

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOMASA EN ANDALUCÍA

Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Ambiental

Autor: Enrique Figueroa Luque

Tutor: José Morillo Aguado

Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Curso 2013- 2014

ÍNDICE

1	Introducción	5
1.1	Objetivos y argumentación del proyecto	9
2	Análisis del estado de la biomasa en Andalucía	10
2.1	Biomasa: tipos y propiedades	16
2.2	Capacidad de Biomasa en Andalucía	18
2.3	Equipamiento coetáneo de biomasa	20
3	Designación de la ubicación en la provincia de Jaén de una planta de biomasa	22
3.1	Material y origen de la información	22
3.2	Procedimiento de asignación del enclave	23
4	Establecimiento de la disponibilidad de biomasa	29
4.1	Superficie disponible de biomasa	29
5	Cómputo del potencial de biomasa utilizable	40
6	Biomasa utilizable	43
6.1	Calificación de la biomasa utilizable	43
7	Tratamientos termoquímicos	50
7.1	Reacciones sólido-gas	50
7.1.1	Pirolisis	50
7.1.2	Gasificación	52
7.1.3	Combustión	56
7.2	Proceso idóneo de reacción sólido-gas para la planta	57
8	Procedimientos previos	60
9	Tratamientos termodinámicos	67
9.1	Ciclo de Vapor (Ciclo Rankine)	67
9.2	Ciclo Orgánico Rankine (ORC)	68
9.3	Ciclo de turbina de gas	70
9.4	Ciclo combinado	71
9.5	Cogeneración	72
9.6	Establecimiento de la tecnología y cálculos termodinámicos	73
10	Estudio económico	75

10.1	Coste de la biomasa	76
10.2	Estimación de la viabilidad económica: nociones básicas	76
10.2.1	Valor Actual Neto (VAN)	76
10.2.2	Tasa Interna de Retorno (TIR)	77
10.2.3	Periodo de retorno de una inversión (<i>Payback</i>)	77
10.2.4	Coste levelizado de la energía (LCOE)	77
10.3	Resultados acerca de la viabilidad económica	78
11	Conclusiones generales	82
12	Abreviaturas empleadas	84
13	Bibliografía	85
14	Anexos	90

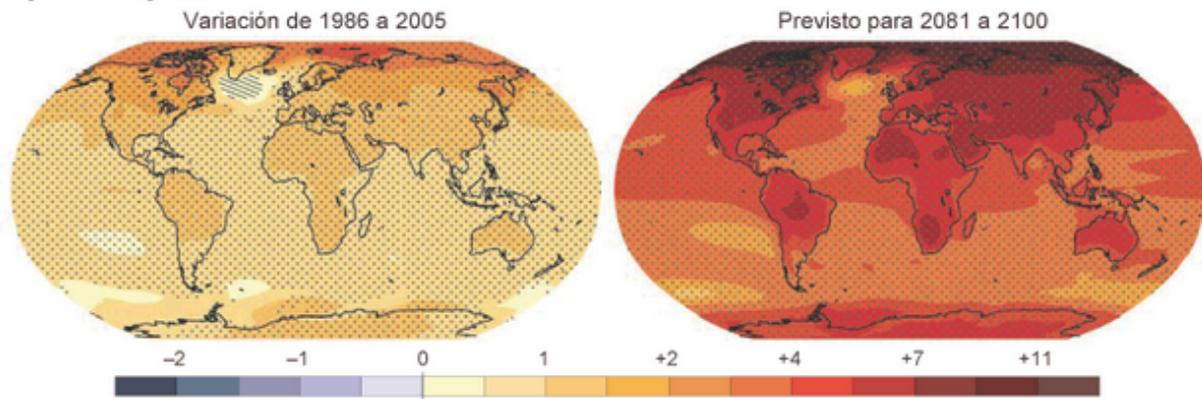
1. INTRODUCCIÓN

El freno al desarrollo de las energías renovables que ocurre actualmente no parece un camino adecuado para establecer escenarios donde la Sostenibilidad sea un paradigma social dominante. Son evidentes las pruebas que el Cambio Climático nos está dejando de su realidad y, si a esto sumamos la gran dependencia energética de otros países, así como la inestabilidad política de éstos que inducen conflictos armados, son razones más que suficientes para apoyar aquellas tecnologías que más respetan el medio ambiente, con el valor añadido de generar una mayor autonomía energética y, además, mostrar la posibilidad de contribuir al Desarrollo Local Sostenible en zonas rurales, cuestión muy relevante para Andalucía.

