial.

Esta oferta de empleo permite fijar la población en los núcleos rurales evitando algunos de los problemas sociales derivados de la migración hacia las grandes ciudades, como son el abandono de las actividades del mundo rural, abandono de pueblos y aparición de zonas marginales. Esta oferta de empleo genera puestos de empleos directos e indirectos, sin olvidar los empleos generados en las etapas de estudio, instalación, mantenimiento y operación de dichas instalaciones

Este aumento de ingresos en las industrias locales y el aumento de la población dan lugar a la aparición de nuevas infraestructuras y servicios en áreas rurales, provocando mayor calidad de vida en los núcleos rurales.

Por otro lado, la aparición de una segunda fuente de ingresos en las industrias agrícolas y forestales, a través de la venta de sus residuos para la generación de energía, proporciona una mayor seguridad a empresarios y empleados. En definitiva, se incentiva el desarrollo rural en nuevas áreas agrícolas en las que se pueden implantar cultivos energéticos. A su vez, se le da valor a los residuos para que puedan ser aprovechados y reutilizados.

Por otro lado, la contribución a una menor dependencia externa en el suministro de combustibles, además de facilitar el desarrollo rural, es una de las bazas macroeconómicas más sobresalientes de la energía procedente de la biomasa. Tanto el uso de biomasa en calefacciones de viviendas unifamiliares, como en calefacciones centralizadas de edificios o en redes de calefacción centralizadas son alternativas viables al consumo de gas natural y otros combustibles fósiles, que pueden verse favorecidas y ampliadas si se desarrollan normas que promuevan e incentiven su implantación a nivel nacional, local o regional. Como ha ocurrido con la eólica y la solar, la implantación de la biomasa en determinados territorios facilita también el desarrollo de experiencias y proyectos de educación ambiental en los que se intenta resaltar la importancia de esta fuente energética.

1.3 Procesos de conversión de la biomasa en energía.

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. Desde el punto de vista energético la biomasa se puede dividir en dos grandes grupos:

- **Biomasa seca:** aquella que puede obtenerse de forma natural con una humedad menor al 60%, como puede ser la leña, paja...etc. Este tipo se presta mejor a ser utilizada energéticamente mediante procesos termoquímicos o fisicoquímicos, que producen directamente energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles.
- **Biomasa húmeda:** se denomina así cuando la humedad supera el 60%, como por ejemplo los restantes vegetales, residuos animales, vegetación acuática...etc. Esta resulta especialmente adecuada para su tratamiento mediante procesos químicos, o en algunos casos particulares, mediante simples procesos físicos, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos.

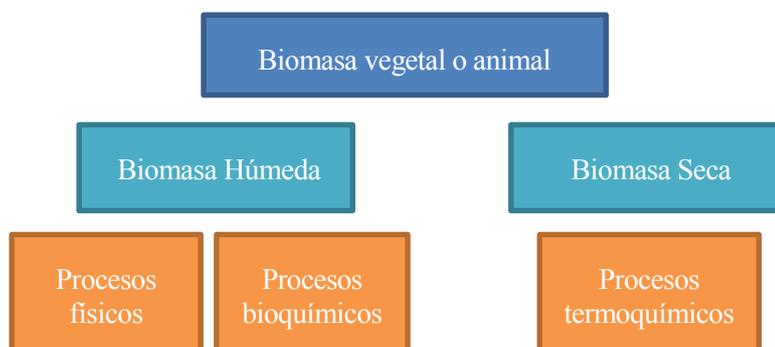


Figura 12: Clasificación energética de la biomasa. [30]

1.3.1 Procesos termoquímicos

Comprenden básicamente la combustión, gasificación y pirolisis. La licuefacción directa se encuentra aún en etapa de desarrollo. La licuefacción consiste en romper las moléculas de celulosa y lignina, remover el oxígeno y adicionar átomos de hidrógeno. El producto de esta reacción química es una mezcla de hidrocarburos que al enfriarse se condensan en un líquido.

1.3.1.1 Combustión

Es el más sencillo y más ampliamente utilizado, tanto en el pasado como en el presente. Permite obtener energía térmica, ya sea para usos domésticos o industriales. Las tecnologías utilizadas para la combustión abarcan una amplia gama de posibilidades que va desde un sencillo fogón abierto hasta calderas de alto rendimiento utilizadas en la industria.

1.3.1.2 Gasificación

Consiste en la quema de biomasa en presencia de oxígeno de forma controlada, de manera que se produce un gas combustible denominado “gas pobre” por su bajo contenido calórico en relación, por ejemplo con el gas natural (del orden de una cuarta parte).

La gasificación se realiza en un recipiente cerrado, conocido como gasógeno, en el cual se introduce el combustible y una cantidad de aire menor a la que se requería para su combustión completa.

El gas pobre obtenido puede quemarse luego en un quemador para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o bien ser enfriado y acondicionado para su uso en un motor de combustión interna que produzca, a su vez, energía mecánica.

1.3.1.3 Pirólisis

Es un proceso de oxidación parcial y controlada, quemado casi en ausencia de aire a temperatura elevada (230°C) que permite obtener como producto una combinación variable de combustibles sólidos (carbón vegetal), combustibles líquidos y gaseosos.

La pirólisis con aprovechamiento pleno de subproductos tuvo su gran auge antes de la difusión masiva del petróleo, ya que constituía la única fuente de ciertas sustancias que luego se produjeron por la vía petroquímica, como es el metanol. Actualmente, sólo la producción de carbón vegetal tiene cierta importancia, considerando a los productos líquidos y gaseosos como subproductos del proceso.

El carbón vegetal como combustible sólido presenta la ventaja frente a la biomasa que le dio origen, de tener un poder calórico mayor. No obstante, debe hacerse notar que la carbonización representa una pérdida muy importante de la energía presente en la materia prima, ya que en el proceso consume gran cantidad de ella.

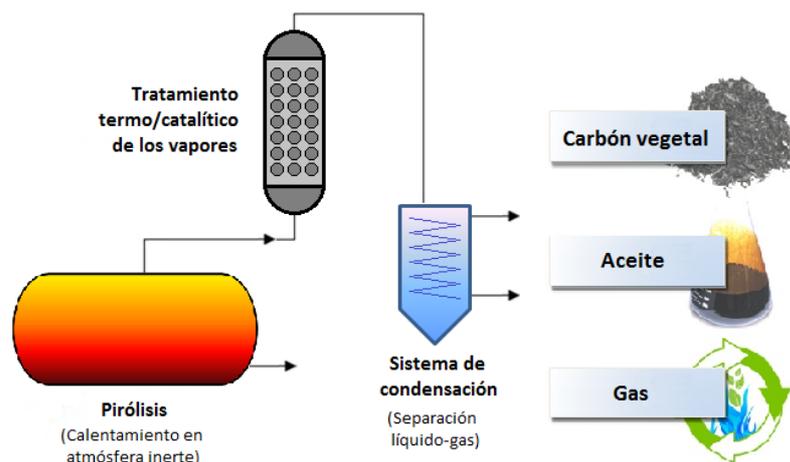


Figura 13: Proceso de pirólisis. [30]

1.3.2 Procesos bioquímicos

Se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos, y pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).

La fermentación anaeróbica, se utiliza fundamentalmente para residuos animales o vegetales con baja relación carbono/nitrógeno y da origen a la producción de un gas denominado biogás.

En cambio, la fermentación aeróbica da origen a la formación de alcohol, que además de su uso en tanto en la medicina como en el sector de la licorería, es un combustible líquido de características similares a los obtenidos mediante la refinación del petróleo.

El proceso incluye una etapa de trituración y molienda para obtener una pasta homogénea, una etapa de fermentación y una de destilación y rectificación.

1.3.3 Procesos físicos

Existen otros procesos, siendo el más importante la producción de aceites vegetales a partir de plantas oleaginosas como el girasol, soja, semilla de algodón, palma, etc. En general, las semillas son prensadas mecánicamente para extraer el aceite. Estos aceites permiten reemplazar al gasoil en los motores de combustión interna, de ahí su importancia energética.

1.4 Usos y aplicaciones

La biomasa como energía renovable, permite acumular la energía que se ha fijado durante el periodo de crecimiento de la planta; y a través de distintos procesos de transformación explicados anteriormente, liberar esta energía, obteniendo calor, electricidad o energía mecánica. Las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes. En un nivel menor de desarrollo se sitúa la producción de electricidad.

1.4.1 Aplicaciones térmicas

Las aplicaciones térmicas y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro del sector de la biomasa. Sigue una escala de usos que comienza en las calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares. Hoy en día existen aparatos tanto de aire, que calientan una única estancia, como de agua, que permiten su adaptación a un sistema de radiadores o de suelo radiante y a otros sistemas con producción de agua caliente sanitaria.

En un segundo escalafón se sitúan las calderas diseñadas para un bloque o edificios de viviendas, equiparables en su funcionamiento a las habituales de gasóleo o gas natural, que proporcionan a las viviendas calefacción centralizada y agua caliente. Debido a la necesidad de disponer de un lugar amplio y seco para el almacenamiento del biocombustible este tipo de instalaciones pueden tener problemas en edificios con salas de calderas pequeñas y poco espacio aprovechable. En cambio son una buena solución, tanto económica como medioambiental, para edificios de nueva construcción. La red de calor y agua caliente llega no sólo a urbanizaciones o viviendas residenciales sino también a edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales... etc.

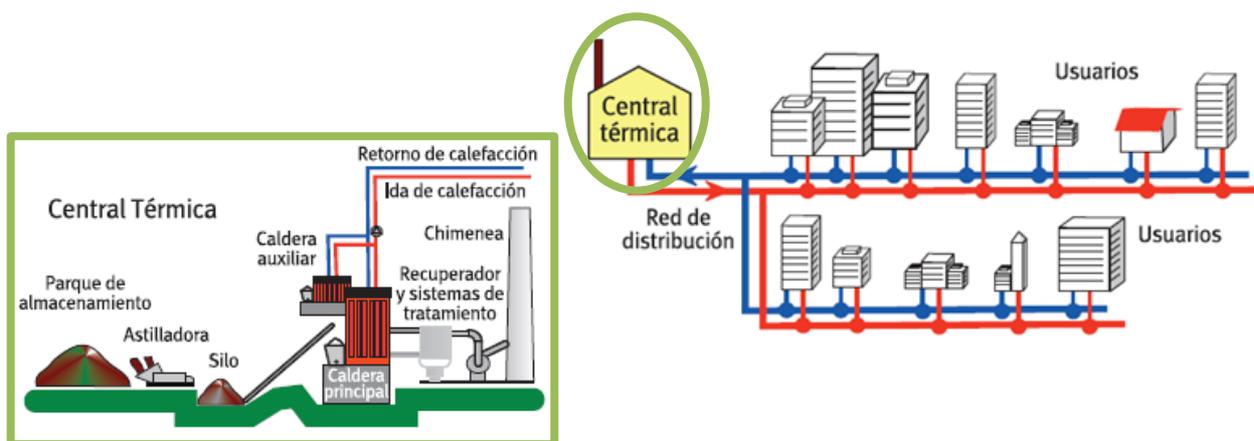


Figura 14: Esquema de una red centralizada para calefacción.

También las calderas de biomasa pueden abastecer los consumos térmicos de determinadas industrias, mediante la reutilización de los desechos que son generados en su propia empresa.

1.4.2 Generación de electricidad

La producción de electricidad precisa de sistemas aún más complejos dado el bajo poder calorífico de la biomasa, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido de volátiles. Para ello se necesitan centrales térmicas específicas con grandes calderas, con volúmenes de hogares mayores que si utilizaran combustibles convencionales, que conllevan inversiones elevadas y reducen su rendimiento. Todo ello, unido a la dificultad de aprovisionamiento de la biomasa, explica el poco peso de la biomasa en la generación de electricidad en el cómputo global de esta energía. La gran demanda de combustible de este tipo de plantas obliga a asegurar un abastecimiento continuo, que tiene la dualidad de encarecer su precio por la distancia a la que se debe buscar el suministro, pero también puede reducirlo al adquirir grandes cantidades.

El funcionamiento de una caldera eléctrica de biomasa es el siguiente: la combustión de la biomasa genera enormes cantidades de calor que sirven para transformar el agua en vapor, este vapor que sale de la caldera hace girar las palas de la turbina. En el generador, la energía mecánica producida por la turbina se genera en energía eléctrica. El vapor que sale de la turbina vuelve a transformarse en agua líquida para iniciar de nuevo el proceso de producción de vapor.

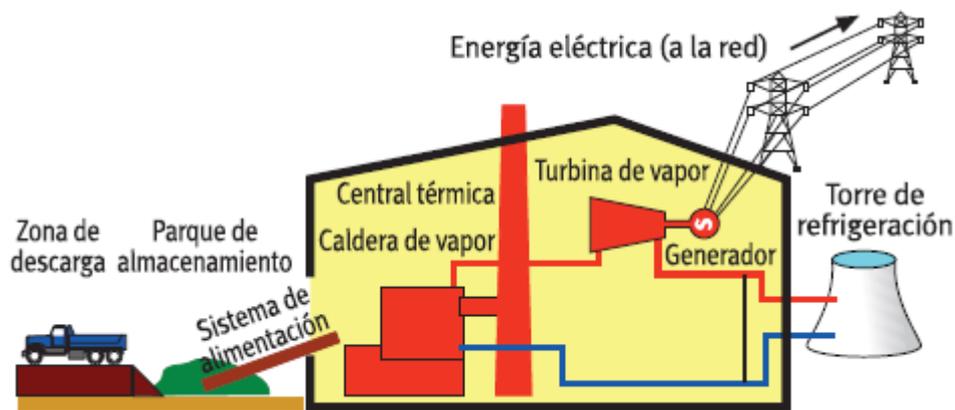


Figura 15: Esquema de una planta de producción de electricidad. [18]

Son pocas las plantas de producción eléctrica que existen en España y la mayor parte de la potencia instalada procede de instalaciones ubicadas en industrias que tienen asegurado el combustible con su propia producción. Es el caso de la industria papelera, y en menor medida, de otras industrias forestales y agroalimentarias, que aprovechan los residuos generados en sus procesos de fabricación para reutilizarlos como combustibles.

Una de las explicaciones para este escaso avance es la inexistencia de cultivos energéticos que suministren combustible de manera continuada, en cantidad y calidad a determinadas plantas. Con el fin de mejorar el rendimiento de las instalaciones y por tanto su rentabilidad económica, la innovación tecnológica en este campo está orientada hacia el desarrollo de la gasificación de biomasa y posterior conversión en electricidad a través de moto generadores u otros sistemas de combustión del gas de síntesis producido. El futuro inmediato, se contempla la combustión conjunta de biomasa y otro combustible (como el carbón) en centrales térmicas ya instaladas.

Entre los combustibles más utilizados en aplicaciones eléctricas se encuentran los residuos de la industria del aceite de oliva, existiendo plantas de gran tamaño en el Sur de España que se alimentan de estos combustibles. Otra de las mayores plantas de nuestro país se sitúa en Sangüesa, en este caso alimentada con paja de cereal. Como se ya se ha dicho, las industrias forestales y otras industriales agroalimentarias (como las maiceras y las alcohólicas) también tienen su cuota de importancia al producir energía eléctrica con sus propios residuos.

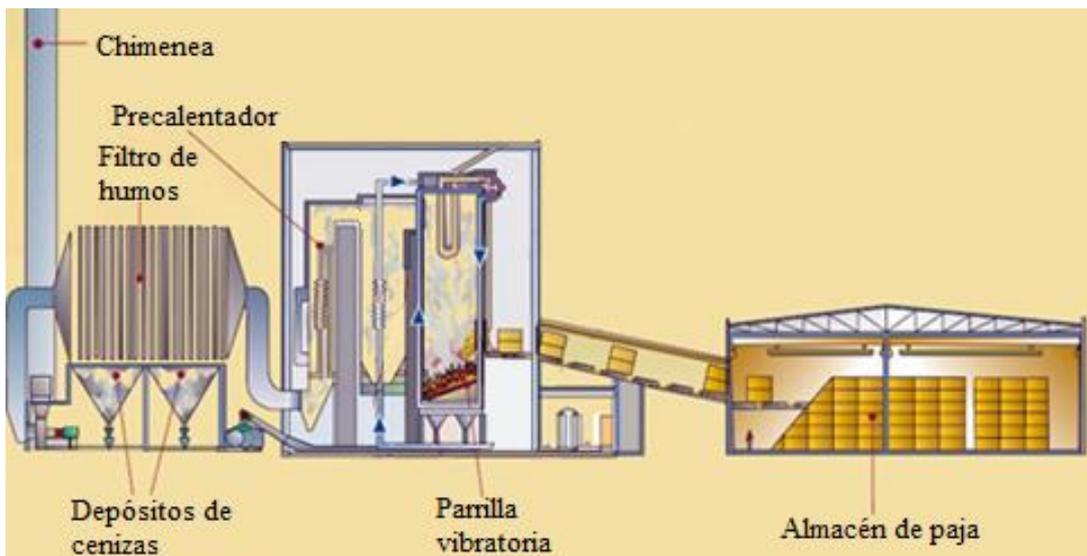


Figura 16: Esquema de la caldera de Sangüesa. [19]

En Austria existe una instalación con biomasa que suministra calefacción a un distrito residencial pero su carácter innovador se debe a que el vapor de la planta no se expande en una turbina, sino que se efectúa en un motor con sistema de tornillo conectado a un generador para producir energía eléctrica. La producción combinada de calor y electricidad, es conocida como cogeneración.

En el balance de la instalación es significativo que el 70% de la energía se utiliza para la red de calefacción y el 10% para la generación de energía eléctrica. Una de las principales ventajas de este sistema es que se evitan las frecuentes averías de las turbinas clásicas, porque la maquinaria es compacta y con menores gastos de mantenimiento.

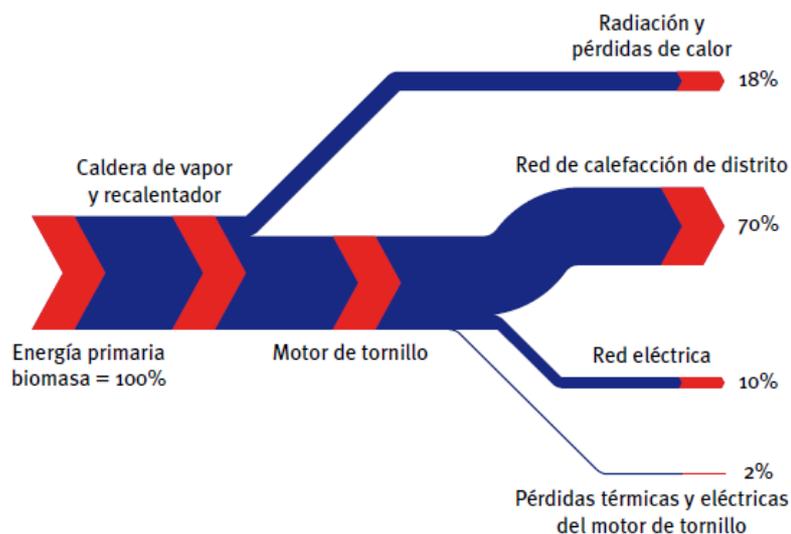


Figura 17: Diagrama energético de la instalación. [31]

1.5 Recursos en Andalucía

Desde el punto de vista práctico la biomasa se puede clasificar en función de la fuente de obtención. En la comunidad autónoma andaluza las principales fuentes de biomasa de son:

1.5.1 Biomasa agrícola

Se incluyen todos los residuos orgánicos y restos vegetales generados por los cultivos agrícolas, que son el resultado de las podas y de los restos del cultivo tras la cosecha.

Debemos destacar esta biomasa entre las demás, ya que la producción de aceite de oliva es uno de los productos más preciados en Andalucía. Mantiene una superficie constante, alrededor de las 1.500.000 hectáreas de olivar.

Este cultivo y sus industrias derivadas generan una serie de subproductos con un contenido energético importante. Los subproductos susceptibles de valorización energética son el orujo, orujillo, el hueso de la aceituna, la hoja de almazara y la poda del olivar. Mediante una tecnología adecuada, puede obtenerse tanto energía térmica como eléctrica de dichos subproductos.

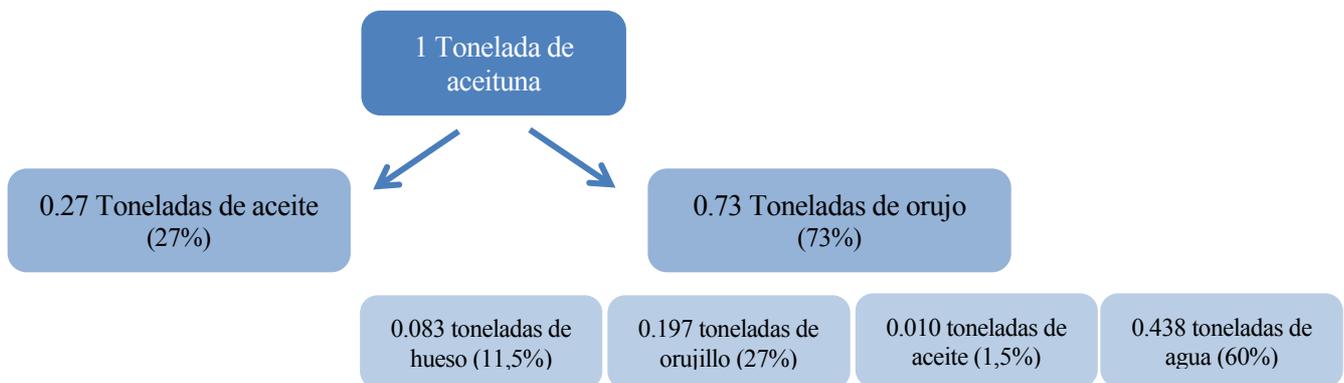


Figura 18: Balance de masa del proceso de la industria del aceite. [7]

1.5.1.1 Orujo

El proceso de obtención del aceite de oliva en las almazaras, principalmente por centrifugación y en menor proporción por prensado, genera como subproducto el orujo. El orujo generado se almacena en balsas para su posterior procesado, se trata de un proceso físico de segunda centrifugación, también llamado repaso en las extractoras, obteniéndose aceite de orujo.

Una opción alternativa a la extracción es destinar el orujo repasado a la producción de energía eléctrica, previo secado hasta una humedad aproximada del 40% para facilitar la combustión del mismo.

1.5.1.2 Orujillo

Una vez el orujo es secado y sometido al proceso de extracción de aceite, se transforma en orujillo. Se trata de un subproducto que tiene unas buenas propiedades como combustible, que puede utilizarse tanto para la generación de energía térmica como para la generación de energía eléctrica.

Una parte del orujillo generado en las extractoras es auto consumido en la propia instalación, tanto en el secado del orujo como en calderas para generación de vapor para el proceso.

1.5.1.3 Hueso de aceituna

El hueso es un combustible de unas características excelentes: elevada densidad, humedad media del 15%,

granulometría muy uniforme y un alto poder calorífico. Por lo tanto, es muy adecuado para usos térmicos, tanto en el sector industrial como doméstico y residencial debido a su buen manejo. Tradicionalmente se ha empleado como combustible en aplicaciones térmicas en la propia industria del olivar, aunque en la actualidad cobra cada vez más importancia las aplicaciones térmicas en el sector servicio y residencial.



Figura 19: Hueso de aceituna del almacén de CGC en Jerez de la Frontera. [7]

1.5.1.4 Hoja de olivo

Durante el proceso de obtención del aceite se separa una cantidad considerable de hoja de olivo, suele representar el 8% de la aceituna tratada y el uso para la alimentación se encuentra limitada por el mal sabor. Por lo que en la actualidad hay plantas de generación eléctrica que la emplean como combustible.

1.5.1.5 Poda de olivar

El olivar debe ser podado cada año. La contribución energética del olivar puede incrementarse de manera significativa valorizando adecuadamente la poda y la hoja de almazara; ya que tanto orujo, orujillo y el hueso, son empleados casi en su totalidad en proyectos energéticos.

1.5.2 Residuos forestales

Estos pueden dividirse en: residuos de poda o de corta. Los primeros provienen de realizar tratamientos silvícolas para el mantenimiento y mejora de los montes y masas forestales mediante talas, podas, limpiezas de matorrales, etc. Estos trabajos generan unos residuos como pueden ser: la leña, ramas...etc. Los segundos son residuos son generados en la limpieza de los pies maderables y constituyen cerca de la tercera parte del árbol.

Ambos deben ser retirados del monte para evitar que lleguen a ser un alto factor de riesgo de incendios.

1.5.3 Residuos industriales

Subproductos generados por la industria, principalmente industrias agroalimentarias, pesqueras y forestales. Un subproducto puede ser empleado como biomasa industrial cuando tiene una serie de criterios como son: adecuada aptitud energética, existencia de alguna tecnología para el aprovechamiento energético, cantidad importante de dicho residuo o que el sector industrial se encuentre concentrado en una localidad. Algunos ejemplos de las industrias y residuos con mayor uso y potencial en Andalucía son: arroceras, cerveceras, industria del vino, industria de frutos secos...etc.

1.5.4 Residuos ganaderos

Son la mezcla de los excrementos y del material sobre el cual se recogen. Los residuos ganaderos se han utilizado tradicionalmente como fertilizantes orgánicos. Pero en zonas de alta concentración ganadera, la generación de residuos es muy alta, por lo que resulta imposible utilizar todos los residuos generados.

1.5.5 Residuos urbanos

Son aquellos que se originan en los núcleos de la población como consecuencia de la actividad habitual y diaria del ser humano. Los residuos urbanos que se pueden considerar biomasa son:

- Parte orgánica de los residuos sólidos urbanos.
- Aguas residuales y lodos de depuradoras.
- Aceites vegetales usados.
- Residuos vegetales de parques y jardines.

1.5.6 Cultivos energéticos

Son cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de energía. Tienen características como elevada rusticidad permitiendo tener una alta resistencia a la sequía, a las enfermedades y adaptación fácil a los terrenos marginales.

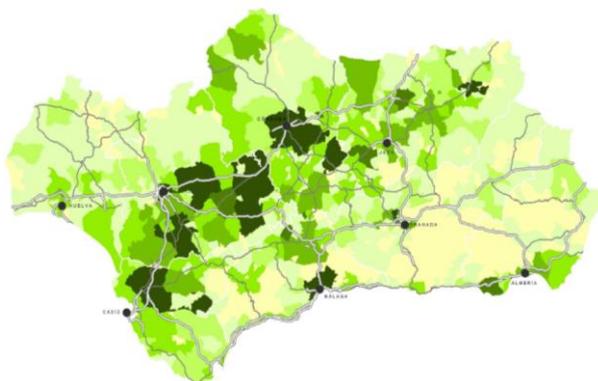


Figura 20: Distribución del potencial aprovechable en Andalucía [7]

La existencia de una gran superficie cultivable con un futuro incierto tras las distintas reformas de la política Agraria, convierte a nuestra región en una zona con gran potencial para el aprovechamiento de los cultivos energéticos que, puede suponer una alternativa a nuestros agricultores y una salida a la dependencia por los combustibles fósiles. El éxito o fracaso de un cultivo depende de la disponibilidad de los factores necesarios para su producción. Los insumos que pueden condicionar en mayor medida su desarrollo son la disponibilidad de semilla o plantones para siembra y la maquinaria agrícola específica.

En Andalucía se han llevado a cabo numerosas experiencias tanto públicas como privadas para el ensayo y producción de diferentes especies herbáceas y arbóreas con fines energéticos, en las cuales se han evaluado tanto especies cultivadas tradicionalmente como los cereales, el girasol y la colza, con una aptitud adecuada para la producción de biocarburantes, como especies herbáceas y forestales para el aprovechamiento térmico y/o eléctrico.

Mención aparte merece el cultivo de microalgas que puede ser una oportunidad para el desarrollo de la Bioeconomía, mediante industrias capaces de producir alimentos, energía, fármacos,... a gran escala; permitiendo la armonía entre población, territorio, uso de recursos y medio ambiente efectos producidos en el proceso de crecimiento y transformación de estos organismos. Aún no hemos llegado a disponer de la tecnología suficiente que posibilite un uso comercial de las microalgas para aplicaciones a gran escala como la bioenergía, pero muchas son las personas, empresas, instituciones que están trabajando por conseguir esta meta.

Existen distintas clasificaciones de los cultivos energéticos, atendiendo en función de la naturaleza del

cultivo (herbáceo y leñoso) del ciclo del cultivo (anual o plurianual), y del tipo de aprovechamiento energético:

- *Cultivos oleaginosos*, para la producción de aceite transformable en biodiesel para la sustitución del gasóleo de automoción. No parece probable que en Andalucía se dedique superficie agrícola a la siembra de cultivos alimentarios para la producción de biocarburantes.
- *Cultivos alcoholígenos*, para la producción de etanol utilizable en sustitución parcial o total de las gasolinas de automoción o para la producción de aditivos antidetonantes exentos de plomo.
- *Cultivos lignocelulósicos*, para la producción de biocombustibles sólidos utilizables con fines térmicos, principalmente para la producción de electricidad.

Tabla 1: Cultivos energéticos. [7]

Tipología de cultivos	Cultivos
Alcoholígenos	<ul style="list-style-type: none"> - Remolacha - Patata - Cebada o trigo
Oleaginosos	<ul style="list-style-type: none"> - Girasol, colza - Palma, soja
Lignocelulósicos	<ul style="list-style-type: none"> - Especies leñosas - Especies herbáceas

Los productos obtenidos por los cultivos energéticos son: semilla, grano, frutos y biomasa lignocelulósica (paja, cañote, madera). Aunque tecnológicamente, es factible utilizar todos los productos para las tres aplicaciones energéticas posibles: biocarburantes y usos térmicos o eléctricos, desde el punto de vista práctico y económico lo usual es destinar la semilla, grano y frutos a la producción de biocarburantes, y la biomasa lignocelulósica (paja, cañote, madera) a la producción de energía térmica y eléctrica.

1.6 Situación actual y expectativas en Andalucía

En la comunidad andaluza se está incentivando el uso de nuevos sistemas para aprovechar la energía de la biomasa para obtener calefacción de viviendas. Algunos objetivos fijados en la estrategia energética de Andalucía para 2020 son:

- Reducir un 25% el consumo de la energía primaria
- Aportar con energía renovables un 25% del consumo final bruto de energía. Donde se espera que la energía procedente de la biomasa tenga un peso importante.
- Auto consumir el 5% de la energía eléctrica generada con fuentes renovables.

En 2016, el consumo de energía primaria en Andalucía debido a la biomasa fue del 7,5% del total de energía. Se produjo un incremento respecto a años anteriores, motivado principalmente por el mayor consumo de biomasa procedente de la industria oleícola

Tabla 2: Desglose del potencial por tipo de biomasa. [7]

		TONELADAS	KTEP
RESIDUOS AGRICOLAS	<i>SUBTOTAL BIOMASA AGRÍCOLA</i>	4.606.473	1.322
	OLIVAR	2.524.419	803
	FRUTAL	112.611	39
	VID	48.305	12
	GIRASOL	524.533	152
	INVERNADEROS	415.070	50
	ARROZ	145.910	41
	ALGODÓN	721.353	217
	TOMATE	38.449	8
RESIDUOS GANADEROS	<i>SUBTOTAL BIOMASA GANADERA</i>	4.342.525	77
	PORCINO	1.476.565	17
	VACUNO	1.371.182	24
	AVICOLA	361.355	18
	OTRAS ESPECIES	1.133.424	18
RESIDUOS INDUSTRIALES	<i>SUBTOTAL BIOMASA INDUSTRIAL</i>	5.070.029	1.023
	HOJA OLIVO	345.108	86
	HUESO ACEITUNA	552.434	215
	ORUJO HUMEDO GRASO OLIVA	3.011.462	422
	CASCARA ARROZ	58.693	20
	IINDUSTRIA CERVEZA	123.083	2
	MATADERO Y CARNICAS	100.203	14
	RESIDUOS CORCHO	10.600	4
	DESMOTADORA DE ALGODÓN	16.811	5
	CASCARA FRUTOS SECOS	17.500	7
	INDUSTRIA VINO Y LICORES	41.097	9
	INDUSTRIA Y MADERA	220.410	59
	INDUSTRIA AZUCARERA	6.000	2
RESIDUOS INDUSTRIA PESCADO	14.824	1	
	LICORES NEGROS	474.802	145
	GLICERINA BRUTA	77.000	35
RESIDUOS FORESTALES	<i>SUBTOTAL BIOMASA FORESTAL</i>	1.345.840	322
	QUERCUS	283.237	76
	EUCALIPTO	488.706	83
	POPULUS	9.087	2
	PINUS	564.994	161
CULTIVOS ENERGÉTICOS	<i>SUBTOTAL BIOMASA CULTIVO ENERGÉTICO</i>	1.864.600	620
RESIDUOS URBANOS	<i>SUBTOTAL BIOMASA URBANA</i>	2.929.782	591
	ACEITES VEGETALES USADOS	57.916	52
	PARQUES Y JARDINES	208.000	56
	FORSU	735.697	276
	LODOS EDAR URBANOS	547.775	163
	AGUAS RESIDUALES (m ³)	1.380.394	44
		20.159.249	3.955

El potencial de biomasa detectado en Andalucía a día de hoy asciende a 3.955 ktep. Teniendo en cuenta que el consumo de energía primaria en Andalucía en 2016 fue de 18.277,6 ktep significa que el potencial de biomasa representa el 21,6% de las necesidades energéticas en Andalucía.

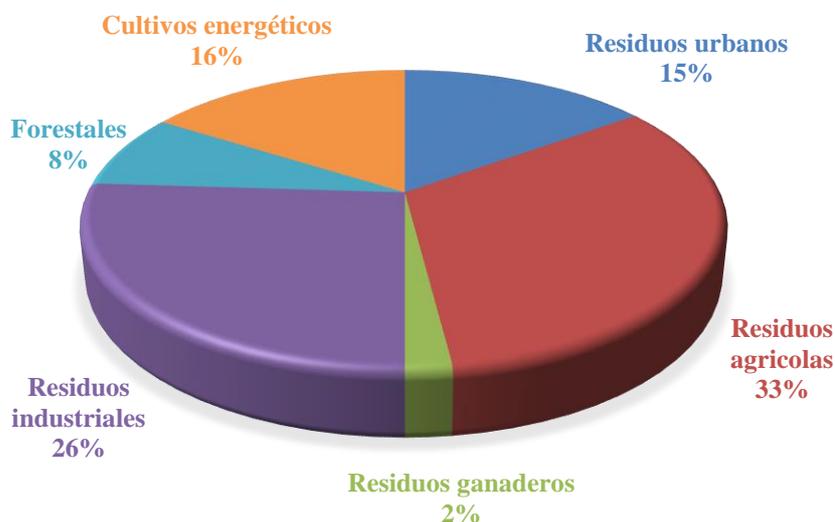


Figura 21: Distribución del potencial de biomasa en Andalucía por fuentes de obtención. [8]

Destacan las provincias de Jaén, Córdoba y Granada por elevado número de instalaciones y potencia instalada, ya que superan entre las tres el 72% de la potencia instalada en Andalucía. El combustible utilizado en la mayor parte de las calderas y generadores de aire es el hueso de aceituna, aunque el consumo de pellet va aumentando en el sector residencial a medida que se construyen nuevas plantas de fabricación de pellet y mejora su distribución.

Tabla 3: Distribución provincial de instalaciones térmicas de biomasa por sectores en 2016. [7]

	Industria	Servicios	Residencial	Primario	Provincia
Almería	26	14	1.945	6	7%
Cádiz	21	17	1.109	2	4%
Córdoba	281	57	4.246	5	17%
Granada	141	155	6.209	27	24%
Huelva	22	25	723	20	3%
Jaén	400	210	4.604	15	19%
Málaga	96	30	2.301	4	9%
Sevilla	127	45	4.518	27	17%

2 INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN

El código técnico de la edificación (CTE) aprobado mediante el RD 314/2006, establece el requisito de una contribución solar mínima en la producción del agua caliente sanitaria (ACS) para edificios nuevos o rehabilitados. A su vez, en esta sección se establece que la energía solar térmica puede ser sustituida por otras fuentes de energía renovables, como pueden ser la energía geotérmica, aerotérmica y biomasa.

2.1 Instalaciones habituales con biomasa

La biomasa es empleada principalmente para aplicaciones térmicas y para la producción de electricidad. En el sector doméstico, las aplicaciones térmicas más comunes son la producción de calor y de agua caliente sanitaria. Las instalaciones más empleadas en las viviendas son las siguientes:

2.1.1 Instalación de calefacción y producción de ACS con control de temperatura de retorno

Cuando en la instalación se tiene un circuito con radiadores de fundición y con tubos de gran tamaño con mucho volumen de agua y con generación de ACS sería recomendable incorporar una válvula mezcladora de tres vías.

La válvula mezcladora sirve para evitar que la temperatura de retorno de la caldera sea inferior a 55°C, evitando así problemas de corrosión por condensación de agua y ácidos en el interior de la caldera y acumulación de suciedad. Este tipo de esquema es el recomendable en el mayor número de instalaciones con biomasa.

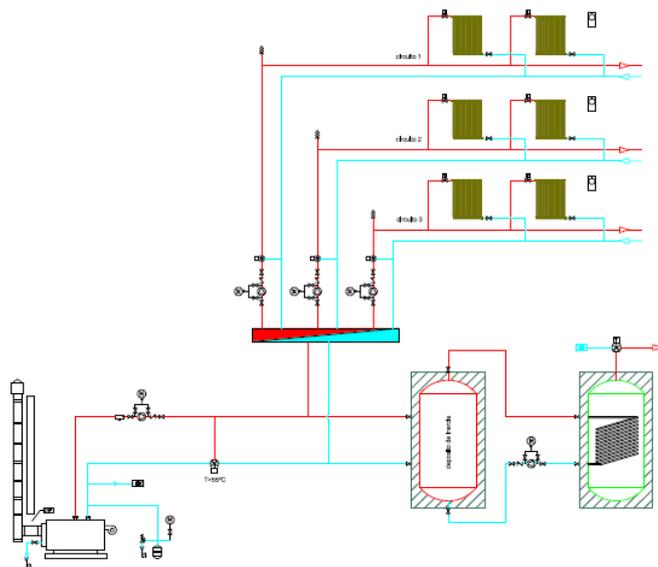


Figura 22: Instalación de calefacción y producción de ACS con control de la temperatura de retorno [9]

2.1.2 Instalación de calefacción con suelo radiante

Este tipo de instalación cuenta con caldera únicamente para suelo radiante. Como se puede apreciar en este tipo de circuitos también cuenta con una válvula mezcladora de tres vías, para controlar la temperatura de impulsión y la temperatura de retorno, y con un depósito de inercia.

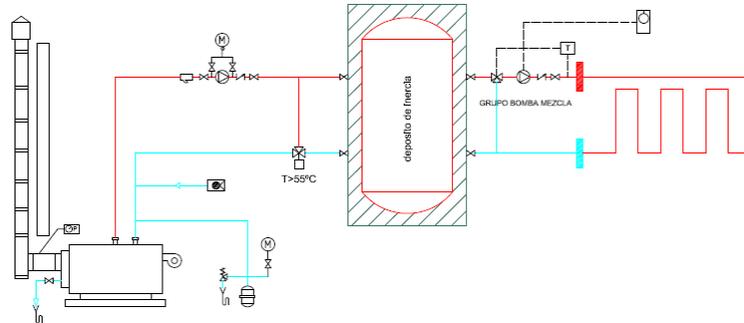


Figura 23: Instalación de calefacción de suelo radiante [9]

Los depósitos de inercia son depósitos de agua calorifugados que se conectan en serie con la instalación de calefacción. Tienen una doble función, por un lado son los encargados de almacenar la energía o el calor residual para posteriormente distribuirla por el circuito y por otro lado son capaces de hacer que una instalación de biomasa funcione más eficientemente. En función de la caldera que elijamos para la instalación, estos depósitos pueden ser necesarios, recomendables o no necesarios. En el caso que se emplee calderas de leña, deberemos disponer de depósito de inercia, debido a que no se puede controlar la cantidad de combustible que el usuario va a introducir ni su combustión, y es una manera de proteger al sistema en caso de exceso de energía.

2.1.3 Instalación de suelo radiante y ACS

En este tipo de instalación se tiene una caldera para suelo radiante y ACS. También se necesita con una válvula mezcladora de tres vías para el control de la temperatura de impulsión y de retorno de la instalación, y con un depósito de inercia.

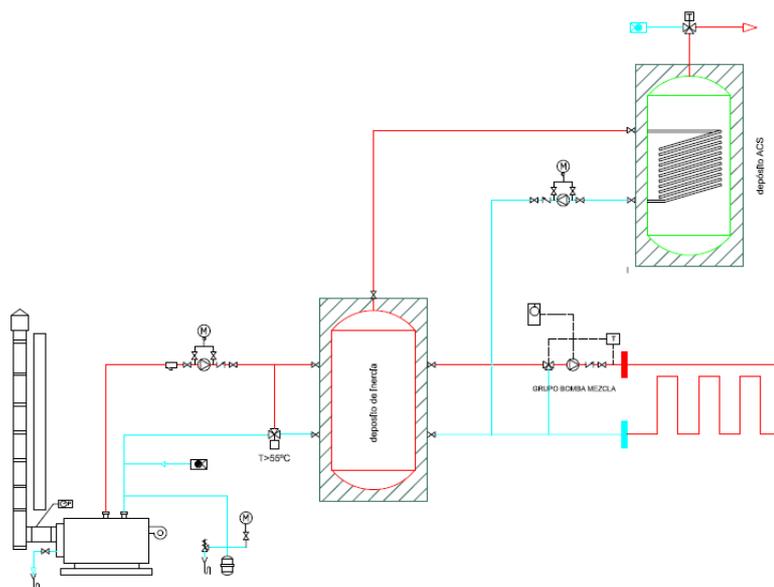


Figura 24: Instalación de suelo radiante y ACS [9]

2.1.4 Instalación de producción de frío

La climatización engloba tanto la producción de calor como de frío. La producción de calor a través de la biomasa se realiza a través de calderas, mientras que para la producción de frío, además, es necesario incorporar ciclos de absorción.