La lucha contra el Cambio Climático es hoy un importante reto. La declaración anual de la Organización Meteorológica Mundial alerta de que se acentúan los episodios climáticos extremos e insiste en la idea de que la influencia de la actividad humana sobre el clima explica alguno de los cambios que se están observando. La tendencia al calentamiento global sigue poniéndose de manifiesto en las estadísticas. Teniendo en cuenta datos de años anteriores observamos que el año 2003 fue, junto con 2007, el sexto año más cálido desde que se tienen registros. De acuerdo con el informe citado, 13 de los 14 años más cálidos se han producido en el siglo XXI. Cada uno de los tres últimos decenios ha sido más cálido que el anterior, mostrando el valor más elevado la década 2001-2010. El promedio de la temperatura registrada en continentes y superficies de océanos fue, el año pasado, de 14,5 grados Celsius, lo que quiere decir que aumentó en medio grado respecto a la media de los años sesenta, setenta y ochenta. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) expresó en septiembre de 2013 que el calentamiento del planeta es inequívoco y que la influencia humana está clara. En el informe presentado en Yokohama, marzo 2014, se advierte a los líderes políticos que realicen urgentes previsiones de acciones ante el Cambio Climático, ante un panorama futuro lúgubre si no se actúa a tiempo, debido a la vulnerabilidad diferencial de los territorios. Andalucía, debido a su posición geográfica es una zona de alta vulnerabilidad, posiblemente de las más vulnerables de Europa. El Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012 de la Junta de Andalucía indicaba acciones concretas tanto en mitigación como en adaptación. Michel Jarraud, Secretario General de la Organización Meteorológica Mundial, ha manifestado en el informe presentado en marzo de 2014, que muchos de los fenómenos meteorológicos extremos que se produjeron en 2013 se correspondían con las consecuencias que se esperaban que tuviera el Cambio Climático provocado por la actividad humana. Respecto a España, se alerta acerca de grandes

variaciones geográficas entre regiones y potenciales diferencias entre años en la precipitación registrada.

► EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE
En grados centígrados



► EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA
En porcentaje

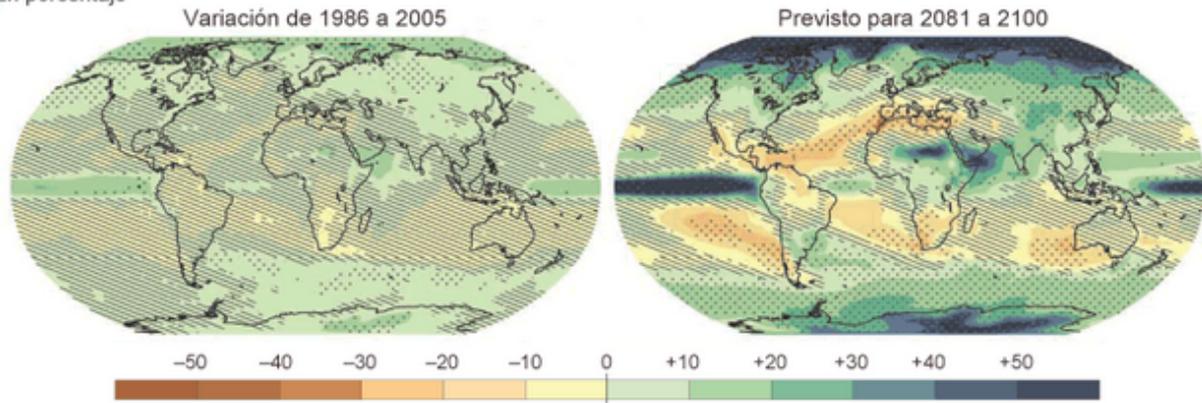


Figura 1. Evolución de la temperatura y precipitación media de la superficie terrestre.

Fuente: IPCC 2014.