La producción de frío mediante un ciclo de absorción necesita una fuente de energía térmica. En el caso de sistemas alimentados por biomasa esta fuente es el agua caliente que genera la caldera de biomasa. El esquema del ciclo de absorción es el siguiente:

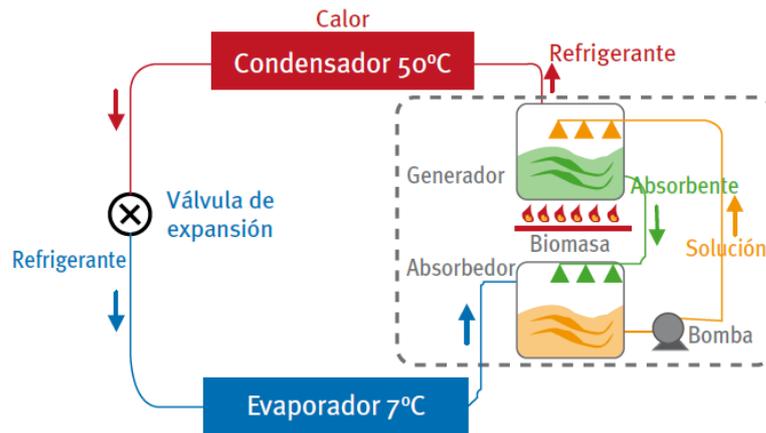


Figura 25: Climatización por medio de biomasa [10].

El funcionamiento de una máquina de absorción es similar al de una máquina de compresión mecánica, con la principal diferencia que el compresor mecánico se sustituye por un “compresor químico”. El compresor químico está compuesto por un absorbedor y un generador, esto permite disminuir considerablemente el consumo eléctrico, que es el principal inconveniente de los compresores mecánicos.

En el generador se produce la combustión de la biomasa, aumentando la temperatura de la mezcla de solución y refrigerante, este último suele ser agua. La mezcla se calienta y el agua es evaporada, abandonando la solución. El vapor de agua se transporta al condensador donde se enfría y se expande a través de una válvula de expansión, llegando al evaporador. En el evaporador, disminuye la temperatura del agua que se desea enfriar y el refrigerante vuelve a cambiar de estado a vapor y pasa al absorbedor donde vuelve a mezclarse con la solución. La solución es bombeada al generador, donde comienza de nuevo el ciclo.

Las máquinas de absorción tienen un COP inferior a las de las máquinas de compresión mecánica; sin embargo, tienen la ventaja que el calor que se entrega al generador puede ser a muy bajo coste, de manera que el proceso sea más rentable. Las máquinas de absorción necesitan una temperatura de funcionamiento superior a los 80 °C para que su rendimiento no sea demasiado bajo, con lo que el calor necesario en el generador podría ser un calor sobrante o producirlo mediante un sistema de bajo coste, como son las calderas de biomasa.

Las máquinas de compresión mecánica tiene un COP en torno al 2,5, en cambio, las máquinas de absorción puede tener un COP de aproximadamente 0,7-1,2 en función si es de simple efecto o de doble efecto. Hay que considerar para la compresión mecánica el proceso completo, desde que se genera la electricidad hasta que se obtiene el frío.

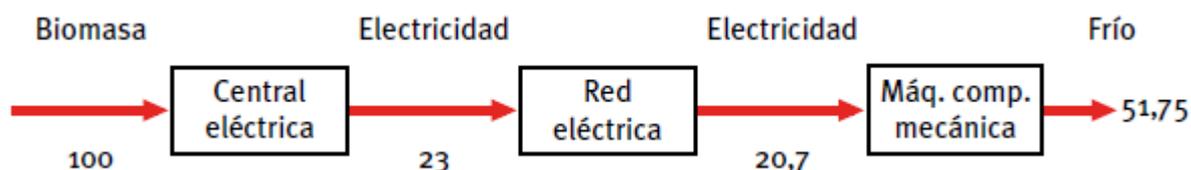


Figura 26: Esquema de obtención de frío mediante compresión mecánica. [20]

Como se puede observar el consumo eléctrico de las máquinas de compresión mecánica es elevado, lo que supone un coste bastante elevado. Realizando el mismo esquema pero en este caso, para el proceso de absorción el número de transformaciones es el mismo (de biomasa a calor y de calor a frío) pero el proceso es muy diferente.

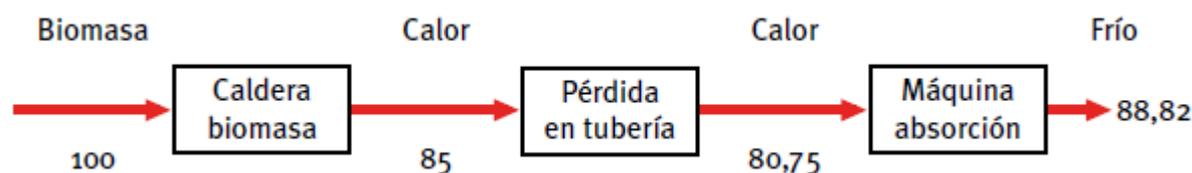


Figura 27: Esquema de obtención de frío mediante absorción. [20]

El proceso de absorción necesita poco consumo de energía eléctrica y sólo requiere energía térmica procedente de la combustión de biomasa o de calores residuales del proceso, que de otra manera serían desperdiciados. Las máquinas de absorción resultan más caras, tanto en inversión como en mantenimiento, por lo que habrá que tener en cuenta el nivel de utilización para ver si es rentable o no.

2.2 Instalaciones híbridas solar-biomasa

Las calderas de biomasa pueden combinarse con instalaciones de energía solar térmica para producción de ACS y/o calefacción. Debido a que la energía solar no es constante, es siempre necesario disponer de un sistema auxiliar de apoyo. Por lo que la sustitución de las calderas convencionales por calderas de biomasa como sistema de apoyo es una buena opción, ya que permite reducir la emisión de gases contaminantes. Este tipo de instalaciones presenta una serie de ventajas:

- El sistema solar permite parar la instalación de biomasa en verano, reduciendo tiempos de funcionamiento del equipo.
- El acumulador solar puede utilizarse para equilibrar variaciones de carga de la caldera de biomasa en invierno.
- El sistema solar puede aportar energía tanto para ACS como calefacción, calentamiento de piscinas y climatización.

Además de las ventajas ecológicas, esta solución permite reducir los costes de climatización y ACS tanto en un edificio como en una vivienda unifamiliar.

Durante la época del verano, el consumo energético suele ser bajo por lo que la instalación solar puede proporcionar el 100% de la demanda, permaneciendo la instalación de biomasa parada. Esto permite reducir los costes de mantenimiento, emisiones y las pérdidas de energía. Aunque en el caso de que la vivienda tenga refrigeración con máquina de absorción, la biomasa se utilizaría tal y como se ha descrito anteriormente.

Durante la época de invierno, el sistema de biomasa se emplea para proporcionar la energía que no se puede obtener del sol. La instalación solar puede ser empleada tanto para ACS como para calefacción, pero en España estas aplicaciones mixtas deben cumplir con una serie de requisitos:

- Consumir prioritariamente la energía solar evitando las pérdidas por acumulación.
- Asegurar la correcta complementariedad entre la energía solar y la energía auxiliar, en nuestro caso la biomasa.
- Es recomendable no utilizar un mismo acumulador para la energía solar con la energía auxiliar.
- Nunca debe mezclarse el agua caliente sanitaria con el agua para calefacción, por lo que es necesario instalar un depósito para cada sistema.

Existen distintos esquemas de conexión entre la instalación solar y el sistema de biomasa:

2.2.1 Calefacción sin producción de agua caliente sanitaria

El sistema de energía solar precalienta el agua procedente del retorno de la calefacción y la almacena en el acumulador del sistema solar. Si el agua de retorno tiene una temperatura demasiado elevada se evita su paso por este acumulador mediante una válvula de tres vías. Si la temperatura no tiene una temperatura suficiente será precalentada mediante los colectores, una vez el agua haya sido precalentada pasa a un depósito de inercia donde volverá a ser calentada por la caldera de biomasa. Este depósito ayuda a equilibrar la demanda energética y evita la unión directa de la caldera de biomasa y el sistema solar.

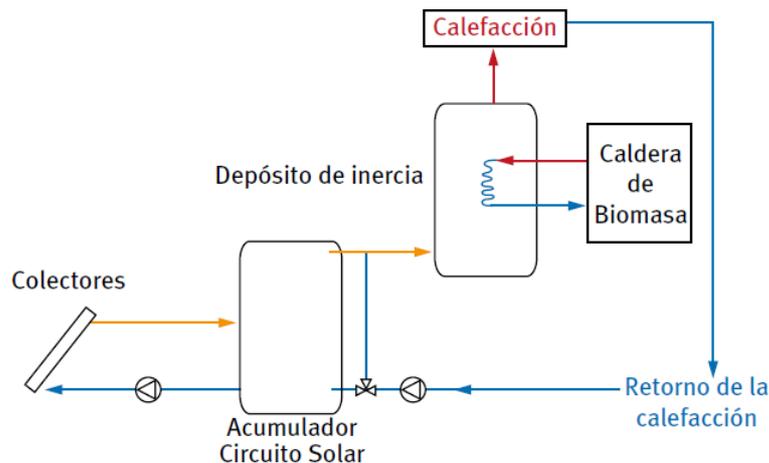


Figura 28: Sistema mixto biomasa-solar para calefacción [10].

2.2.2 Calefacción y producción de agua caliente sanitaria descentralizada

El sistema sigue siendo el mismo esquema que el anterior. Se diferencian en la distribución de la energía térmica por el edificio. Para la distribución de calefacción y generación de agua caliente sanitaria se disponen de intercambiadores que cederán calor a los sistemas individuales de ACS. Estos pueden instalarse en paralelo o en serie. La disposición en paralelo asegura una distribución correcta de la energía y de la temperatura del ACS, siendo más adecuada cuando la temperatura de la red de calefacción no debe ser alta (suelo radiante).

La conexión en serie radiador-intercambiador supone optimizar el consumo de energía, disminuyendo al máximo la temperatura de retorno de la calefacción, lo que significa una disminución de las pérdidas en la red de distribución y un mayor rendimiento del sistema solar (ya que el agua llega a menor temperatura). Este sistema es más adecuado para calefacciones con radiadores que necesitan temperaturas superiores en el agua de distribución.

Los sistemas individuales de ACS pueden incluir un acumulador de agua caliente o no (con o sin un sistema de energía auxiliar: resistencia eléctrica, calentador de gas, etc.). Se recomienda el uso de acumuladores en los sistemas individuales a fin de equilibrar la demanda térmica, mejorando el rendimiento del sistema solar e impedir variaciones de carga importantes en la caldera de biomasa.

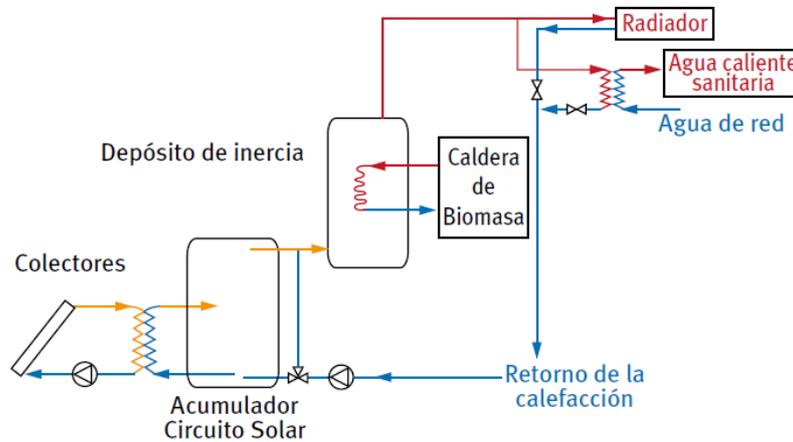


Figura 29: Sistema de energía solar térmica para calefacción y ACS descentralizada [10].

2.2.3 Calefacción y producción de agua caliente sanitaria centralizada

En este caso el agua de retorno de la calefacción no se almacena en el acumulador del sistema solar ya que éste contendrá agua caliente sanitaria.

Para evitar la mezcla del agua caliente sanitaria y el agua del circuito de calefacción en el acumulador solar se dispone, dentro de éste, de un intercambiador. Por el intercambiador pasa el agua de retorno de calefacción precalentándose y almacenándose posteriormente en el depósito de inercia. El agua caliente sanitaria pasa del acumulador solar al depósito de inercia donde se calentará a través de un intercambiador para evitar su mezcla con el agua de calefacción allí contenida.

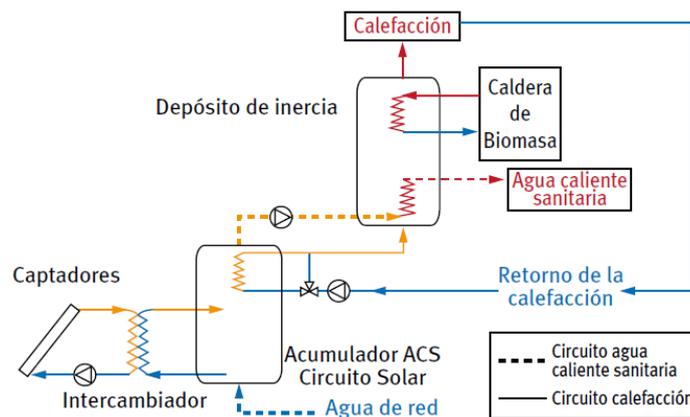


Figura 30: Sistema de energía solar térmica para calefacción y ACS centralizada [10].

La distribución de calefacción y ACS se realiza de forma independiente siendo conveniente la existencia de acumuladores individuales de agua caliente sanitaria o de acumulador centralizado de ACS que esté conectado a la caldera de biomasa.



Figura 31: Vivienda unifamiliar con instalación mixta biomasa-solar.

Hay una serie de aspectos básicos que son importantes en el diseño cuando el sistema combina la energía térmica y biomasa:

1. *Diseño de la integración:* es importante considerar la integración de un sistema solar térmico en los primeros pasos del diseño del proyecto, para adaptarlo adecuadamente. A fin de reducir el impacto visual y los costes de instalación es preferible integrar los captadores solares en el tejado que montarlos encima.
2. *Temperatura de retorno:* cuanto más fría esté el agua de retorno que pasa al sistema solar mayor será su rendimiento. Así mismo, cuanto más baja sea la temperatura de uso también será mayor el rendimiento y menor será la necesidad de la caldera de biomasa.
3. *Conexión hidráulica de los captadores:* los captadores deben conectarse de acuerdo con el caudal principal. Un buen diseño permitirá mayores incrementos de temperatura en el captador, menores pérdidas, menor energía requerida para bombeo, menor recorrido de tuberías y una mejor temperatura de acumulación.
4. *Gestión de la acumulación de calor:* debe utilizarse un único acumulador para el sistema de energía solar térmica (que será complementado por otro del sistema auxiliar). El uso de más de un acumulador en el sistema solar implica mayores costes. El acumulador debe estar bien aislado y lo más cerca posible del campo de captadores solares.
5. *Inclinación de los captadores:* la inclinación de los captadores solares se sitúa entre los 35 y los 45 grados para España, dependiendo de la zona y el uso principal. Su orientación debe ser Sur.
6. *Dimensionamiento del sistema solar:* es necesario estimar detalladamente la demanda de calor. Para evitar pérdidas importantes de rendimiento de la instalación, así como sobrecalentamientos en verano, no debe sobredimensionarse la instalación aunque esto signifique una menor cobertura con energía solar. Debe procurarse no aportar más del 110% de la energía necesaria en ningún mes.

3 CALDERAS DE BIOMASA

La tecnología de las calderas de biomasa ha hecho importantes progresos en la última década. Las emisiones de CO₂ han disminuido desde valores del rango de 5.000 mg/m³ hasta valores de 50 mg/m³ y los rendimientos han alcanzado valores entre un 85 y 92%, es decir, del mismo orden que presentan las calderas de gasóleo o de gas. La tecnología actual permite:

- Arranque automático y regulación en función de la demanda.
- Actuación por control remoto para la solución de incidentes y supervisión.
- Adaptación a cualquier sistema de gestión.
- Limpieza automática de las superficies de intercambio,
- Extracción automática de cenizas.

A la hora de seleccionar una caldera hay que tener en cuenta una serie de factores como pueden ser: tipo y calidad del combustible que se va a emplear, sistemas con alto rendimiento (>90%), bajas emisiones y elevado nivel de automatización para mayor comodidad debido a que reduce los trabajos de mantenimiento.

3.1.1 Combustible empleado

A la hora de seleccionar una caldera es importante conocer el tipo de combustible biomásico que se va a emplear, ya que existen en la actualidad una gran variedad susceptibles de ser utilizadas en sustitución de los combustibles actuales. Los tipos de biomasa más empleados para sistemas de climatización para el sector doméstico son:

- Pellets, producidos de forma residual. Consiste en serrín prensado, en forma de virutas.
- Astillas, provenientes de industrias de la primera o segunda transformación de la madera o de tratamientos silvícolas o forestales (podas, clareos, etc.).
- Residuos agroindustriales, como cáscara de frutos secos, huesos de aceituna, etc. Su calidad tiene que ser la correcta.
- Leña, que puede obtenerse en el mercado o ser producida por el propio usuario.



Figura 32: Pellets de biomasa. [13]

A la hora de seleccionar el tipo de biomasa más apropiado para la instalación debemos considerar las ventajas e inconvenientes de cada uno.

Tabla 4: Propiedades de los combustibles biomásicos.

	VENTAJAS	INCONVENIENTES	PCI (MJ/kg)
Astillas	<ul style="list-style-type: none"> -Disposición local. -Precio bajo. -Alto poder calorífico en astillas con baja humedad. -Escasa manipulación. -Ideal para zonas de alta masa forestal. 	<ul style="list-style-type: none"> -Alto espacio almacenamiento. -Requerimiento alto de operación y mantenimiento. -Problemas de calidad y uniformidad. 	14,4-16,2
Pellets	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor poder calorífico y bajo nivel de cenizas. -Idóneo para instalaciones de bajo consumo o edificios en ciudades. -Menor requerimiento de operación, mantenimiento y almacenamiento -Aprovecha el calor residual del humo, para generar más calefacción. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor precio -Requieren también de consumo eléctrico. -Necesidad de almacenarse en un lugar seco. -Uniformidad puede enmascarar materias primas de mala calidad. 	18-19,5
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> -Poder calorífico elevado. -Precio medio. -Alta variedad y disposición. -Requerimiento de operación y mantenimiento medio. 	<ul style="list-style-type: none"> -Producción agroindustrial es estacional, y por lo tanto sus residuos también. -Mayor espacio almacenamiento. - Posibles problemas de emisiones o corrosión de calderas, no son productos homologables. 	<i>Huesos aceitunas</i> 18 <i>Cáscaras frutos secos</i> 16,7
Leña	<ul style="list-style-type: none"> -Usuales a nivel rural. Suelen funcionar de forma automática. - Precio bajo. - Gran poder calorífico, sobre todo la leña dura. 	<ul style="list-style-type: none"> -La alimentación a la caldera, se debe hacer de forma manual. - Genera gran cantidad de cenizas, mayor mantenimiento y limpieza. -Gran espacio de almacenamiento. 	14,4-16,2

El precio del combustible es un aspecto clave a la hora de elegir un sistema u otro. Si miramos los datos del 2017, la biomasa es una opción muy competitiva y con precios muchos más estables que el gas o el gasóleo.

Como se puede apreciar, algunos combustibles sufren altibajos y en los puntos más bajos, el coste es mayor incluso que el del pellet, astilla o hueso de aceituna. Es cierto que la inversión inicial en una instalación de biomasa es más costosa que la de sistemas de potencia similar basados en gas o gasóleo, pero si tenemos en cuenta el ahorro en combustible los plazos de amortización serán mucho más reducidos.

Según datos de la Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (AVEBIOM) se espera un alza en los precios de los pellets cuando los stocks empiecen a menguar pero en ningún caso, se prevé que esta subida sea alarmante. Los precios del pellet en España son los más bajos que en los países de su entorno e incluso

durante dos años se han mantenido anormalmente bajos y estables. En el caso del hueso de aceituna y de la astilla de madera, se prevé que los precios se mantengan.

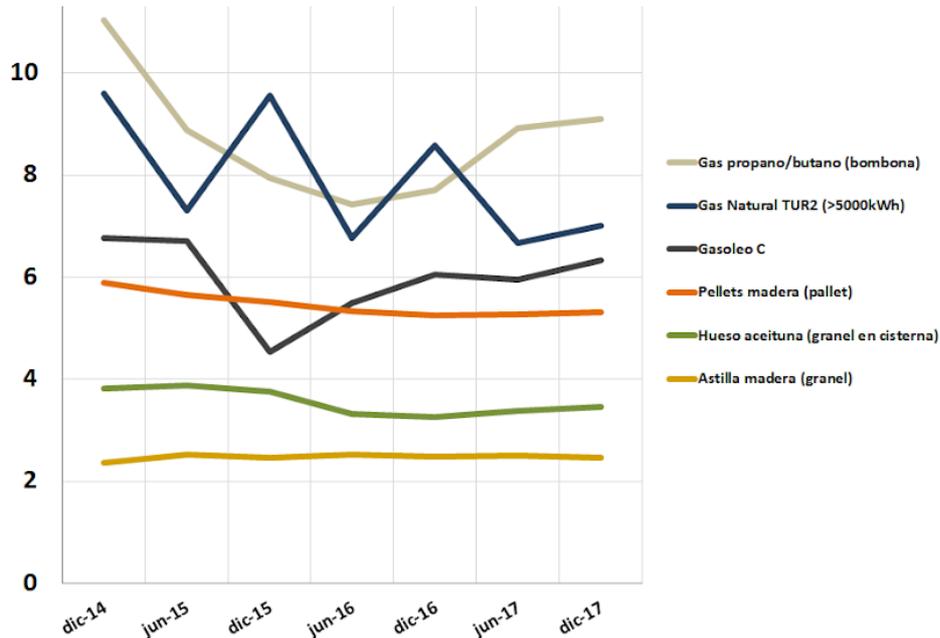


Figura 33: Evolución del precio de la energía (cent €/kWh) [13]

3.1.1.1 Pretratamiento de la biomasa

- Pellets:** La fabricación de pellets se realiza mediante un proceso denominado peletizado que consiste en la compactación de la biomasa de madera natural mediante la aplicación de una gran presión (por encima de 100 bar) con unos rodillos sobre una matriz perforada, a través de la cual se hace pasar el material. Los pellets no necesitan ningún tratamiento posterior. Una vez fabricados, se transportan e introducen en el almacenamiento previo a la caldera.



Figura 34: Proceso de peletización. [10]

- Astillas:** El proceso de astillado puede realizarse en el lugar de producción mediante maquinaria móvil, o bien ser transportados a la planta industrial donde se astillan con máquinas fijas. En cualquier caso, su proceso de adecuación suele implicar el secado natural de la madera, que permite reducir la humedad y aumentar el poder calorífico del residuo.

Normalmente se somete a la materia prima a un petriturado, donde se reduce el tamaño y luego se realiza un post-triturado donde se reduce hasta un tamaño 30-50 mm. Si ha permanecido al aire libre, la humedad puede reducirse al 20 o 30%, estas condiciones son adecuadas para el almacenamiento en destino y posterior consumo de las astillas de madera. Las astillas que contienen mayor humedad deben consumirse tan pronto como se pueda, evitando almacenarlas durante largos periodos de tiempo porque pueden presentar problemas de pudrición y proliferación de hongos.

- *Residuos agroindustriales*: proceden fundamentalmente de las industrias de la aceituna, uva y frutos secos. Como las propiedades de este tipo de residuos son muy variables se recomienda que se especifique el poder calorífico, grado de humedad y una analítica para evitar residuos incorporados como pueden ser pellejos.
- *Leña y briquetas*: la leña se debe dejar secar durante varias semanas o incluso meses hasta que pueda ser utilizada. Las briquetas por su parte, son cilindros compactos de mayor tamaño, obtenidos a partir de la misma materia prima que el pellet y son tratados con un proceso similar a estos. Son similares en su uso a la leña, ya que se introducen directamente en las calderas preparadas para este fin.



Figura 35: Briquetas. [17]

3.2 Tipos de calderas de biomasa

Las calderas de biomasa pueden clasificarse atendiendo al tipo de combustible que admiten y a la clase de tecnología que utilizan. Según el tipo de combustible, se pueden dividir en:

1. *Calderas específicas de pellets*, suelen ser pequeñas y altamente eficientes. Destaca su compacidad debido a la estabilidad del combustible empleado. La razón de ser de estas calderas tiene sentido por su bajo coste, pequeño tamaño y un elevado rendimiento. En algunos casos pueden utilizar otros biocombustibles con características similares siempre que el fabricante lo garantice.
2. *Calderas de biomasa*, su potencia varía desde 25 kW a cientos de kW. No admiten varios combustibles simultáneamente, aunque se puede cambiar el combustible si se programa con suficiente antelación el vaciado del silo, la nueva recarga y la reprogramación de la caldera. Precisan de modificaciones en tornillo de alimentación y parrilla.
3. *Calderas mixtas o multicomcombustibles*, admiten varios tipos distintos de combustibles, cambiando de uno a otros de manera rápida y eficiente, como por ejemplo pellets y astillas. Suelen fabricarse para potencias medias o grandes.

De acuerdo a las tecnologías principales que se comercializan, las calderas se pueden dividir en:

3.2.1 Equipos compactos

Las calderas compactas de biomasa se han diseñado específicamente para su uso en calefacción doméstica, en viviendas unifamiliares o edificaciones. Incluyen sistemas de encendido y limpieza automáticos, que facilitan el manejo al usuario. Normalmente estos equipos son de potencia baja a media y suelen admitir un combustible

estandarizado, que suele ser pellet.



Figura 36: Caldera compacta. [13]

3.2.2 Calderas en parrilla fija y alimentación inferior

Las parrillas de las calderas de biomasa pueden ser fijas, móviles o mixtas. En el caso de ser fijas, suelen estar dispuestas en forma inclinada y ser vibratorias, a fin de facilitar la distribución del combustible y favorecer la evacuación de cenizas al recipiente de recogida de cenizas.

Estas calderas disponen de un sistema de alimentación en la zona inferior, y presentan buen rendimiento con biomasa de alta calidad, es decir, poco húmedas y con bajo contenido de cenizas, como pueden ser las astillas secas, los pellets y algunos residuos agroindustriales.

3.2.3 Calderas con parrilla móvil

Este diseño se utiliza generalmente en calderas con una potencia superior a 500 kW, que normalmente utilizan como combustible astillas, residuos agrícolas e, incluso, mezclas de composiciones variables.

A pesar de que son más caras, permiten utilizar biomasa de calidad inferior y composición variable, con mayor contenido en humedad y cenizas. Se recomienda también, en procesos donde se requiere una alta disponibilidad de la planta, por lo que suelen ser utilizadas en usos industriales.

La parrilla móvil está constituida principalmente por un conjunto de parrillas de fundición, estas se disponen en fila y se mueven de forma alterna mediante la actuación de un grupo hidráulico. Este movimiento permite al combustible desplazarse y repartirse de forma homogénea a lo largo de toda la superficie para una óptima combustión.



Figura 37: Caldera con parrilla móvil. [13]

3.2.4 Calderas de gasóleo con un quemador de pellets

Cabe la posibilidad de adaptar una caldera de gasóleo existente a biomasa, mediante la incorporación de un quemador de pellets. Este cambio, que permite variar de forma aparentemente sencilla el combustible, pero puede presentar algunos inconvenientes en el sistema de limpieza y eficiencia de la caldera, que deben acondicionarse antes de realizar el cambio.

Se debe tener en cuenta que se trabaja con sólido, por lo que el encendido no es instantáneo por lo que si la instalación es mixta, también se deberá instalar un depósito de ACS.

3.2.5 Calderas de combustión en cascada

Las calderas con sistema de combustión en cascada disponen de varias etapas sucesivas para la combustión de la biomasa, y tienen una parrilla de configuración similar a una escalera, que favorece la eficiencia y la reducción de los inquemados.

Este sistema se utiliza en calderas de tamaño medio, con combustibles de calidad media y alta, como pueden ser los residuos de almazara o los pellets. Deben de utilizarse este tipo cuando la demanda térmica sea muy variable. Existen muchos escenarios en donde durante un periodo de tiempo corto, se eleva la demanda de energía por encima de la media. Estas son situaciones típicas en hoteles, comunidades de vecinos... etc., en los que en horas punta hace falta mucha capacidad y sin embargo, durante el resto del día hay una demanda más baja y constante.

También va a existir variaciones de demanda térmicas muy grandes entre verano e invierno: en estos casos es habitual instalar calderas de diferente capacidad: una de menor potencia para las épocas de baja demanda térmica, la de mayor potencia para épocas de demanda térmica media, y utilizar ambas bajo una instalación en cascada, para las de máxima demanda.

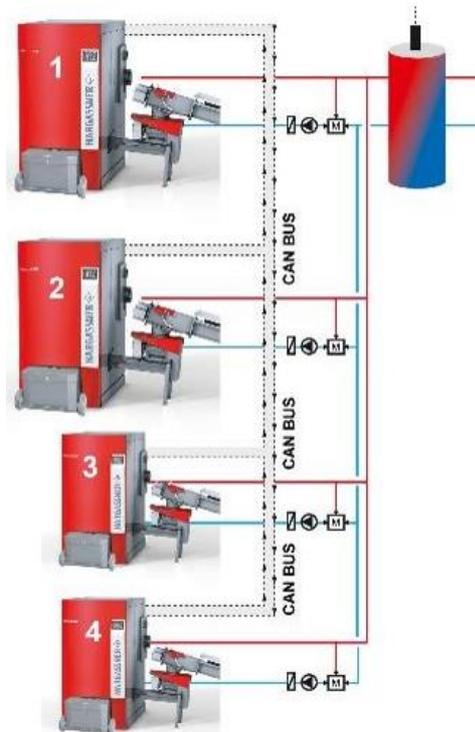


Figura 38: Caldera de combustión en cascada. [14]

3.3.4 Chimenea

Los humos que han sido generados por la combustión y que han pasado por el intercambiador. Evidentemente se han ido enfriando ya que han cedido parte de su calor al fluido calo portador. Una vez su temperatura es considerablemente fría, pasan a un sistema de evacuación que denominamos chimenea.

Por chimeneas entendemos el conjunto formado por los conductos de humos, que son aquellos por cuyo interior circulan los productos de la combustión.

La fuerza que hace posible la evacuación del caudal de humos, venciendo la resistencia que ofrece el conducto, es el tiro, que es la fuerza ascensional causada por la diferencia de densidades debida a la diferencia de temperatura de los humos entre la base de la chimenea y la boca de la misma. El tiro en chimenea es directamente proporcional a esta diferencia de temperaturas y a la altura de la chimenea, por tanto cuanto más calientes estén los humos y más altura tenga la chimenea, mayor tiro existirá.

La única diferencia de una chimenea donde se emplee biomasa con una de combustible líquido o gaseoso es el diámetro necesario. En el caso de biomasa hay que prever un volumen de gases ligeramente superior, debido a que la humedad que contiene la biomasa se evapora en la caldera y da lugar a vapor de agua que sale mezclando con los productos de combustión, aumentando así el volumen de los gases.

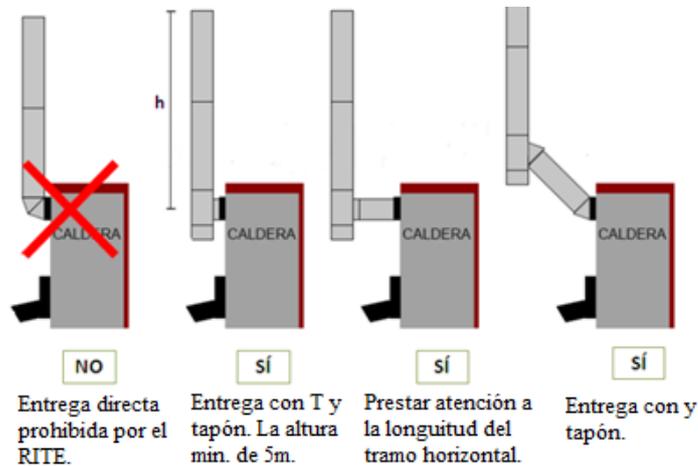


Figura 40: Consejos básicos sobre chimeneas. [9]

Como las temperaturas dentro de la caldera pueden ser muy elevadas, toda la caldera tiene un sistema de seguridad de antiincendios. De modo que si la temperatura alcanza un límite establecido pues el sistema de seguridad se activa para reducir automáticamente la combustión.

3.3.5 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación de una caldera consistiría en un receptáculo donde se va depositando la biomasa y a medida que la temperatura de la cámara de combustión disminuye, hay un sistema que va girando de manera que repone la materia que se debe combustionar. El registro de la temperatura que hay dentro de la cámara se realiza a través de una sonda térmica.

En el sistema de alimentación se pueden distinguir distintas partes:

1. *Sistema de extracción de combustible del almacén o silo*, suele utilizarse un tornillo sinfín, que consiste en un sistema mecánico que conduce el combustible a lo largo de su longitud hasta el depósito que alimenta directamente a la caldera. Este sistema permite que no exista una comunicación directa entre el sistema de alimentación y la cámara de combustión.

2. *Sistema de seguridad antincendios*, evita que en caso que hubiera un incendio a través del tornillo sinfín, este sistema evitaría que el incendio se propagase hasta el silo.
3. *Sistema de introducción de combustible en la caldera*.

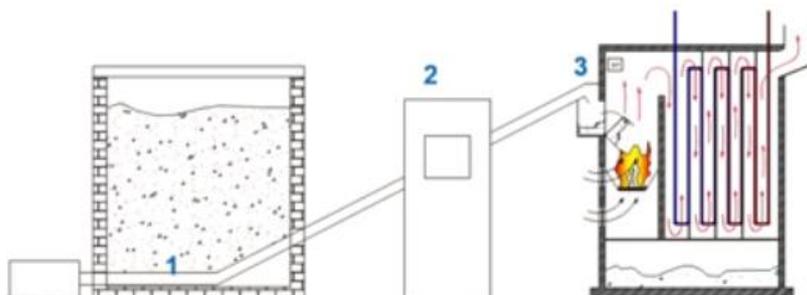


Figura 41: Sistema de alimentación de una caldera de biomasa. [17]

La alimentación se puede realizar de manera superior, horizontal o inferior.

- *Alimentación superior*, en este sistema los pellets caen al lecho de la combustión mediante un conducto. Se consigue de este modo separar las zonas de almacenamiento de las de combustión. Sin embargo, la caída del combustible sobre el lecho de la combustión genera una combustión inestable y ocasiona una mayor liberación de polvo e inquemados que en otro tipo de alimentación.



Figura 42: Alimentación superior. [9]

- *Alimentación inferior*, las calderas que disponen de este sistema de alimentación presentan un buen rendimiento con biomasa de alta calidad. La combustión es lenta, estable y controlada, ya que la velocidad de entrada del aire primario es pequeña. El tornillo sinfín transporta la biomasa a través del conducto hasta el quemador y la empuja al plato de combustión.
- *Alimentación horizontal*, son muy similares a los sistemas de alimentación inferior, con la única variación del lecho de combustión.



Figura 43: Alimentación horizontal. [9]

3.4 Almacenamiento de biomasa

En edificaciones nuevas, cuando el silo es cargado varias veces por temporada, deberá suplir un mínimo las necesidades de calefacción y ACS de dos semanas a plena carga. Para ello se calculará la autonomía y se avisará con antelación al suministrador. Cuando el silo es suficiente para toda la temporada se recomienda que la compra del combustible se realice en verano debido generalmente a su mayor precio y a las condiciones de humedad.

En calderas que no disponga de un silo de almacenamiento, la previsión del suministro se realizará mediante pequeñas bolsas de biomasa, pero garantizando un suministro para dos semanas a plena carga.

Independientemente del tipo de caldera que posea, hay que revisar al menos una vez por semana el nivel del silo. Existen distintas opciones a la hora de seleccionar el modo de almacenar el material. Emplear una forma u otra dependerá, principalmente del consumo de combustible de la instalación y del espacio disponible. Mediante estos dos aspectos, se podrá conocer el tipo de depósito o silo, y por lo tanto su tamaño y capacidad.

Se pueden distinguir principalmente dos tipos de silos:

3.4.1 Silos prefabricados

Estos silos presentan una ventaja, ya que su montaje es rápido y sencillo. En el mercado hay una gran variedad, pudiéndose distinguir:

- *Silos de carga manual*, la carga del combustible como su nombre indica se realiza manualmente por parte del usuario. Aunque puede parecer un inconveniente, ofrece la ventaja que ocupa un espacio muy reducido en la sala de calderas. Este tipo es recomendado en instalaciones con bajo consumo o donde el espacio disponible sea reducido.
- *Silos textiles*, aportan una gran capacidad con un rápido y sencillo montaje. La carga se realiza de forma neumática y existe una gran variedad de modelos con un gran rango de capacidad.



Figura 44: Silo textil. [15]

- *Silos enterrados*, acarrea un mayor proceso para su instalación, pero la solución es muy cómoda ya que libera completamente la sala de calderas, se puede enterrar fuera de la vivienda y también bajo ella. Esta es una buena opción cuando la vivienda cuenta con un jardín, ya que se puede enterrar bajo este y puede llegar a tener una capacidad de 10 toneladas.

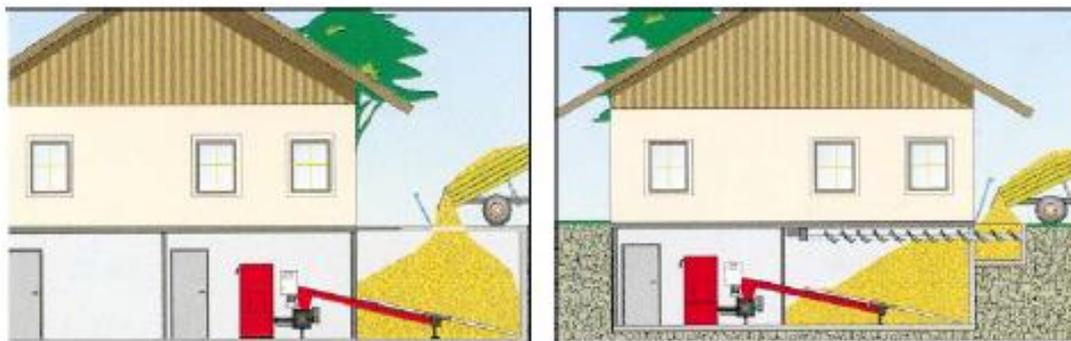


Figura 45: Silo enterrado fuera del edificio y bajo el edificio. [15]

3.4.2 Silos de obra

Supone una alternativa a los silos prefabricados, ya que permite acondicionar huecos o emplazamientos disponibles para dedicarlos al almacenamiento de combustible. El principal y único requerimiento es que el silo esté perfectamente aislado del agua evitando filtraciones que puedan alcanzar al combustible.

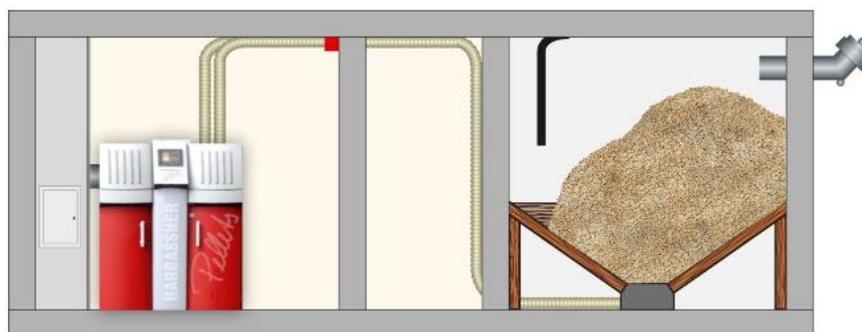


Figura 46: Silo de obra. [15]

La decisión entre los distintos tipos de silos, quedará definida por las características de la instalación. Otra decisión importante es decidir el lugar donde se va a ubicar el silo. Si el silo es interior, lo más importante es la impermeabilización para evitar las filtraciones. Si se quiere ubicar en el exterior, es decir, a la intemperie se debe tener en cuenta otra serie de factores como pueden ser: la carga del viento, la protección UV, etc.

A su vez, los almacenamientos de obra se pueden clasificar en:

- *Suelo inclinado de dos lados*: en ellos se colocan dos falsos suelos inclinados para que el combustible almacenado se deslice por gravedad hasta el tornillo sinfín que transporta el combustible.
- *Suelo inclinado de un lado*: adecuado para silos cuadrados. Si el ángulo de inclinación es pequeño, puede ser necesaria la incorporación de rascadores para suministrar combustible de manera continua al sistema de alimentación.
- *Suelo horizontal*: adecuado cuando hay poco espacio disponible. Hace necesaria la inclusión de rascadores giratorios u horizontales.

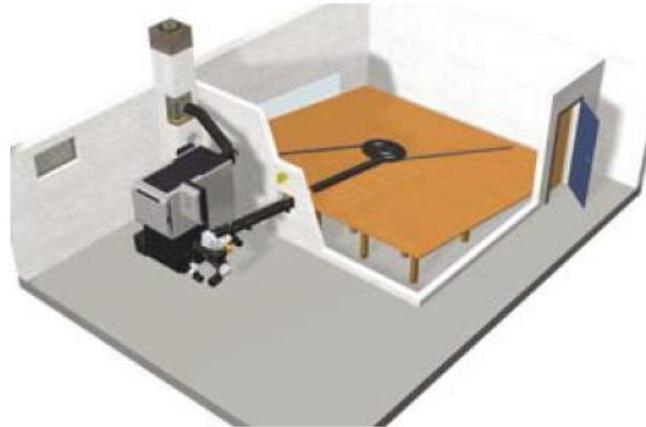


Figura 47: Suelo inclinado de un lado y tornillo sin fin recto. [15]

Para dimensionar el silo deberemos seguir el procedimiento siguiente:

$$V_{CD} = \frac{C_d}{\rho}$$

$$V_{CA} = V_{CD} * \text{Autonomía (días)}$$

Se estima que el combustible ocupa 2/3 del silo debido a los huecos:

$$V_s = \frac{V_{CA}}{\frac{2}{3}}$$

$$A = \frac{V_s}{h}$$

Dónde:

V_{CD}	Volumen de combustible diario ($m^3/\text{día}$)
C_d	Consumo diario de combustible ($m^3/\text{día}$)
ρ	Densidad aparente del combustible (kg/m^3)
V_{CA}	Volumen de combustible anual ($m^3/\text{año}$)
V_s	Volumen del silo (m^3)
A	Área del silo

3.5 Mantenimiento

Una condición previa para optimizar la operación y el mantenimiento de la instalación es la elección correcta de la potencia de la caldera. Un correcto dimensionado da las condiciones óptimas de operación y reduce las exigencias de gestión de las cenizas, limpieza de la caldera y el número de averías debidas a demandas de potencias demasiado bajas. La siguiente tabla muestra algunas de las tareas de mantenimiento preventivo para biomasa incluidas en el RITE.