En España, en 2013, las precipitaciones fueron un 20% superiores a la media histórica, pero con grandes diferencias geográficas. En algunas zonas costeras de la fachada atlántica se registró un aumento del 50% sobre los valores habituales pero las regiones del área mediterránea recibieron menos precipitación que lo esperado de acuerdo con la media. Por ello, la adopción de una estrategia para incrementar la utilización de fuentes renovables de energía resulta esencial ante el escenario planteado por el IPCC. La sinergia de la utilización de fuentes de energías renovables, como la biomasa, unida a estrategias de Desarrollo Local Sostenible es muy adecuadas para Andalucía, para tratar de mitigar el Cambio Climático y para adaptarse al mismo. Entre 2008 y 2012, España, manifiesta incumplidora del Protocolo de Kyoto, ha pagado más de 800 millones de euros por la compra de derechos de emisión a

otros países que han reducido más sus emisiones. Evidentemente, en este escenario, poner pegas a las renovables, no ayuda nada. El Protocolo de Kyoto le sale caro a España, porque contaminar cuesta dinero. El dióxido de carbono está en el mercado (Sistema Europeo de Comercio de Emisiones) con el objetivo inicial de incentivar las tecnologías limpias; pero un exceso de derechos de emisión provocó que el precio del dióxido de carbono cayera, y no cumpliera el papel disuasorio que implicaba.

En España, aunque el sector de las energías renovables haya sido objeto de recortes, en una situación de manifiesto parón en seco por parte del Gobierno, el respaldo de la ciudadanía a las energías renovables es del 81%, cifra superior a la europea, que es del 70%, de acuerdo con los datos del Eurobarómetro de la Comisión Europea. La dependencia energética española se sitúa en un 70,8%, por encima de la media europea (53,8%), según datos del Balance Energético 2012, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. La energía primaria utilizada proviene en un 75,3% de combustibles fósiles contaminantes, como petróleo, gas y carbón. Un hecho que aleja sustancialmente a España de los compromisos del Protocolo de Kyoto en el horizonte de 2020 para minimizar el calentamiento global.

En los años previos a la crisis el impulso que las administraciones públicas ofrecieron a las energías renovables fue bastante prometedor, facilidades, ayudas, subvenciones y grandes retribuciones hicieron que el país se volcara en este tipo de tecnologías. Se crearon centros de investigación como el Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables de Andalucía (CTAER), el cual es colaborador en este proyecto y la Agencia Andaluza de la Energía (AAE). Se instalaron plantas tipo para la investigación y el desarrollo de estas tecnologías y posteriormente se empezaron a construir plantas productoras de energía térmica y eléctrica con iniciativa privada y siempre contando con las ayudas comentadas.

La biomasa se configura como un recurso energético limpio y económico capacitado para generar calor en los hogares, industrias y administraciones públicas. En general, potenciar el empleo de la biomasa, especialmente de bosques, ayuda a su limpieza y contribuye a reducir el riesgo de incendios (Xunta de Galicia. 2014).

Cumplir con el Plan de Acción de la Biomasa de la Unión Europea crearía entre 250.000 y 300.000 hasta 2020. La biomasa es una de las fuentes de energía renovable más intensivas en la generación de empleo, particularmente en el entorno rural. Por cada 60 MWt producidos se generan 135 puestos de trabajo, contar los 9 que generarían los combustibles

fósiles de acuerdo con la Asociación Sueca de Bioenergía y la Asociación Austriaca de Bioenergía (Díaz González, J., 2014).

En la actualidad, en España, existen unas setenta plantas de biomasa (biomasa, pellets, gasificación, biogás y FORSU). De todas las fuentes renovables la biomasa es la que más cantidad puede aportar al sistema energético español y por tanto es la energía renovable que más puede contribuir a la persecución del objetivo marcado por la *Directiva 2009/28/CE* del Parlamento Europeo, *relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables*, cuyos objetivos son:

- Un 20% del consumo final bruto de energía de la UE ha de ser de origen renovable.
- Un 10% de biocarburantes y otros combustibles renovables para el sector transporte.
- Reducción del 20% de las emisiones de efecto invernadero respecto a 1990.

Atendiendo a los datos ofrecidos por el Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE), la potencia instalada bruta en España en 2010 procedente de biomasa sólida era de 533 MW y según el Plan de Energías Renovables 2011-2020 se ha de alcanzar para el año objetivo 1350 MW, el doble de lo que había instalado el año pasado, que son 721 MW (Pérez, J.M, 2014).