Estas operaciones de mantenimiento las debe de realizar una empresa de mantenimiento cualificada. Pero el usuario también debe de encargarse en parte del mantenimiento realizando una serie de operaciones como pueden ser la limpieza y comprobación del equipo de la caldera, asegurándose que no existen fisuras, corrosiones o rezumes por las juntas; y que los accesorios de control, medición y dispositivos de seguridad estén en buenas condiciones.

Tabla 5: Extracto de operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad (RITE)

Operación	Periodicidad	
	≤ 70 kW	> 70 kW
Revisión de los datos de timbrado de la caldera	t	t
Verificación de la válvula de seguridad	t	t
Comprobación de presión de agua en circuitos de tuberías y en el hogar	t	m
Revisión y limpieza de aparatos de recuperación de calor	t	t
Revisión y limpieza de unidades de impulsión y retorno del aire	t	t
Revisión del sistema de control automático de encendido y apagado	t	2t
Comprobación de reglaje y actuación del termostato de trabajo	t	t
Comprobación de reglaje y actuación de la seguridad por temperatura	t	m
Verificación del sistema de ignición del biocombustible	t	t
Verificación del extractor de gases de la combustión	t	t
Limpieza de la cúpula de postcombustión	t	m
Control de piezas de desgaste o por indicaciones del fabricante	t	m

m: una vez al mes, la primera al inicio de la temporada.

t: una vez por temporada (año). 2t: dos veces por temporada (año), la primera al inicio de la temporada.

Además del programa de mantenimiento preventivo, el RITE establece un programa de gestión energética donde la empresa realizará un análisis y evaluación periódica del rendimiento de los equipos generadores de calor en función de su potencia térmica nominal instalada.

Tabla 6: Programa de gestión energética (RITE)

Medidas de generadores de calor	Periodicidad		
	P ≤ 70 kW	70 < P ≤ 1000 kW	P > 1000 kW
Temperatura o presión del fluido portador en entrada y salida del generador de calor.	2a	3m	m
Temperatura ambiente local o sala de máquinas.	2a	3m	m
Temperatura de los gases de combustión.	2a	3m	m
Contenido de CO y CO ₂ en los productos de combustión.	2a	3m	m
Índice de opacidad de los humos combustibles sólidos o líquidos y de contenido de partículas sólidas en combustibles sólido.	2a	3m	m
Tiro en la caja de humos de la caldera.	2a	3m	m

m: una vez al mes, la primera al inicio de la temporada. 3m: cada tres meses, la primera al inicio de la temporada.

2a: cada dos años.

Además de las operaciones de mantenimiento (tanto preventivas como de gestión energética) que son las explicadas anteriormente, las calderas de biomasa están sujetas a inspecciones periódicas de eficiencia energética.

3.6 Manipulación de las cenizas

A diferencia del gas natural y gasóleo, la combustión de la biomasa genera cenizas. Por ello es necesario un dispositivo de extracción de las mismas. Las cenizas de madera no son peligrosas y frecuentemente se utilizan como fertilizantes. En el caso de los residuos agroindustriales la variedad de orígenes y tipos de residuos hace imposible dar unos valores medios para los componentes de sus cenizas. En la mayoría de los casos estas podrán ser utilizadas también como fertilizantes o tiradas a la basura junto con el resto de residuos orgánicos. Pero en cualquier caso, debe cumplirse la normativa local al respecto.

Uno de los aspectos a tener en cuenta es la temperatura de fusión de las cenizas. Si el horno donde se produce la combustión alcanza temperaturas elevadas y el biocombustible disponible produce unas cenizas con temperatura de fusión reducida, éstas pueden llegar a fundirse. Si esto ocurre, el flujo de aire primario puede quedar limitado y la calidad de la combustión y la extracción de cenizas puede sufrir bloqueos o poca efectividad.

Dependiendo del tipo y origen de la biomasa es frecuente que tenga ciertas cantidades de elementos minerales, típicamente arena o tierra. Estos en el quemador se funden y vitrifican, quedando pegados. Para evitar la solidificación de cenizas se debe ser cuidadoso en todo el proceso de recolección de biomasa para mantenerla limpia. También se recomienda elegir quemadores que eviten o minimicen este problema con su diseño y sistema de limpieza.

Las calderas de biomasa poseen diferentes sistemas de evacuación de cenizas en función del diseño de la caldera. El mecanismo más común para la retirada de cenizas consiste en dos tornillos sin fin que transportan la ceniza de manera automática de la cámara de combustión al contenedor de cenizas. Allí se comprimen y hace que el manejo sea aún más confortable. Estos sistemas pueden tener problemas debido al bloqueo de objetos extraños o bloques cristalizados que pueden obstruir el tornillo sin fin. También pueden ser debidos a problemas mecánicos en moto reductores.

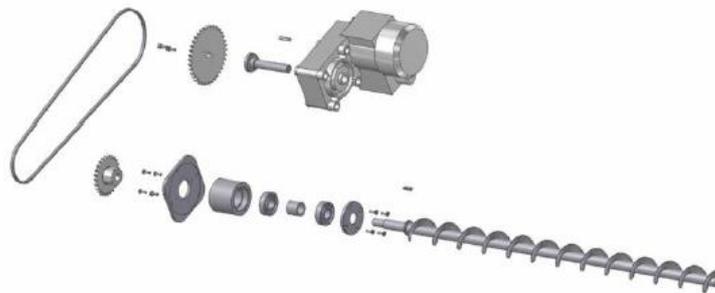


Figura 48: Sistema de eliminación de cenizas. [16]

En las calderas más modernas existe un control electrónico del llenado del cajón de cenizas, que puede llegar a desactivar la caldera en el caso de que no se produzca la retirada de las cenizas. Algunos de estos contenedores están equipados con ruedas y un asa extensible para facilitar su transporte. En los sistemas pequeños, la extracción de cenizas es manual.

En aquellas calderas que, debido a su tamaño o al biocombustible utilizado, se genera gran cantidad de cenizas, existe la posibilidad de conducir las cenizas a un contenedor de mayor capacidad y prolongar así los intervalos de vaciado. Este sistema también puede ser útil para instalaciones con una baja producción de cenizas donde se desee ampliar los intervalos de recogida de las mismas.

3.7 Sistemas de seguridad

En general, los sistemas de seguridad están preparados para que puedan actuar incluso en situaciones de falta de suministro. Las calderas de biomasa por su naturaleza, deben disponer de algún sistema de seguridad específico para ellas, recogido en la siguiente tabla:

Tabla 7: Dispositivos de seguridad de la caldera. (RITE)

Elemento	Función
Interruptor de flujo	Detener la circulación del fluido en el interior de la caldera.
Dispositivo de interrupción de funcionamiento del sistema de combustión	Interrumpir la combustión en el caso de alcanzarse temperaturas superiores a las de diseño ha de existir retroceso de los productos de la combustión o de llama.
Dispositivo contra el retroceso de llama	Evitar el retroceso de la llama de la caldera hacia el silo de almacenamiento de la biomasa.
Sistema de eliminación del calor residual	Eliminar el calor adicional producido por la biomasa ya introducida en la caldera cuando se interrumpe la combustión.
Válvula de seguridad	Desviar el agua a sumidero en el caso de sobrepasarse en más de 1 bar la presión de trabajo del agua.

- **El interruptor de flujo**, salvo que el fabricante especifique que no requieren circulación mínima, las calderas estarán equipadas con un interruptor de flujo con el objeto de poder detener la circulación del fluido en su interior.
- **Dispositivo de interrupción de funcionamiento del sistema de combustión**, este sistema que será de rearme manual, actuará en dos situaciones críticas:
 - En caso de alcanzarse temperaturas superiores a las de diseño.
 - En caso de existir retroceso de los productos de combustión o de llama.
- **Dispositivos contra el retroceso de llama** de la caldera hacia el silo de almacenamiento de la biomasa, existen varios sistemas entre los que se deben destacar:
 - Compuerta de cierre estanca contra el retroceso de la combustión, que interrumpe la entrada de combustible a la caldera.
 - Rociador de extinción de emergencia, que tenga la capacidad para inundar el tubo de transporte del combustible en el caso de que se produzca el retroceso de llama. Se recomienda que este sistema aporte un caudal mínimo de agua de 15l/h. Este sistema solo es instalado en calderas con grandes potencias.
 - Sistemas que garanticen la depresión en la zona de combustión.
- **Sistemas de eliminación del calor residual**, las instalaciones de biomasa tienen mayor inercia que las de gas o gasóleo a seguir generando calor cuando tenga lugar un corte eléctrico. Esto se debe a que la biomasa introducida en la caldera continuará quemándose y por lo tanto, se sigue produciendo calor con una inercia considerable, difícilmente controlable a corto plazo. Por consiguiente, las calderas de biomasa pueden encontrarse en condiciones especialmente críticas; estas condiciones son básicamente dos:

- Interrupción del suministro eléctrico.
- Avería de la bomba de circulación de la caldera.

En esas circunstancias, se produce un bloqueo casi total de la circulación del agua en la caldera y se interrumpe la aportación del calor producido por la combustión de la biomasa. Por consiguiente, la temperatura del agua puede subir hasta alcanzar y superar los 100° C. Con temperaturas más altas a la de ebullición, la producción de vapor provoca un fuerte aumento de la presión del sistema. A falta de dispositivos de seguridad adecuados se puede llegar rápidamente a una situación de peligro.

El sistema de eliminación del calor residual debe garantizar la liberación de este calor adicional producido en la caldera cuando se interrumpe el funcionamiento del sistema de combustión. Para la evacuación del calor residual, en una caldera cargada de combustible, la solución es instalar un sistema de acumulación en el tubo de equilibrio del colector (agua o material de cambio de fase).

Hay varias alternativas para la eliminación de este calor:

- Un recipiente de expansión abierto que pueda liberar el vapor si la temperatura del agua alcanza los 100°C dentro de la caldera.
- Un intercambiador de calor de seguridad en la caldera, refrigerado por una corriente de agua cuando la temperatura en el interior de la caldera aumente demasiado.
- Un depósito de acumulación o de inercia, siempre y cuando la circulación natural tenga capacidad de enfriar la caldera.

Las bombas que impulsan el agua de calefacción por el orificio no deben estar controladas mediante sistemas electrónicos incluidos en la caldera, de modo que puedan seguir funcionando hasta que se haya eliminado el calor residual en el caso de un corte eléctrico en la caldera.

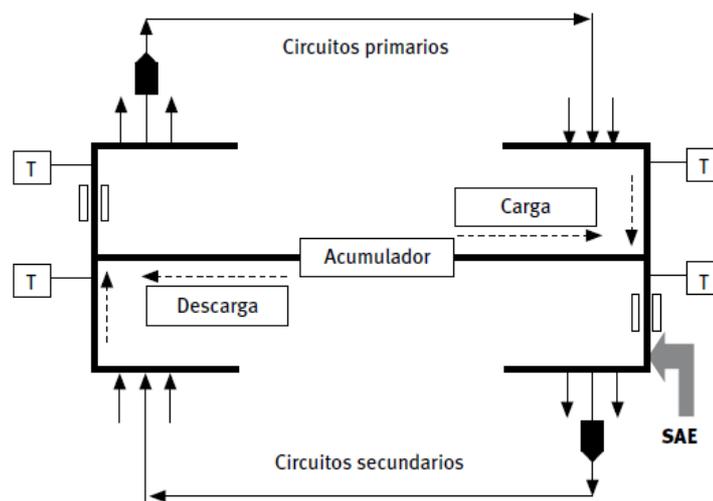


Figura 49: Sistema de acumulación en el tubo de equilibrio del colector. [10]

- **Válvulas de seguridad**, estará tarada a 1 bar por encima de la presión de trabajo del generador y en su zona de descarga deberá estar conducida hasta sumidero.



Figura 50: Válvula de seguridad.

Además de disponer de los dispositivos específicos mencionados en el RITE, las salas de calderas de biomasa deben cumplir también las prescripciones generales de seguridad establecidas en la sección S-1 del Documento Básico de Seguridad.

Como requisito básico, mencionar que las salas de calderas no podrán ser utilizadas para otros fines, ni podrán realizarse en ellas trabajos ajenos a los propios de la instalación. El acceso normal a la sala de máquinas no debe hacerse a través de una abertura en el suelo o techo. Las dimensiones de la puerta de acceso serán las suficientes para permitir el movimiento sin riesgo. Además las puertas deben estar provistas de cerradura con fácil apertura desde el interior, aunque hayan sido cerradas con llave desde el exterior.

3.8 Emisiones

Los productos de la combustión deberán cumplir con los requerimientos medioambientales de las autoridades nacionales, regionales o locales, que limitan los valores máximos de las emisiones de contaminantes.

La norma UNE-EN-303-5. *Calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencial útil nominal hasta 300 kW*. Establece la siguiente clasificación:

Tabla 8: Límites de emisiones para calderas (UNE-EN-303-5)

Potencia nominal (kWt)	CO (mg/m ³ en 10% O ₂)			Límite de emisiones COV (mg/m ³ en 10% O ₂)			Partículas (mg/m ³ en 10% O ₂)		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 1	Clase 2	Clase 3
<50	15.000	5.000	3.000	1.750	200	100	200	180	150
50-150	12.500	4.500	2.500	1.250	150	80	200	180	150
150-300	12.500	2.000	1.200	1.250	150	80	200	180	150

En función de la eficiencia, las calderas se clasifican en tres clases:

Clase 1: 53-62% de eficiencia.

Clase 2: 63-72% de eficiencia.

Clase 3: 73-82% de eficiencia.

El RITE establece que las calderas de biomasa deben tener una eficiencia $\geq 75\%$. Es por esto por lo que el uso de las calderas de clase 1 y 2 en España no está permitido para uso en edificios.

4 CASO PRÁCTICO

Si el sistema va a instalarse en un edificio de nueva construcción la potencia térmica y la demanda de calefacción se debe calcular desde el principio, considerando todos los datos comentados anteriormente.

La siguiente tabla se ha confeccionado basándonos en la norma UNE-EN 12831, esta tabla ofrece valores típicos de potencia térmica necesaria para el suministro de calefacción y agua caliente sanitaria a diversos edificios. Es un cálculo simplificado de la carga total del edificio.

Tabla 9: Potencia necesaria aproximada para distintos edificios típicos con aislamiento medio-alto. [UNE-EN-12831]

Tipo de vivienda		Plantas	Superficie (m ²)		Temperatura exterior de diseño							
					T _{EXT} = -10°C		T _{EXT} = 0°C		T _{EXT} = 10°C			
					Potencia térmica aproximada (kW)							
					Por planta		Por vivienda		Total		Por vivienda	
					Total	Por vivienda	Total	Por vivienda	Total	Por vivienda	Total	Por vivienda
Unifamiliar	Aislada	2	75	150	14,7	17,17	13,0	13,0	8,3	8,3		
	1 medianera				17,1	17,1	12,6	12,6	8,1	8,1		
	2 medianeras				16,6	16,6	12,3	12,3	7,9	7,9		
	3 medianeras				15,8	15,8	11,8	11,8	7,7	7,7		
Bloque de viviendas	Aislado	5	700	135	261	10,0	200	10,0	143	10,0		
		11	700	135	547	9,7	425	9,7	305	9,7		
	2 medianeras	5	700	135	236	9,3	185	9,3	135	9,3		
		11	700	135	491	8,9	390	8,9	287	8,9		

En el caso hemos considerado que el aislamiento es medio-alto de la vivienda, pero si el aislamiento fuera bajo o muy alto hay unos factores de corrección para obtener la potencia necesaria en estos casos. Hemos considerado también que la vivienda se ubica en una zona donde la temperatura exterior pueda llegar a alcanzar -10°C y que se encuentra aislada.

Tabla 10: Factor de corrección según el grado de aislamiento [IDAE]

Grado de aislamiento	Factor de corrección	Potencia térmica aproximada (kW)
Bajo	1,50	$P_{\text{MEDIO-ALTO}} * 1,50$
Muy alto	0,75	$P_{\text{MEDIO-ALTO}} * 0,75$

Para nuestro caso práctico vamos considerar las siguientes condiciones de partida:

- Vivienda tiene una superficie de 300 m².
- Potencia de instalación será de 30 kW.
- Horas de funcionamiento serán 1.500 h/año.

Nuestro objetivo con este caso práctico es realizar una comparativa económica entre distintas calderas en las cuales se van a utilizar diferentes combustibles. Se han seleccionado estos combustibles ya que son los que más se emplean en el sector doméstico, serán tanto combustibles tradicionales como combustibles procedentes de biomasa.

Para obtener el coste total se van a sumar los costes fijos, es decir, el precio tanto de la caldera como de la instalación que se debe realizar al comienzo y después se sumarán los costes variables a lo largo de toda la vida útil de la caldera. Hemos estimado que la vida útil de una caldera será de unos 15 años, aunque algunos expertos dicen que pueden llegar a durar más tiempo.

$$Coste_{TOTAL} = Costes_{fijos} + \sum_{i=0}^{15} Costes_{variables}$$

4.1 Costes Variables

Los costes variables en este caso serán la suma del coste del combustible utilizado, la energía eléctrica necesaria y los costes mantenimiento.

Los combustibles tienen propiedades muy diferentes por lo que el consumo de cada uno de ellos no va a ser el mismo. Como se puede apreciar el consumo de biomasa será superior al consumo de los combustibles fósiles esto es debido a que el poder calorífico de los combustibles biomásicos es menor. Usar una mayor cantidad de combustible no implica siempre un mayor coste, ya que como se puede apreciar el precio tanto de los pellets como de las astillas es bastante inferior a los combustibles fósiles.

Como el mercado de calderas de biomasa ofrece una amplia gama de posibilidades, se han estudiado dos casos de biomasa en los que varía tanto el precio de combustible, como el de coste de inversión y mantenimiento.

Se debe tener en cuenta también, la tendencia que se prevé que van a sufrir los precios, en el caso de los combustibles fósiles se prevé un incremento del 8-6% en los años siguientes, en cambio los combustibles biomásicos se prevé que el incremento del precio sea mínimo tendiendo a mantener su precio en los próximos años. El incremento del precio de los combustibles fósiles se puede achacar a que son recursos limitados y las reservas se van acabando poco a poco, esto no ocurre en los combustibles derivados de biomasa que se pueden considerar ilimitados.

Tabla 11: Datos de los distintos combustibles.

		Gasóleo	Gas Natural	Pellets	Astillas
Poder calorífico	kwh/kg	11,63	13,00	5,20	4,40
Precio combustible	€/kg	1,38	0,68	0,26	0,11
	c€/kWh	11,9	5,26	5,39	2,45
Incremento del precio anual	%	8,00	6,00	3,00	1,00
Rendimiento	%	0,80	0,80	0,90	0,85
Consumo combustible	Kg	4.837	4.327	9.615	12.032

Se considera la necesidad de un consumo de energía eléctrica de 40€/año para todas las calderas. El término fijo solo se aplica en la caldera de gas natural ya que es un importe que se tiene que pagar al suministrador del combustible. El coste anual en los combustibles fósiles es notablemente superior, sobre todo cuando el combustible empleado es el gasóleo.

Tabla 12: Costes anuales.

	Gasóleo	Gas Natural	Pellets	Astillas
Energía eléctrica	40	40	40	40
Operación y mantenimiento	225	225	650	950
Coste combustible	6.282	2.959	2.469	1.497
Término fijo	0	102	0	0
TOTAL [€]	6.547	3.326	3.159	2.487

Vamos a considerar casi todos los costes variables constantes a lo largo del tiempo, es decir, vamos a considerar que no aumentarán ni disminuirán con el paso del tiempo. En cambio, el coste del combustible si vamos a considerar que tiene un incremento anual a lo largo del tiempo.

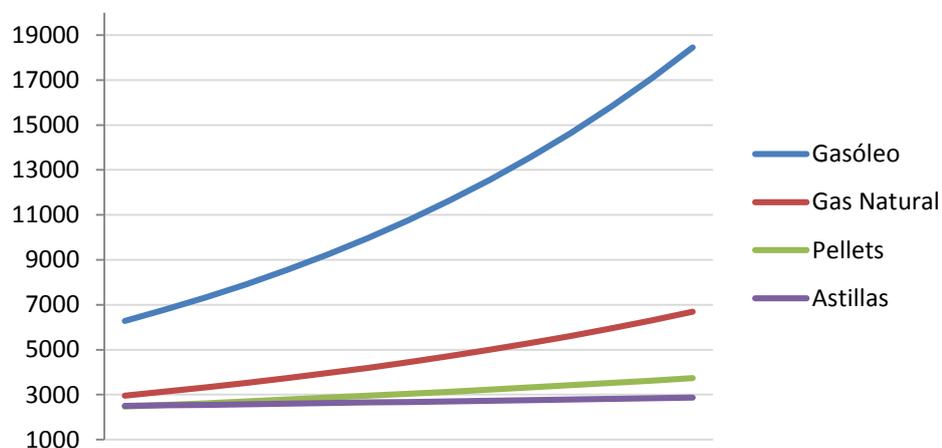


Figura 51: Evolución del coste de los combustibles.

4.2 Costes Fijos

Consideraremos coste fijo al coste necesario en la compra de la caldera y de su instalación. Esta inversión se realizará al comienzo de la puesta en marcha y una sola vez.

Tabla 13: Costes de inversión.

	Gasóleo	Gas Natural	Pellets	Astillas
Caldera	1.695	1.569	4.215	3.640
Instalación	2.619	2.619	4.042	4.245
TOTAL [€]	4.314	4.188	7.257	6.885

Como se puede apreciar los costes fijos son mayores donde el combustible utilizado es la biomasa, ya que tanto el coste de la caldera como el de la instalación es mayor.

Pero no solo hay que tener en cuenta las ventajas económicas, ya que las ventajas medioambientales y funcionales también son importantes. Una ventaja funcional es la desaparición de los paneles solares en cubierta, ya que estos son obligatorios en viviendas nuevas como se ha mencionado anteriormente.

Si la instalación fuera en un grupo de viviendas, también hay que considerar el espacio que se obtiene en la vivienda al prescindir de un acumulador y una caldera individual. Además la mayor ventaja reside en la centralización de la calefacción y ACS, que proporciona un mayor confort y menores costes tanto en el consumo como en el mantenimiento.

	Amistoso con el medio ambiente	Coste combustible	Coste de la inversión	Necesidad de mantenimiento
Pellets				
Astilla				
Gas Natural				
Gasóleo				

Figura 52: Comparativa de las distintas instalaciones

Como se puede observar en la *Figura 53* las instalaciones donde se utiliza biomasa tienen un coste de inversión inicial mayor a las convencionales. Pero la biomasa es mucho más rentable que el gasóleo, debido a que los gastos de combustible son mucho mayores que el resto.

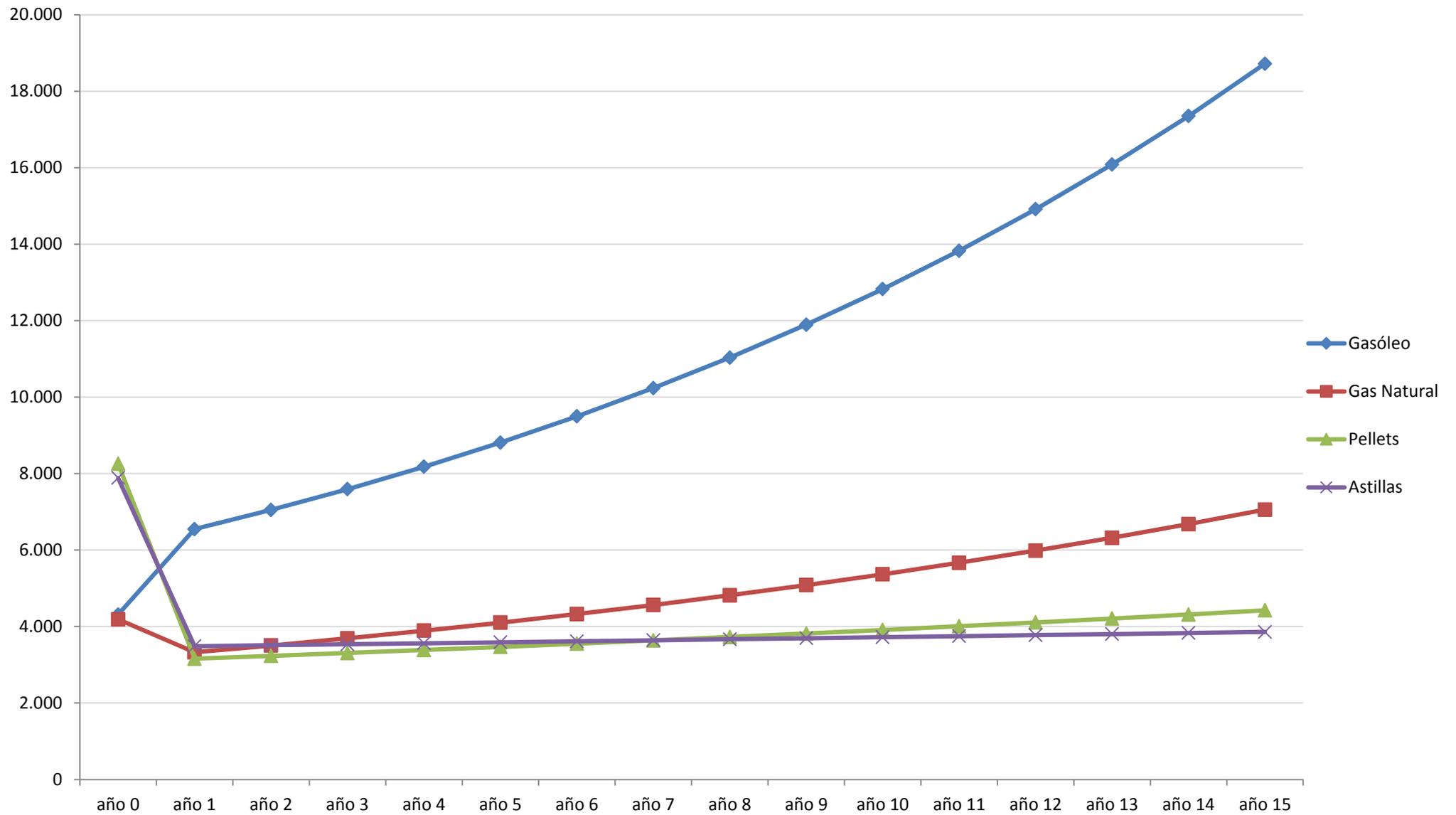


Figura 53: Evolución del coste total de las instalaciones.

La biomasa, se hace competitiva frente al gas natural a partir del 5º año. Sin embargo, como la vida útil de un sistema de calefacción se estima en un mínimo de 15 a 20 años. La decisión habría que tomarla por sus efectos a largo plazo. En ese caso, la biomasa y el gas natural acumulan costes de forma similar hasta el año 4 pero desde ese momento hacia delante el uso de la biomasa permite ahorrar bastante.

La viabilidad económica del uso de la biomasa en edificios es un hecho objetivo. Pero para que la biomasa sea la opción elegida, además de tener un atractivo de tipo económico tiene que proporcionar la misma fiabilidad y seguridad en el servicio que las instalaciones tradicionales.

La ventaja económica principal de la biomasa sobre el gas natural o el gasóleo, radica en el menor coste del combustible y en una mayor estabilidad del precio de éste, al no depender de los precios del petróleo. Esta ventaja tiene que equilibrar y prevalecer frente al mayor coste de inversión inicial que supone instalar un sistema de biomasa frente a uno de gas natural o gasóleo.

En este caso práctico no hemos tenido en cuenta ni las ayudas, ni los permisos necesarios. Cada una de las comunidades autónomas publica una serie de ayudas para las instalaciones de energía renovables, incluyéndose dentro de éstas la climatización de edificios con biomasa. Debido a que una de las prioridades dentro del fomento de la utilización de las energías renovables es la promoción de la biomasa, siendo el punto más fuerte del Plan de Fomento de las Energías Renovables en nuestro país.

Los permisos requeridos para la legalización e instalación de un sistema de calefacción con biomasa son los mismos que para un sistema convencional.

Instalaciones de biomasa(miles)

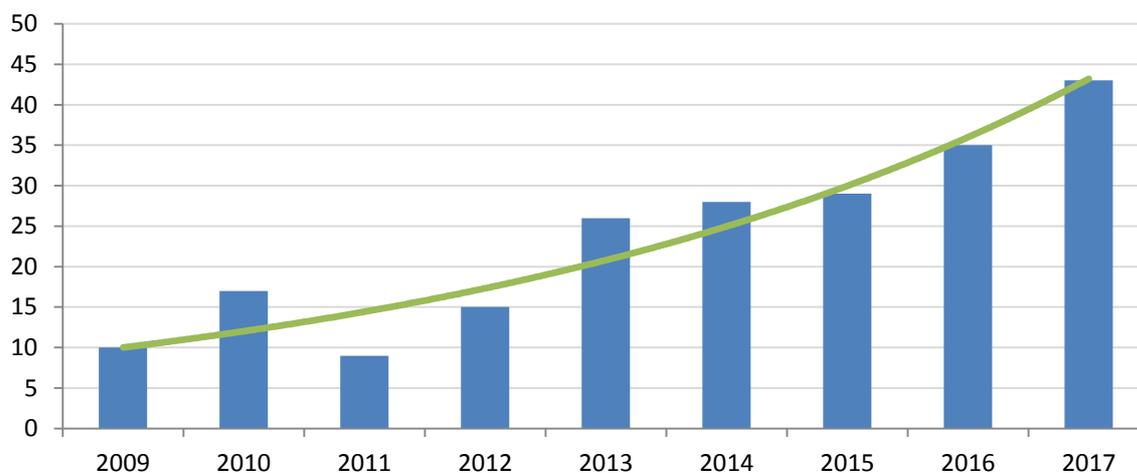


Figura 54: Evolución de las instalaciones de biomasa. [23]

Las grandes ventajas que ofrecen este tipo de calderas, han provocado que en 2017 haya casi 245.000 instalaciones de calefacción que utilizan biomasa. El mayor incremento de las instalaciones de calefacción con biomasa se ha visto impulsado por el aumento de las estufas pellets. Aunque el uso del pellet sea ligeramente superior al de las astillas como se puede apreciar en la *Figura 54*, en el sector de la vivienda se emplea más el pellets debido principalmente a que se necesita menor espacio de almacenamiento y menor mantenimiento que las calderas que utilizan astillas.

5 ANÁLISIS DE INSTALACIONES

En este apartado, nuestro objetivo va a ser mostrar la máxima información de las instalaciones que actualmente utilizan biomasa para conocer ciertos aspectos. Como pueden ser el tipo de combustible, aplicaciones, o rango de potencias que son más empleados en la actualidad.

5.1 Diferentes aplicaciones

En nuestra base de datos el mayor número de instalaciones son edificios públicos, esto se debe a que la información de dichas instalaciones es más accesible que las instalaciones en viviendas.

Como cada vez es mayor la preocupación por el medio ambiente, las autoridades están apostando cada vez más por esta tecnología para edificios públicos, y esta aplicación tiene un gran peso en los edificios públicos como pueden ser: estaciones de bomberos, ayuntamientos, colegios, universidades...etc. El uso de los recursos locales puede generar una sensación de independencia, además los suministradores de biomasa obtendrán una renta adicional y mejorará la economía local, ya que estos suelen pertenecer a la zona. Por otro lado, el ayuntamiento suele ganar credibilidad manifestando sus esfuerzos ambientales aspecto que suele agrandar a los ciudadanos.

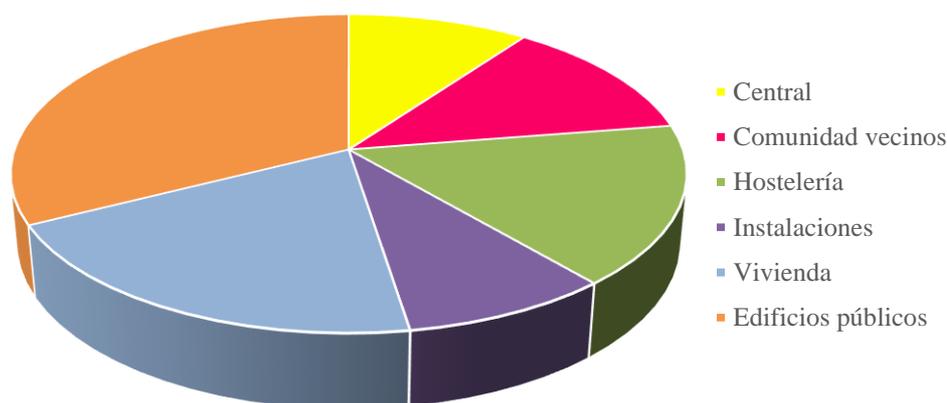


Figura 55: Diferentes aplicaciones de la biomasa.

Otro tipo de aplicación muy importante es la aplicación de la biomasa en comunidades de vecinos. En España hay dos capitales de provincia que destacan por el número de edificios donde se han sustituido instalaciones de combustibles convencionales (carbón y gasóleo C principalmente) por biomasa. Estas ciudades, donde ya existen empresas de suministro y distribución de biomasa desarrolladas, son Zaragoza y Madrid. Aunque también hay que destacar el País Vasco donde en los últimos años bastantes comunidades de vecinos se están decantando también por el uso de la biomasa.

La hostelería también tiene un peso importante en el uso de la biomasa ya que al tener grandes consumos tanto de calefacción como de ACS suele compensar el uso de la biomasa frente a los combustibles convencionales. En los últimos años tanto casas rurales como hoteles de lujo están instalando calderas donde se utiliza la biomasa ya que además de obtener ahorros económicos, la empresa muestra una imagen de compromiso con el medio ambiente.

En definitiva en todos los diferentes tipos de aplicaciones el uso de la biomasa está aumentando año tras año debido a todos los beneficios que conlleva el uso de la biomasa frente a otros combustibles.

5.2 Uso de la biomasa

Como se explicó anteriormente la aplicación más común suele ser la de aplicaciones térmicas. La mayoría de las veces cuando se realiza una instalación de biomasa se suele reemplazar o utilizar tanto para calefacción como para ACS. Debido a que en las viviendas resulta más rentable instalar ambas aplicaciones y dejar la dependencia de los combustibles tradicionales. La mayor parte de las instalaciones donde solo se emplea calefacción suele ser para edificios públicos donde el gasto de ACS es bastante bajo.

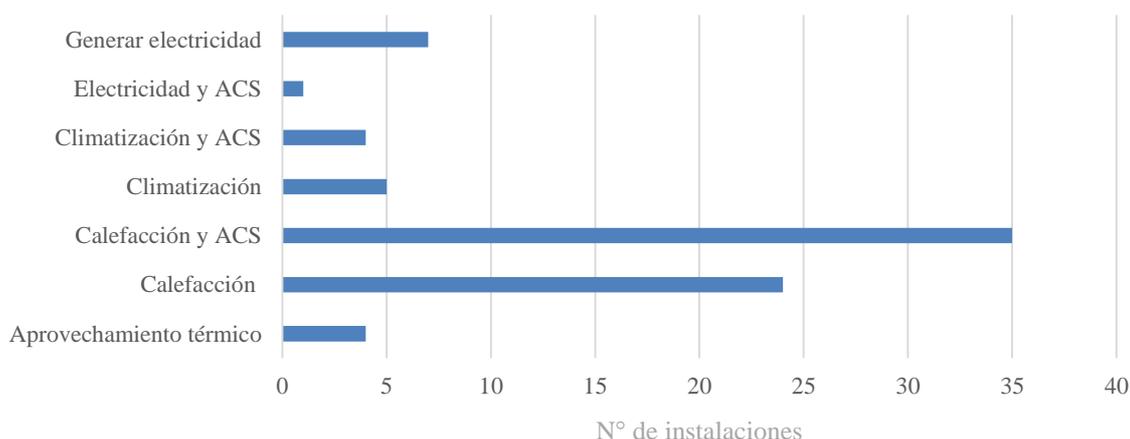


Figura 56: Uso de la biomasa.

Por otro lado los edificios públicos y la hostelería suele aprovechar dichas instalaciones para climatizar los locales, es decir, generar tanto calor en invierno como frío en verano. Debido a que el consumo es bastante alto y suele compensar en este caso el uso de la biomasa para refrigerar.

El aprovechamiento térmico solo se realiza en instalaciones o fábricas donde se utiliza un producto generado que no se desea para generar electricidad de forma casi gratuita.

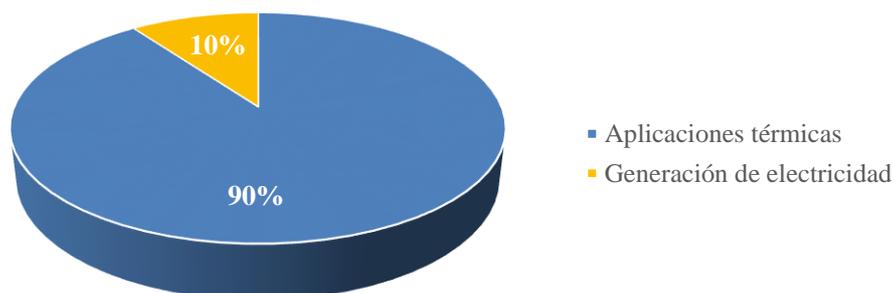


Figura 57: Aplicaciones térmicas frente a la generación de electricidad.

La generación de electricidad en las centrales es poco habitual debido a los inconvenientes anteriormente explicados aunque su uso está aumentando sobretudo en la comunidad de Andalucía donde se aprovecha los subproductos de la aceituna. Durante este año se comenzó las obras del mayor complejo de biomasa en España que será la tercera central de energía instalada en dicha ciudad.

5.3 Tipo de unidad terminal

Cuando se utiliza la biomasa para la calefacción la unidad terminal puede ser de diferentes tipos. Tanto los radiadores como el suelo radiante son emisores de calor. Estéticamente el suelo radiante es mejor ya que se integra en el suelo, sin embargo, los radiadores quedan a la vista. El suelo radiante permite una distribución homogénea del calor en todos los puntos de la casa pero la instalación inicial es mayor. En cambio los radiadores emiten calor más rápidamente que el suelo radiante pero como como calientan por convección el aire, hace que el calor suba y este se deposite en el techo haciendo que el calor no sea homogéneo en toda la habitación.

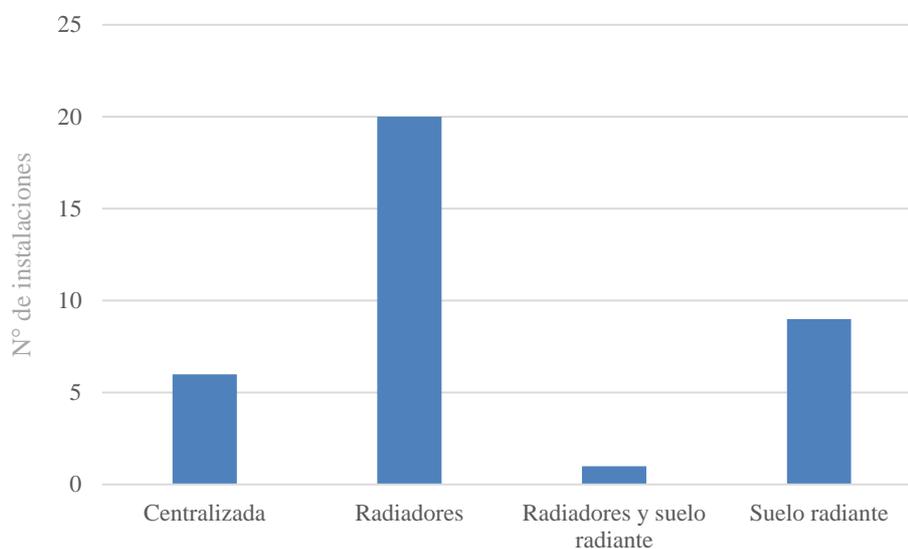


Figura 58: Tipo de unidad terminal.

El suelo radiante suele ser empleado en edificios públicos o en hostelería, debido a que es más rentable porque trabaja con temperaturas de agua más baja que los radiadores, además este tipo de edificios la calefacción no suele ser apagada y encendida varias veces al día, sino que se mantiene encendida todo el día.

Los radiadores suelen ser más utilizados en viviendas y comunidades de vecinos, debido a que la ocupación no es constante y suele interesar más este tipo, ya que los radiadores calientan más rápidamente.

Por otro lado la calefacción centralizada suele utilizarse en edificios públicos, debido a que el mismo aparato va a generar tanto calor en invierno como frío en verano. Este tipo no suele utilizarse en viviendas ya que suele reseca mucho el ambiente.

5.4 Tipos de combustible

Como se ha explicado anteriormente hay muchos tipos de combustible y para la elección de uno u otro hay que tener en cuenta muchos factores.

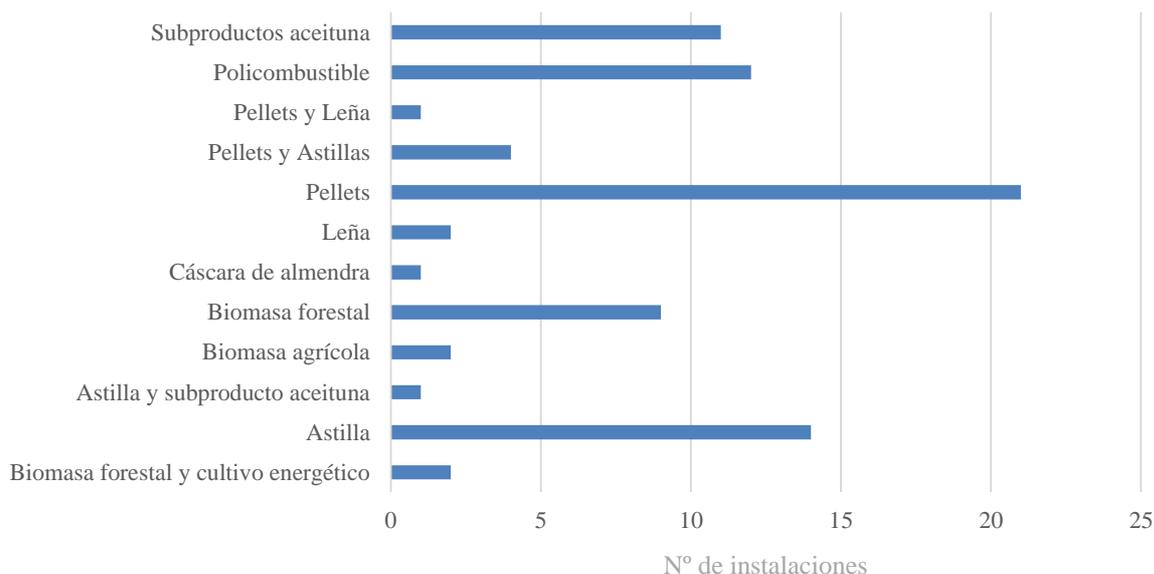


Figura 59: Tipos de combustibles.