Si el origen de la bioenergía es forestal o agrícola, desde una perspectiva general, el impulso de la cadena de valor de la biomasa aporta sostenibilidad al medio rural, permitiendo compatibilizar la preservación de sus valores naturales con su desarrollo económico. El proyecto LIFE+Coop 2020, iniciado en 2014, en Tarragona, desarrolla una red rural inteligente ("rural smart grid") probando que la generación y distribución de energía descentralizada es factible y deseable (Barroso, M., 2014).

Andalucía cubre el 45% de la producción de renovables en España y, según sus características geográficas y el potencial de su industria agroalimentaria, le permite que la industria de la biomasa sea casi el 40% del total de la potencia de biomasa instalada en España, teniendo un incremento anual del uso de ésta del 10%.

1.1 Objetivos y argumentación del proyecto

La intención de este proyecto es estudiar las posibilidades de implementar plantas de generación de energía eléctrica a partir de biomasa en la comunidad andaluza, mediante el estudio del caso de la provincia de Jaén y por la oportunidad que suponen las razones que se indican a continuación. Por un lado, el potencial de biomasa disponible, en general en Andalucía, que es más que suficiente para implantar este tipo de plantas; y por otro, de acuerdo con el espíritu y facilidades de la Ley 2/2007, de 27 de marzo, relativa al fomento de las energías renovables y eficiencia energética, que promueve el aprovechamiento de la biomasa entre sus medidas.

Además, el escenario sombrío que para las energías renovables supone el Real Decreto Ley 1/2012, que suprime temporalmente las primas y nuevas asignaciones para todas las tecnologías renovables para la generación de electricidad y para la cogeneración, hace todavía más deseable la oportunidad de hacer este proyecto fin de Máster, contextualizado en la provincia de Jaén, para intentar poner de manifiesto la posibilidad de obtener energía eléctrica a partir de plantas de biomasa conociendo las potencialidades de generación de la misma en Andalucía y sus excedentes.

A lo largo del presente trabajo se va a discutir la potencialidad de instalación de plantas de biomasa en Andalucía y se determinará una zona concreta en la provincia de Jaén, tras valorar tres sitios alternativos. Para ello se estudiará la cantidad de biomasa disponible en cada uno, teniendo en cuenta que su transporte no genere costes elevados, así como otros criterios. Adicionalmente, atendiendo al tipo de biomasa del cual se disponga, se presentarán las distintas tecnologías más apropiadas para todo el proceso de conversión energética, realizando un análisis comparativo de las mismas, comparando el tipo de tecnología más eficiente y rentable posible.

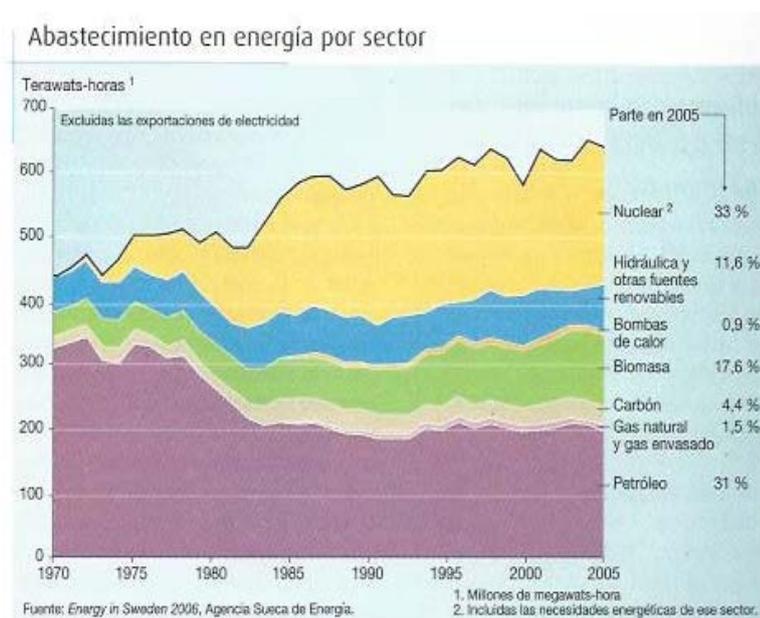
2. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA BIOMASA EN ANDALUCÍA

Como bien es sabido la biomasa ha sido la fuente de energía más importante en el transcurso de la historia del ser humano. Sólo fue a inicios del siglo pasado cuando el petróleo empezó a reemplazarla, especialmente en el sector del transporte.