Los combustibles más empleados son: pellets, astillas y los subproductos de la aceituna. Respecto a los subproductos de la aceituna las comunidades que más la utilizan son Andalucía y Madrid. El subproducto más utilizado es el hueso de aceituna, en un segundo lugar se emplea el orujillo y por último a veces también es utilizada la poda generada.

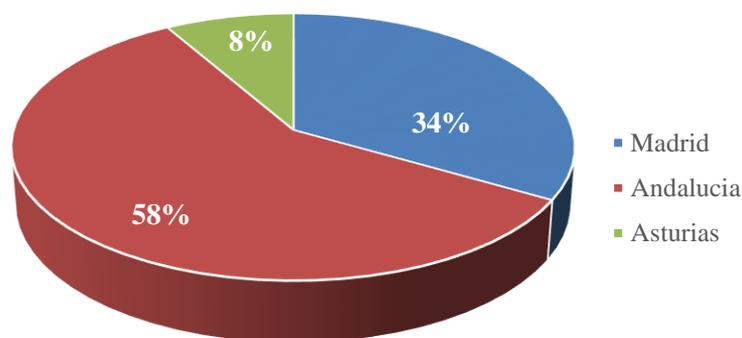


Figura 60: Empleo de los subproductos de la aceituna por comunidades.

El combustible más empleado es el pellet, este combustible es utilizado en todo tipo de aplicación: viviendas, hostelería, edificios públicos...etc. Esto mismo ocurre con las astillas que se utilizan todo tipo de aplicaciones. El pellet suele ser utilizado en viviendas o en edificios grandes donde no es posible el suministro de astilla, una de las ventajas del uso del pellet es la escasa generación de ceniza.

Las calderas de astillas generan algo más de cenizas pero suelen emplearse en edificios donde la potencia instalada es mayor y el suministro de la astilla es posible. Se utiliza la astilla ya a pesar de que la instalación sea algo superior a la instalación del pellets al ser el precio del combustible menor a lo largo de los años suele ser más económico.

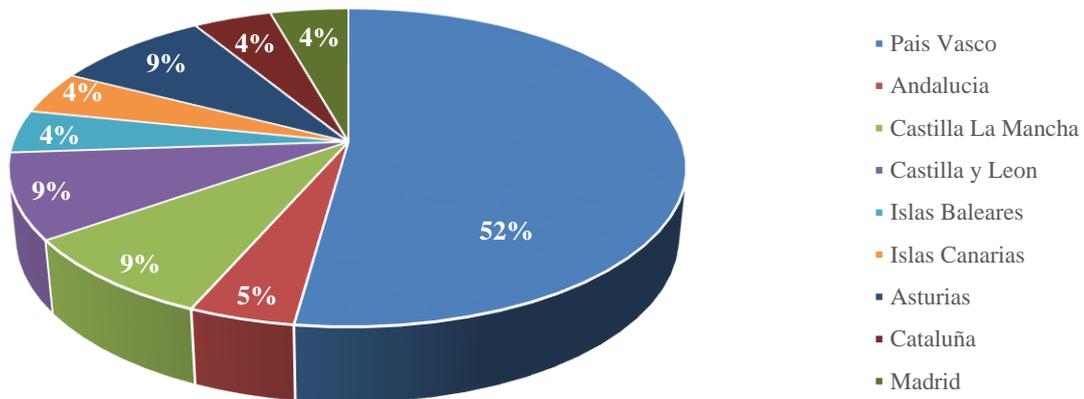


Figura 61: Empleo del pellet por comunidades.

Los pellets son utilizados en muchas comunidades, el País Vasco destaca por el uso de estos. Esto es así, ya que el País Vasco cuenta con una de las primeras fábricas de pellets de España. Aunque esta tendencia está cambiando en los últimos años debido al aumento de fabricantes de pellets ya que el uso de pellets se ha disparado principalmente en viviendas.



Figura 62: Fabricantes de pellets en 2017. [15]

Como se puede apreciar la elección de calderas de polcombustibles también es muy elegida principalmente en edificios públicos o en comunidades de vecinos, ya que estas admiten tanto pellets, astillas, huesos de aceituna, etc. Pero el tamaño de almacenamiento suele ser mayor por lo que no se suele instalar en viviendas.

5.5 Rango de potencia instalada.

El rango de potencia es muy amplio, permitiendo por ello tantas aplicaciones y usos como hemos comentado anteriormente. En función de cual sea la aplicación el rango de potencia será uno u otro.

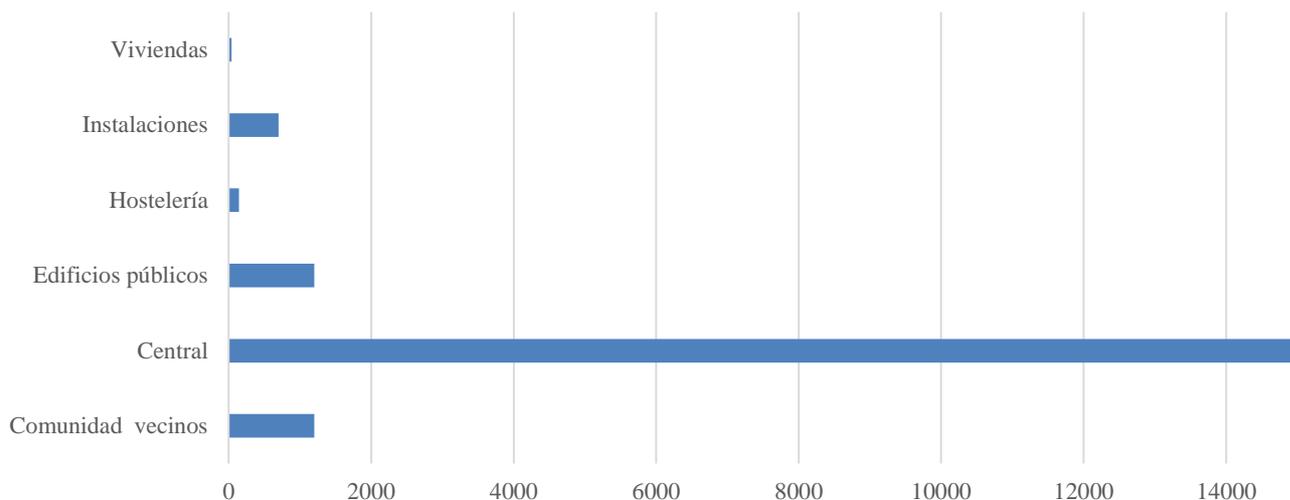


Figura 63: Potencia media instalada (kW).

En viviendas unifamiliares el rango de potencia suele estar entre 20-90 kW, por lo que la media de potencia instalada en este tipo de instalaciones será de 40 kW. La hostelería suele tener una potencia instalada algo superior en torno a 150 kW. Las industrias o instalaciones suelen tener un rango en torno a 2500-200 kW dependiendo del tamaño de la fábrica.

Por otro lado, tanto las comunidades de vecinos como los edificios públicos suelen tener una potencia instalada de 1,2 MW aproximadamente. Y las centrales de 15 MW, las de mayor potencia suelen utilizar como combustible la biomasa forestal y el cultivo energéticos para la generación de electricidad.

5.6 Instalación nueva o sustituida.

Las instalaciones de biomasa pueden sustituir a alguna instalación antigua que utilizara combustibles tradicionales o pueden ser de nueva instalación, en edificios nuevos. Las ventajas de la sustitución de una caldera de biomasa por una de combustibles fósiles son el ahorro económico y la reducción de emisiones contaminantes.

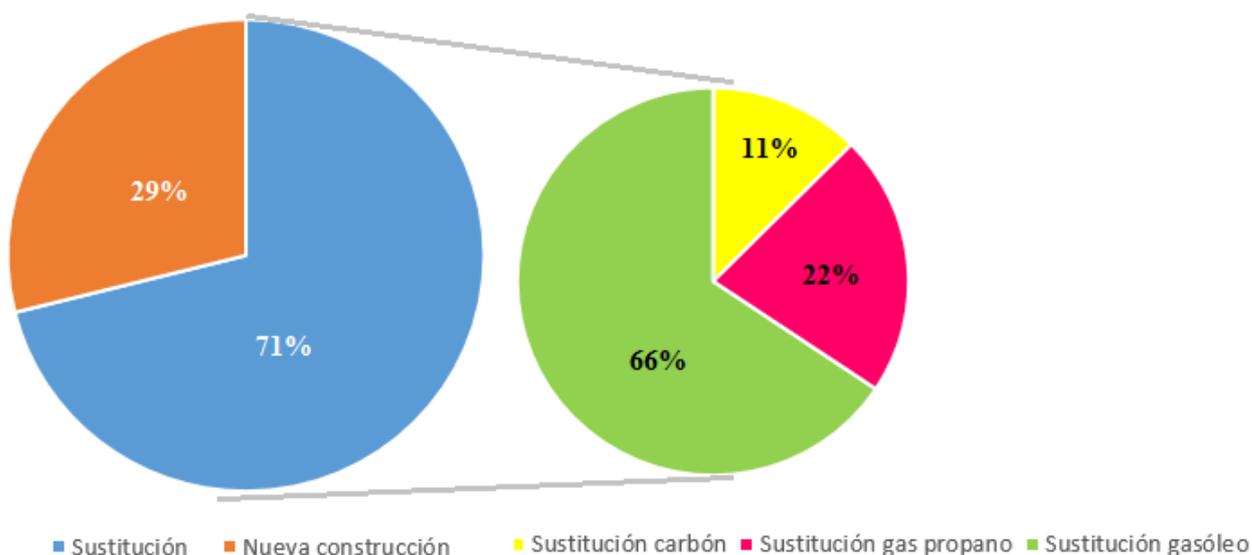


Figura 64: Instalación nueva frente a sustitución.

Las instalaciones de nueva construcción suelen ser principalmente edificios públicos o viviendas. En instalaciones donde se desea sustituir la caldera, las calderas de gasóleo ocupan un lugar importante debido al elevado coste del combustible. Seguidamente le sigue la sustitución de calderas de gas propano y de carbón en último lugar. Principalmente las comunidades de vecinos, hostelería e instalaciones son las que realizan esta sustitución ya que su uso de energía es más elevado a las otras aplicaciones lo que significa que el uso de la biomasa en estos casos generará un ahorro económico mayor.

La sustitución de la caldera consiste en muchos casos en cambiar el quemador si la caldera cumple unos requisitos, y si esto no fuera así se reemplazaría la caldera completamente. En ningún caso se suele dejar la caldera antigua como instalación auxiliar, ya que la instalación antigua en muchos casos se suele utilizar como silo de almacenamiento. Pero en instalaciones de gran tamaño se suele ir reduciendo el consumo del combustible fósil a la vez que se aumenta el uso de biomasa, por lo que tras una serie de años el uso de combustible fósil ha sido eliminado completamente. Esto se realiza de esta manera para garantizar que una comunidad de vecinos no se quede sin calefacción ni ACS.

6 CONCLUSIONES

Antiguamente, la leña era uno de los combustibles más utilizados con que se calentaban los españoles, al igual que el carbón. Pero eso fue cambiando poco a poco, y actualmente y desde hace unos 40 años aproximadamente son los combustibles fósiles que importamos de otros países los que calientan nuestras casas habiendo abandonado nuestros propios bosques. La evolución tecnológica y el cambio de mentalidad hacia un consumo más responsable han provocado, no sólo en España, sino en toda Europa, una mayor sofisticación en los equipos y un aumento del uso de los biocombustibles. Pasando de usar antiguas calderas de leñas manuales a modernas, automáticas, eficientes y limpias calderas de pellet que pueden ser manejadas desde un teléfono móvil.

No cabe duda que la biomasa será una importante fuente de energía en un futuro próximo. Esta forma de obtención de energía presenta tanto ventajas como desventajas, siendo primordial que el uso de esta energía sea utilizado con conciencia para evitar posibles daños en nuestro futuro.

Aun esta tecnología debe mejorar en varios aspectos como son: disponibilidad de la materia prima o suministro y algunos aspectos económicos. Desde el punto de vista de suministro a veces resulta difícil de conseguir la materia prima ya que el mercado no está desarrollado completamente y los cultivos energéticos aún no están muy implantados. La ingeniería de procesos también debe mejorar ya que las instalaciones son muy complejas, hay pocos proveedores y los combustibles aún ocasionan algunos problemas como la corrosión o la generación excesiva de cenizas.

Por otro lado, los precios son aún algo excesivos desde el punto de vista de la inversión inicial y del mantenimiento o el combustible. Y a veces resulta difícil encontrar financiación o ayudas para la instalación.

A pesar de estas desventajas, la biomasa genera empleo y riqueza al medio rural. Se realizan actividades que ya son desarrolladas en la actualidad por lo que son conocidas y dominadas. Por lo que es necesario una apuesta importante por la biomasa forestal y los cultivos energéticos, ya que potencial y biomasa disponible hay de sobra para generar mucha más energía de la que se está obteniendo a día de hoy.

Hay un gran abanico de posibilidades, aunque la más empleada es el uso doméstico. Se estima que en 2015 en España había cerca de 160.000 instalaciones domésticas funcionando, la mayoría de estos equipos han sido instalados en los últimos años provocando un ahorro importante frente a las energías renovables esto ha provocado una gran ventaja a la hora de decantarse por esta opción.

Como se ha podido observar en el caso práctico, la biomasa actualmente es más rentable que otros combustibles fósiles aunque también es cierto que la inversión inicial es bastante superior. Una gran desventaja del uso de esta energía es el problema del almacenamiento, que mucha gente puede ser contraria a este tipo de energía ya que puede incómodo tener un sitio de almacenaje en casa pero lo cierto es que una gran multitud de opciones de almacenaje tanto en el exterior como en el interior del hogar.

El almacenamiento está directamente relacionado con la potencia de la caldera (a mayor potencia, mayor consumo y por lo tanto mayor necesidad de espacio), tipo de combustible utilizado (astilla menor poder calorífico que el pellet por lo que se necesita mayor espacio de almacenamiento) y por último la zona climática (una zona más fría provocará un mayor consumo y por lo tanto mayor espacio). Aunque en casos donde no se

disponga de espacio de almacenamiento como es el caso de algunas viviendas siempre existe la posibilidad de depósitos adosadas a la caldera, con el inconveniente que la autonomía será menor que en el caso de que se disponga de almacenamiento.

Otro punto importante es la elección del combustible, ya que el pellet es empleado en todo tipo de aplicaciones pero a medida que la potencia aumenta empieza a resultar más económico el uso de astillas, siempre y cuando se disponga de espacio de almacenamiento.

Es difícil predecir lo que sucederá en un futuro, lo que si es verdad que tarde o temprano los combustibles fósiles pasarán a la historia y tendremos que abastecernos con energía renovables. Y la biomasa puede ser una apuesta bastante interesante, ya que no tiene el problema que tienen otras energías renovables que son generadas sin control ninguno, como la energía eólica o la solar, ya que nadie puede controlar que día hará calor o más viento. En cambio la biomasa es una energía renovable permite ser gestionada, es decir, que se puede almacenar y usar cuando sea necesario. Además se puede obtener tanto en estado sólido, líquido o gaseoso lo que permite una gran ventaja para su uso.

Y ese futuro puede que no esté tan lejos como creemos, ya que como hemos podido apreciar cada vez son más comunidades de vecinos las que cambian su caldera de combustibles fósiles por una de biomasa o ayuntamientos los que apuestan por instalaciones donde se emplea este tipo de energía. Además aunque la principal aplicación sea la térmica cada vez son más las centrales de generación de electricidad las que apuestan por la biomasa, incluso utilizando la cogeneración, donde se produce simultáneamente electricidad y calor.

En general la potencia instalada en España no para de aumentar y se espera que este aumento no deje de crecer y que en 2020 la potencia instalada superara los 800.000 kW.

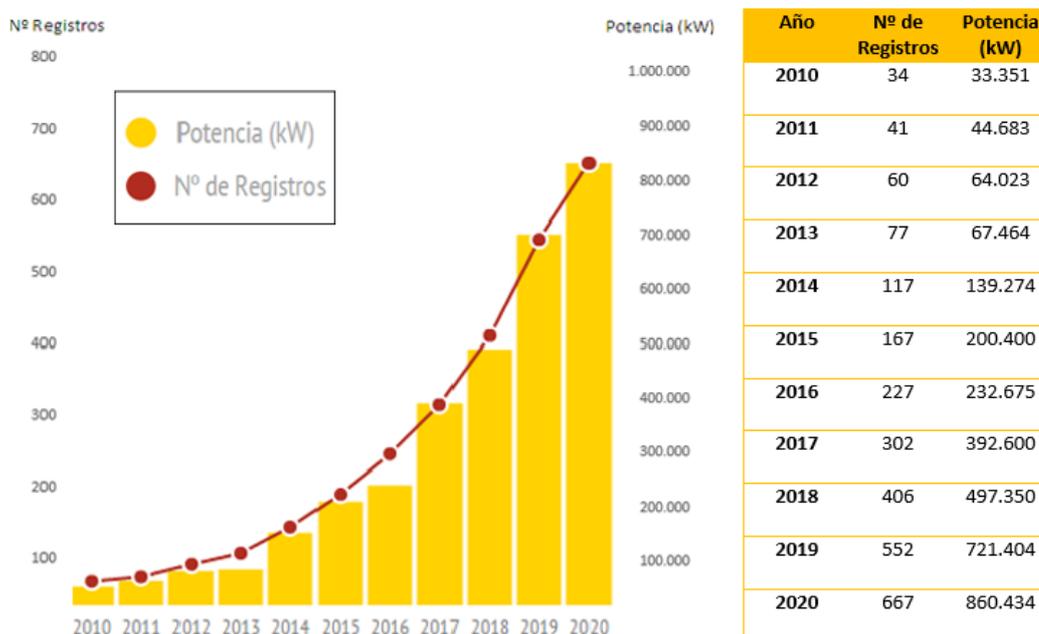


Figura 65: Potencia instalada. [17]

La energía renovable con biomasa es, por tanto, un claro ejemplo de actividad económica consecuente y acorde al modelo de desarrollo que se busca hoy en día: socialmente beneficiosa, ambientalmente respetuosa y económicamente rentable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España. *APPA 2016*.
- [2] La biomasa en Andalucía. *Agencia Andaluza de la Energía. (Diciembre 2017)*
- [3] www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/biomasa-ventajas-desventajas
- [4] www.plantasdebiomasa.net
- [5] www.tecnovasolenergia.com
- [6] Datos energéticos de Andalucía. 2016. *Consejería de empleo, empresa y comercio*.
- [7] La biomasa en Andalucía. *Diciembre 2017. Consejería de empleo, empresa y comercio*.
- [8] www.agenciaandaluzadelaenergia.es
- [9] Biomasa para Instaladores. Curso técnico de cálculo e instalación de equipos. *Agencia Extremeña de la Energía*.
- [10] Guía técnica. Instalaciones de biomasa térmicas de edificios. *IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)*
- [11] www.seccion.es/renovables/
- [12] www.sologastosol.com/biomasa/
- [13] www.greenheiss.com/category/biomasa/
- [14] Sistemas Automáticos de Calefacción con Biomasa en Edificios y Viviendas. *Guía Práctica*. Comunidad de Madrid.
- [15] www.hargassner.es
- [16] Grupo Nova Energía. *Manual de montaje Biocalora Serie 2. Workbook 1: Design - Installation - Service – Maintenance*.
- [17] <https://www.youtube.com/watch?v=boeHLO1Vh44>. Calderas de biomasa. *Universitat Politècnica de València*.
- [18] Energía de la biomasa. *Manuales de energías renovables. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)*
- [19] <http://www.acciona-energia.com/es/areas-de-actividad/otras-tecnologias/biomasa/instalaciones-destacadas/planta-de-biomasa-de-sangueesa/>
- [20] Biomasa. Climatización. *IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)*
- [21] <http://www.agenbur.com/es/contenido/index.asp?iddoc=409>
- [22] Plan de Energías Renovables 2011-2020. *IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)*
- [23] www.expobiomasa.com
- [24] Biomasa. Calefacción Sostenible. *IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)*
- [25] Biomasa. Edificios. *IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)*

-
- [26] The exploitation of biomass for building space heating in Greece: Energy, environmental and economic considerations. *Energy Conversion and Management*.
- [27] Biocarburantes en el transporte. IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*)
- [28] www.biogas.es
- [29] www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas
- [30] Energía Biomasa. Energías Renovables. *Coordinación de Energías Renovables 2008*
- [31] Biomasa. *Redes de distribución térmica*. IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*)

Catálogos

Productos obtenidos por HC Ingeniería. [www.tubiomasaeconomica.es]

Caldera de Gasoil



Caldera de Gasoil FERROLI ATLAS D 30 SI UNIT

N.º de producto: 388

1.695,00 € *

Caldera de Gas Natural



Caldera ARISTON GENUS Premium EVO 35 FF

N.º de producto: 3300706+3318073

Gas: **Natural**, Clase Energética: **A/A**, Potencia: **35 kW**,

Medidas: **77x40x39 cm**, ACS: **19,3 litros**, Kit humos: **Incluido**

1.569,00 € * 

Caldera de Biomasa para astillas de madera



CALDERA DE BIOMASA POLICOMBUSTIBLE GG35K

Sea el primero en dejar una reseña para este producto

Les presentamos una de las Calderas de Biomasa Policombustibles por excelencia, se trata de nuestro modelo GG35K elaborado y desarrollado por nuestro equipo de Ingenieros. Este tipo de Calderas de Biomasa admite como combustible Pellet, Hueso de aceituna, cáscara de almendra, cáscara de pistacho, etc.

Disponibilidad: **En existencias**

€ 3.640,00



* Posición de Tolva

-- Seleccionar, por favor --



Opcional

Kit removedor de astilla de leña +€ 423,50

Caldera de Biomasa para pellets



CALDERA PELLETS FERROLI NATURFIRE 30

N.º de producto: 249

Potencia nominal: 29kW, para estancias de 240 m², rendimiento max. 94,5%,
contenedor de pellets: 70 Kgr, medidas: 130x70x70, 250 Kg

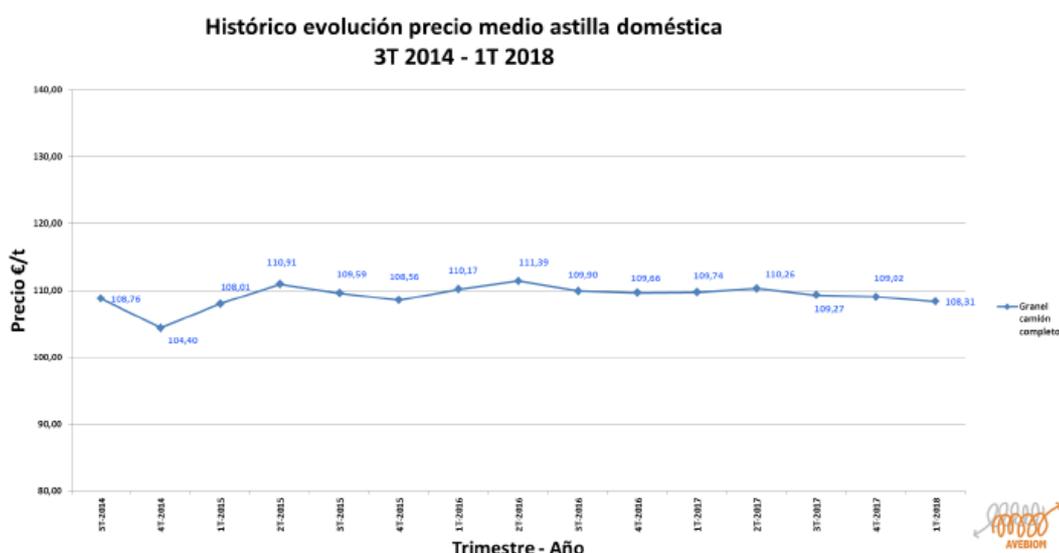
4.215,00 € *

Mantenimiento e Instalación

Los costes del mantenimiento e instalación han sido obtenidos del documento: Producción térmica de frío y calor mediante biomasa en centros hospitalarios. *XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.2011* y del documento: Estudio de la viabilidad del aprovechamiento de biomasa para calefacción y ACS en edificación. *Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid,*

Precio del combustible

Los precios de la biomasa se han obtenido de AVEBIOM (*Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa*)



INDICE PRECIO ASTILLA AVEBIOM 2018 (ANUAL)

PmB Astilla granel G30 - P31,5 - P45	2014	2015	2016	2017	1º tr. 2018
€/tn	106,58	109,27	110,28	109,57	108,31
c€/kWh	2,41	2,47	2,50	2,48	2,45
IPB anual		2,5%	0,9%	-0,6%	
IPB anual acumulado (en base 2014)		2,5%	3,5%	2,8%	

Fuente: AVEBIOM

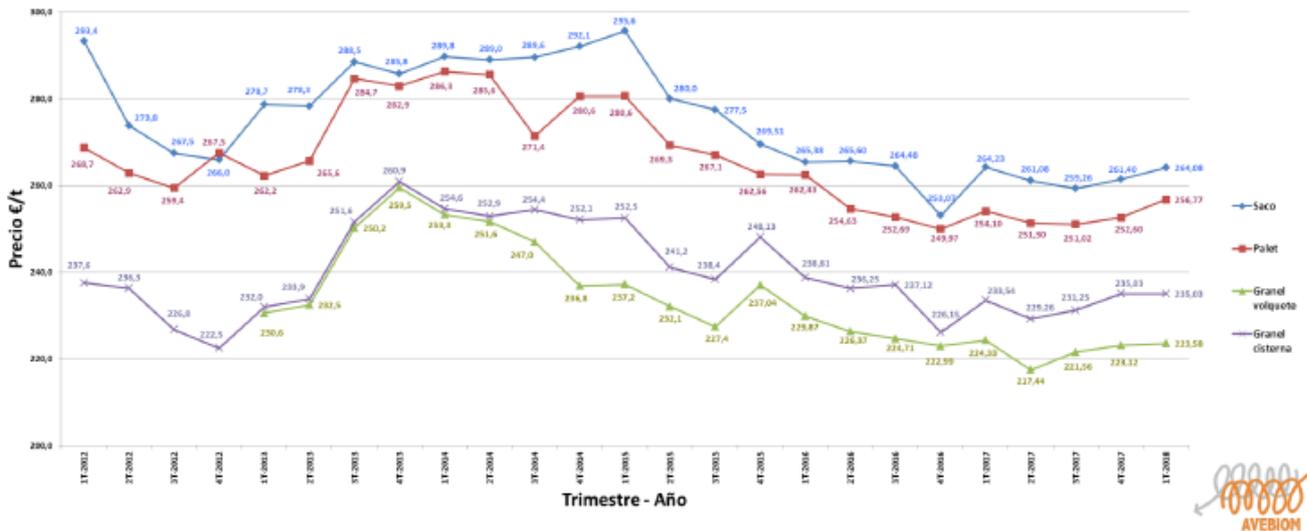
Los precios medios a consumidor final incluyen el 21% de IVA y un transporte medio de 100 km en formato a granel para camión completo o cantidad mínima.

Se solicitaron precios de astilla a granel de los tipos normalizados A1 y A2 s/norma ISO 17225-4, con humedad inferior a 35% y granulometría P31S-P45S (G30 de la antigua norma Ónorm).

Los precios se expresan en €/tn y en c€/kWh; esta última unidad de medida nos facilita las comparaciones con los costes de combustibles fósiles como el gasóleo o el gas natural.

Para obtener los valores medios se han procesado los datos estadísticamente eliminándose valores extremos que distan de la media más de 3 veces la desviación típica.

Histórico evolución precio medio pellet doméstico en distintos formatos
1T 2012 - 1T 2018



ÍNDICE PRECIO PELLETS AVEBIOM 2018 (ANUAL)

PmB (Pellet sacos 15 kg.)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	1ª tr. 2018
€/Saco	4,13	4,24	4,35	4,21	3,93	3,92	3,96
c€/kWh		5,94	6,09	5,89	5,50	5,49	5,54
IPB anual		2,8%	2,6%	-3,3%	-6,6%	-0,2%	
IPB anual acumulado (en base 2012)		2,8%	5,4%	2,0%	-4,7%	-5,0%	
PmB (Un palet de pellet)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	1ª tr. 2018
€/tn	264,61	275,86	280,98	269,88	254,93	252,25	256,77
c€/kWh		5,75	5,90	5,66	5,35	5,29	5,39
IPB anual		3,5%	2,6%	-4,0%	-5,5%	-1,0%	
IPB anual acumulado (en base 2012)		3,5%	6,2%	2,0%	-3,7%	-4,7%	
PmB (Pellet a granel volquete)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	1ª tr. 2018
€/tn	229,29	243,19	247,18	233,44	225,98	221,61	223,58
c€/kWh		4,98	5,06	4,90	4,74	4,65	4,69
IPB anual		6,1%	1,6%	-5,6%	-3,2%	-1,9%	
IPB anual acumulado (en base 2012)		6,1%	7,8%	1,8%	-1,4%	-3,4%	
PmB (Pellet a granel cisterna)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	1ª tr. 2018
€/tn	230,79	244,59	253,50	245,04	234,59	232,27	235,03
c€/kWh		5,13	5,32	5,14	4,92	4,87	4,93
IPB anual		6,0%	3,6%	-3,3%	-4,3%	-1,0%	
IPB anual (en base 2012)		6,0%	9,8%	6,2%	1,6%	0,6%	

Fuente: AVEBIOM

Los precios medios a consumidor final incluyen el 21% de IVA y un transporte medio de 200 km en formato a granel.

Se solicitaron precios de pellet en tres formatos diferentes, sacos de 15 kg., un palet de sacos (€/tn) y precio del pellet a granel camión completo o cantidad mínima (€/tn).

Las clases de pellets considerados son las correspondientes a las clases A1 y A2 de la norma ISO 17225-2.

Los precios se expresan en €/saco, para el saco individual y en €/tn para el resto de los formatos. Todos ellos se expresan también en c€/kWh; esta última unidad de medida nos facilita las comparaciones con los costes de combustibles fósiles como el gasóleo o el gas natural.

Para obtener los valores medios se han procesado los datos estadísticamente eliminándose valores extremos que distan de la media más de 3 veces la desviación típica.

Gas

Se pueden acoger a estas tarifas aquellos consumidores de gas natural conectados a redes de baja presión cuyo consumo anual sea inferior a 50.000 kW.

La tarifa de último recurso de gas natural tiene una estructura binomial, es decir, se compone de dos términos:

- > **Término fijo:** Cantidad constante en función de la tarifa contratada.
- > **Término variable:** Resulta de multiplicar el gas consumido por el término de energía (en Euros/kWh) definido en la tarifa.

Tarifas vigentes de gas natural

Tarifas*	Término fijo (Euros/Cliente/mes)	Término variable Euros/kWh
TUR 1	4,28	0,05162097
TUR 2	8,44	0,04474697

* Tarifas válidas desde el 1 de Abril de 2018.



SECRETARÍA GENERAL
Departamento de Planificación y Estudios
Informe nº 114
Año 2015

A. INFORME DE PRECIOS ENERGÉTICOS: COMBUSTIBLES Y CARBURANTES

Datos a 22 de junio de 2015

1. Precios energéticos liberalizados

Carburantes y productos petrolíferos

Tipo	Con impuestos (*)	
	€/l	c€/kWh
Gasolina 95	1,338	14,99
Gasóleo A	1,182	11,90
Gasóleo C	0,721	6,71
Gas Licuado Petróleo (motor)	0,682	10,33
	€/t	c€/kWh
Fuelóleo	466,10	4,37

Costes de las instalaciones

Tabla 14: Costes de las instalaciones.

	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Gasóleo	4.314	6.547	7.050	7.592	8.179	8.812
Gas Natural	4.188	3.326	3.504	3.692	3.891	4.103
Pellets	8.257	3.159	3.233	3.309	3.388	3.469
Astillas	7.885	3.487	3.512	3.537	3.563	3.588

Tabla 15: Costes de las instalaciones (continuación)

año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	año 11
9.495	10.234	11.031	11.893	12.823	13.827
4.327	4.564	4.816	5.083	5.366	5.666
3.552	3.638	3.727	3.818	3.911	4.008
3.614	3.641	3.667	3.694	3.721	3.748

Tabla 16: Costes de las instalaciones (continuación)

año 12	año 13	año 14	año 15
14.912	16.084	17.350	18.716
5.984	6.321	6.678	7.057
4.108	4.210	4.316	4.425
3.776	3.804	3.832	3.860

Instalaciones de biomasa

- [1] Biomasa en el ámbito municipal. Guía de buenas prácticas. Diputación de Cádiz.
- [2] www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/111380-10-experiencias-con-calderas-KWB-en-viviendas-particulares.html
- [3] www.tecnohotelnews.com/2013/03/energia-10-ejemplos-de-instalacion-de-biomasa-en-hoteles/
- [4] Instalaciones de biomasa. H.C. Ingeniería, SL
- [5] www.evo-world.com/index.php/case-studies-185.html
- [6] <https://news.soliclima.com/noticias/biomasa/la-experiencia-de-una-comunidad-de-oviedo-con-una-caldera-de-pellets>
- [7] www.enertra.es/proyectos-realizados/biomasa/
- [8] EXPERIENCIA DE UTILIZACIÓN DE BIOMASA EN EL MUNICIPIO DE ASPARRENA.
- [9] Energía de la biomasa (IDAE)
- [10] Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. *Fernando Gutiérrez Martín. Guillermo San Miguel*

Tabla 17: Instalaciones de biomasa.

	Tipo	Localización	Año	Uso	Calefacción	Combustible	Potencia (kW)	Motivo
1	Vivienda	Madrid	2005	Calefacción y ACS	Radiadores	Hueso de aceituna	93	Sustitución gas propano
2	Vivienda	Ávila	2004	Calefacción y ACS	Radiadores	Policombustible	40	Sustitución gasóleo
3	Comunidad vecinos	Zaragoza	2003	Calefacción	Radiadores	Cáscara de almendra	400	Sustitución carbón
4	Comunidad vecinos	Madrid	2004	Calefacción y ACS	Radiadores	Hueso de aceituna	580	Sustitución carbón
5	Comunidad vecinos	Madrid	2005	Calefacción	Radiadores	Hueso de aceituna	116	Sustitución carbón
6	Edificios públicos	Jaén	2000	Calefacción y ACS		Hueso de aceituna y Orujillo	645	
7	Edificios públicos	León	2005	Calefacción	Radiadores y suelo radiante	Biomasa forestal	40	
8	Edificios públicos	Barcelona	2005	Calefacción y ACS		Policombustible	60	Sustitución gasóleo
9	Edificios públicos	Lleida	2001	Calefacción y ACS	Suelo radiante	Biomasa forestal	175	Nueva construcción
10	Edificios públicos	Córdoba	2000	Calefacción y ACS		Poda olivar y Orujillo	291	Nueva construcción
11	Edificios públicos	León	2005	Calefacción y ACS	Suelo radiante	Policombustible	50	Nueva construcción
12	Edificios públicos	Tarragona	2005	Calefacción y ACS		Policombustible	200	Nueva construcción
13	Edificios públicos	Segovia	1999	Calefacción	Centralizada	Biomasa forestal	16900	
14	Edificios públicos	Barcelona	2001	Calefacción	Centralizada	Policombustible	2250	
15	Edificios públicos	Barcelona	2002	Calefacción	Centralizada	Biomasa forestal	6000	
16	Instalaciones	Ciudad Real	2001	Aprovechamiento térmico		Biomasa forestal	2560	

17	Instalaciones	Barcelona	2004	Aprovechamiento térmico		Astilla	880	Sustitución gasóleo
18	Central	Orense	1998	Generar electricidad		Biomasa forestal	2350	
19	Central	Navarra	2002	Generar electricidad		Biomasa agrícola	25000	
20	Central	Jaén	2002	Generar electricidad		Orujillo	16000	
21	Central	Almería	2004	Generar electricidad		Biomasa agrícola	1700	
22	Central	Cantabria	2013	Generar electricidad		Biomasa forestal	10000	
23	Central	Lleida	2012	Generar electricidad		Biomasa forestal y cultivo energético	11100	
24	Central	Huelva	2012	Generar electricidad		Biomasa forestal y cultivo energético	50000	
25	Comunidad vecinos	País Vasco	2012	Calefacción	Radiadores	Pellets	1440	Sustitución gasóleo
26	Edificios públicos	Navarra	2009	Calefacción	Centralizada	Astilla	700	Sustitución gasóleo
27	Edificios públicos	Navarra	2009	Calefacción	Centralizada	Pellets	96	Sustitución gasóleo
28	Edificios públicos	Navarra	2011	Calefacción y ACS	Centralizada	Pellets	600	Sustitución gas propano
29	Comunidad vecinos	País Vasco	2011	Calefacción y ACS	Radiadores	Pellets y Astillas	720	Sustitución gasóleo
30	Comunidad vecinos	País Vasco	2013	Calefacción y ACS	Radiadores	Pellets	63	Sustitución gasóleo
31	Vivienda	Navarra	2012	Calefacción y ACS	Radiadores	Pellets	20	Sustitución gasóleo
32	Vivienda	Navarra	2011	Calefacción y ACS	Radiadores	Pellets y Leña	20	Nueva construcción
33	Edificios públicos	Navarra	2008	Calefacción y ACS	Suelo radiante	Pellets	70	Nueva construcción
34	Edificios públicos	Navarra	2012	Calefacción	Suelo radiante	Pellets	112	Nueva construcción
35	Edificios públicos	Navarra	2009	Calefacción	Suelo radiante	Astilla	100	Nueva construcción
36	Edificios públicos	Navarra	2012	Climatización y ACS		Astilla	150	Sustitución gas propano

37	Hostelería	Navarra	2012	Calefacción	Radiadores	Pellets y Astillas	250	Sustitución gas propano
38	Instalaciones	Navarra	2010	Climatización y ACS		Pellets	200	Sustitución gasóleo
39	Edificios públicos	Cádiz	2011	Calefacción y ACS		Pellets	600	Nueva construcción
40	Comunidad vecinos	Andalucía	2011	Calefacción y ACS	Radiadores	Hueso aceituna	300	Sustitución gasóleo
41	Edificios públicos	Jaén	2010	Climatización		Hueso aceituna	600	Nueva construcción
42	Vivienda	Ávila	2004	Calefacción y ACS		Policombustible	40	
43	Vivienda	Valladolid	2005	Calefacción y ACS		Astilla	40	
44	Vivienda	Córdoba	2009	Calefacción y ACS		Hueso aceituna	60	
45	Vivienda	Pontevedra	2009	Calefacción y ACS		Pellets	30	
46	Vivienda	Madrid	2011	Calefacción y ACS		Policombustible	35	
47	Vivienda	Asturias	2012	Calefacción	Suelo radiante	Hueso aceituna	15	Nueva construcción
48	Vivienda	Vizcaya	2012	Calefacción y ACS		Leña	50	Sustitución gasóleo
49	Vivienda	Toledo	2012	Calefacción y ACS		Pellets	50	Sustitución gas propano
50	Hostelería	Ávila	2006	Calefacción y ACS	Suelo radiante	Astilla	60	
51	Hostelería	Segovia	2009	Calefacción y ACS		Pellets	30	
52	Hostelería	Ávila	2010	Climatización y ACS		Pellets y Astillas	200	Nueva construcción
53	Hostelería	Albacete	2010	Calefacción y ACS		Astilla	130	
54	Hostelería	Mallorca	2011	Calefacción		Pellets	300	Sustitución gasóleo
55	Hostelería	Asturias	2012	Calefacción y ACS	Radiadores	Pellets	35	Sustitución gasóleo
56	Hostelería	Jaén	2012	Climatización		Astilla y hueso aceituna	80	Sustitución gasóleo
57	Hostelería	Lleida	2012	Calefacción y ACS	Radiadores	Pellets	100	
58	Hostelería	Córdoba	2012	Calefacción y ACS		Leña	50	Sustitución gasóleo
59	Vivienda	Vizcaya	2011	Calefacción y ACS		Pellets	30	
60	Edificios públicos	Madrid	2010	Calefacción		Hueso aceituna	50	Sustitución gasóleo

61	Comunidad vecinos	Castilla y León	2008	Calefacción	Radiadores	Policombustible	320	Sustitución carbón
62	Edificios públicos	Barcelona	2012	Calefacción		Astilla	500	Sustitución gas propano
63	Edificios públicos	Girona	2013	Calefacción		Astilla	300	
64	Hostelería	Canarias	2013	Calefacción y ACS		Pellets	400	
65	Instalaciones	Albacete	2012	Climatización y ACS		Pellets	150	Sustitución gas propano
66	Instalaciones	Austria	2008	Aprovechamiento térmico		Pellets y Astillas	400	Sustitución gasóleo
67	Instalaciones	Austria	2009	Aprovechamiento térmico		Astilla	400	Sustitución gasóleo
68	Comunidad vecinos	Reino Unido	2010	Calefacción	Radiadores	Pellets	200	
69	Edificios públicos	Reino Unido	2010	Calefacción y ACS		Astilla	100	
70	Hostelería	Austria	2009	Climatización		Astilla	200	Sustitución gasóleo
71	Vivienda	Alemania	2007	Calefacción		Astilla	35	
72	Comunidad vecinos	Asturias	2007	Calefacción		Policombustible	8000	Sustitución gasóleo
73	Edificios públicos	Madrid	2008	Climatización	Radiadores	Pellets	25	
74	Central	Austria	2009	Electricidad y ACS		Biomasa forestal	1150	
75	Edificios públicos	Barcelona	2010	Climatización	Suelo radiante	Policombustible	200	Nueva construcción
76	Vivienda	Vigo	2012	Calefacción y ACS	Radiadores	Policombustible	24	
77	Instalaciones	Pontevedra	2012	Calefacción	Suelo radiante	Biomasa forestal	200	
78	Vivienda	Santiago	2011	Calefacción y ACS	Radiadores	Policombustible	24	
79	Hostelería	Portugal	2015	Calefacción	Radiadores	Pellets	38	
80	Edificios públicos	Vizcaya	2016	Calefacción		Astilla	300	Sustitución gas propano