Actualmente la biomasa sigue siendo la energía primaria más representativa con un 80% del consumo en muchos países del Tercer Mundo, pero cada vez está siendo más utilizada en los países desarrollados; por ejemplo, en los países nórdicos, donde más del 20% del consumo energético proviene de dicha energía.

Los ecosistemas de los continentes y océanos, en su conversión de la radiación solar en biomasa, generan un enorme potencial de energía, ya que mediante la fotosíntesis se obtienen alrededor de 220 billones de toneladas de biomasa al año. Esta cantidad convertida en energía representa unos 10800 Mtep.

La situación de la biomasa actualmente en Europa se muestra en la gráfica 1 y la figura 2, donde en el primero se puede observar el ejemplo de un país como Suecia y su crecimiento en uso de la biomasa como energía llegando a ser la tercera después de la energía nuclear y el petróleo. En la figura 2 aparece la producción de energía primaria con biomasa sólida (verde), la producción bruta de electricidad con biomasa sólida (marrón) y el consumo de calor con biomasa sólida (rojo). España ocupa el puesto número 6 en materia de producción de energía a partir de la biomasa. Países como Suecia, avanzan hacia una sociedad sin petróleo, y con decidida incorporación del empleo de la energía de la biomasa.



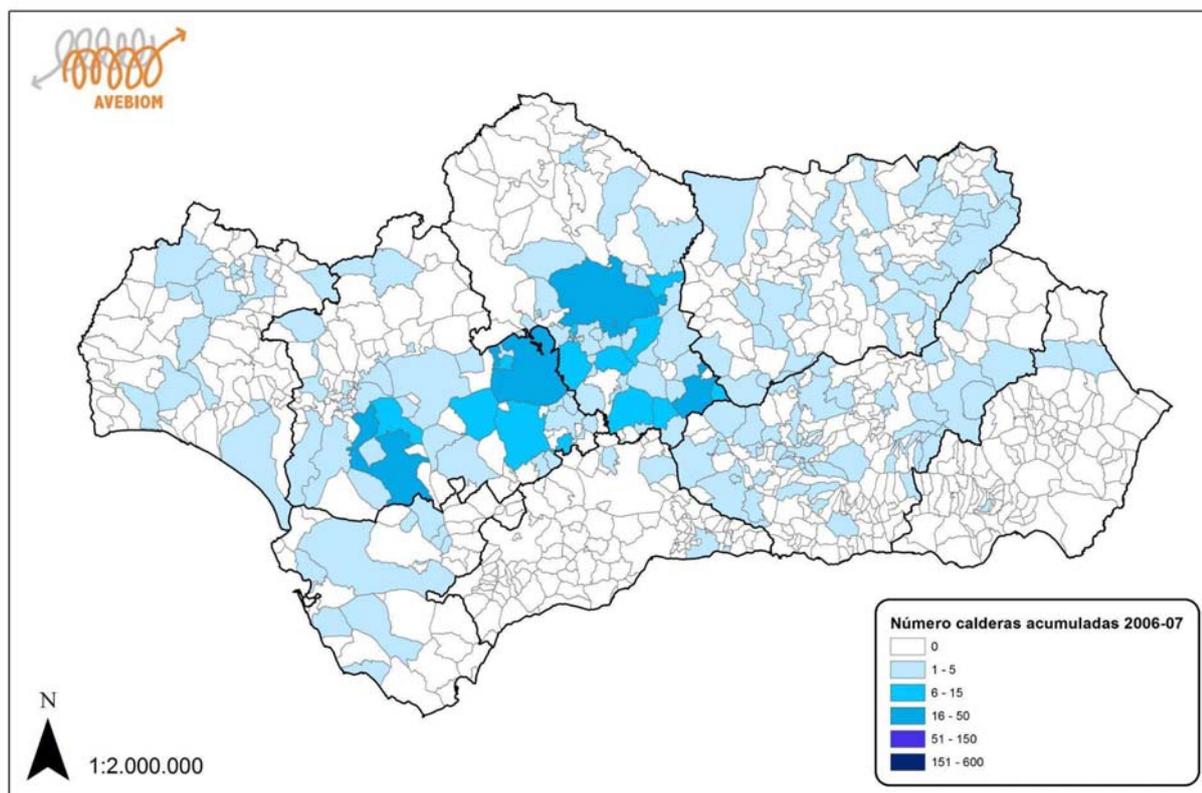
Gráfica 1. Evolución del abastecimiento de energía por sectores de producción en Suecia.

Fuente: Agencia Sueca de Energía.

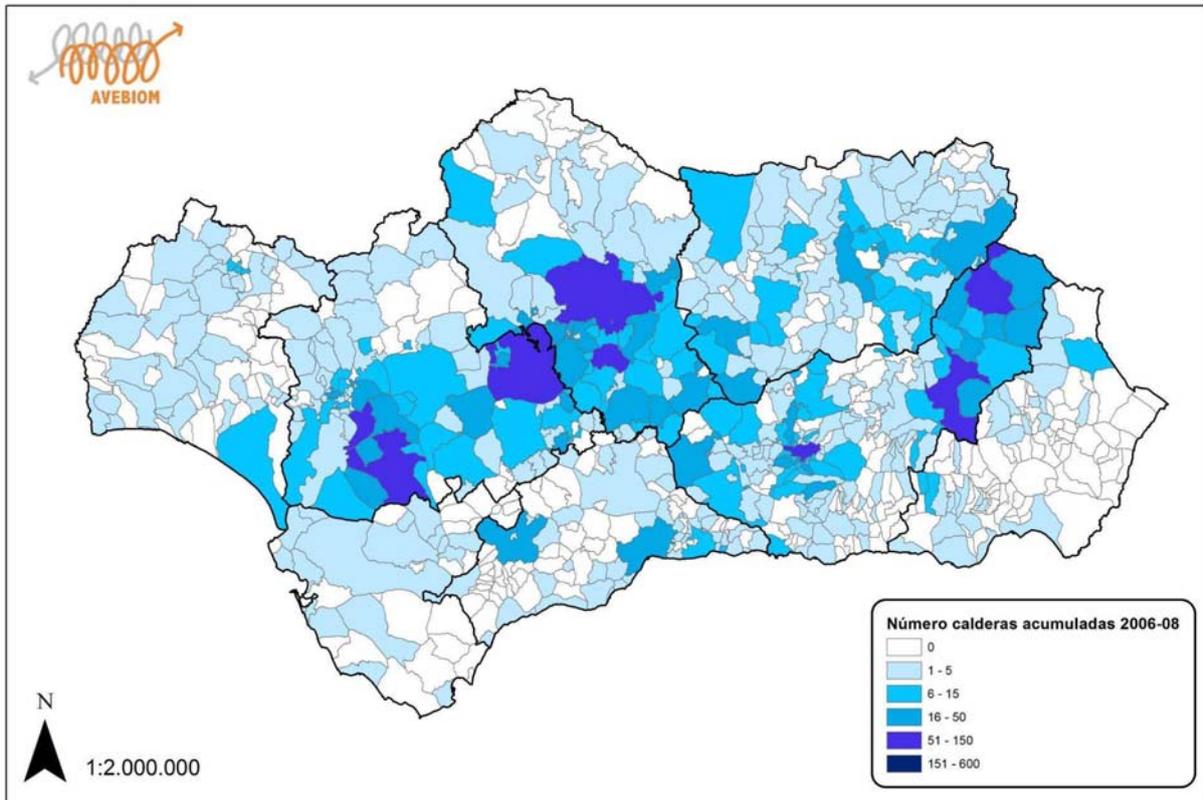
El 21 de Marzo de 2013, Día Forestal Mundial, se celebró la "Jornada sobre el Uso de la Biomasa Forestal en Andalucía con destino energético" (II Jornada sobre Biomasa"), organizada por la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. En ella se puso de manifiesto el magnífico potencial andaluz en este campo de las energías renovables. En dicha reunión se planteó la potencialidad de la biomasa de pino en Andalucía, teniendo en cuenta que hay grandes formaciones de sus diversas especies (*Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*). Resulta esencial conocer la biomasa y producción, y la capacidad de crecimiento en relación con variables ambientales, a escala regional y comarcal.

Andalucía tiene un gran potencial en biomasa, suficiente para abastecer el 22,5% del consumo de energía primaria (González Hereza, N., 2014).

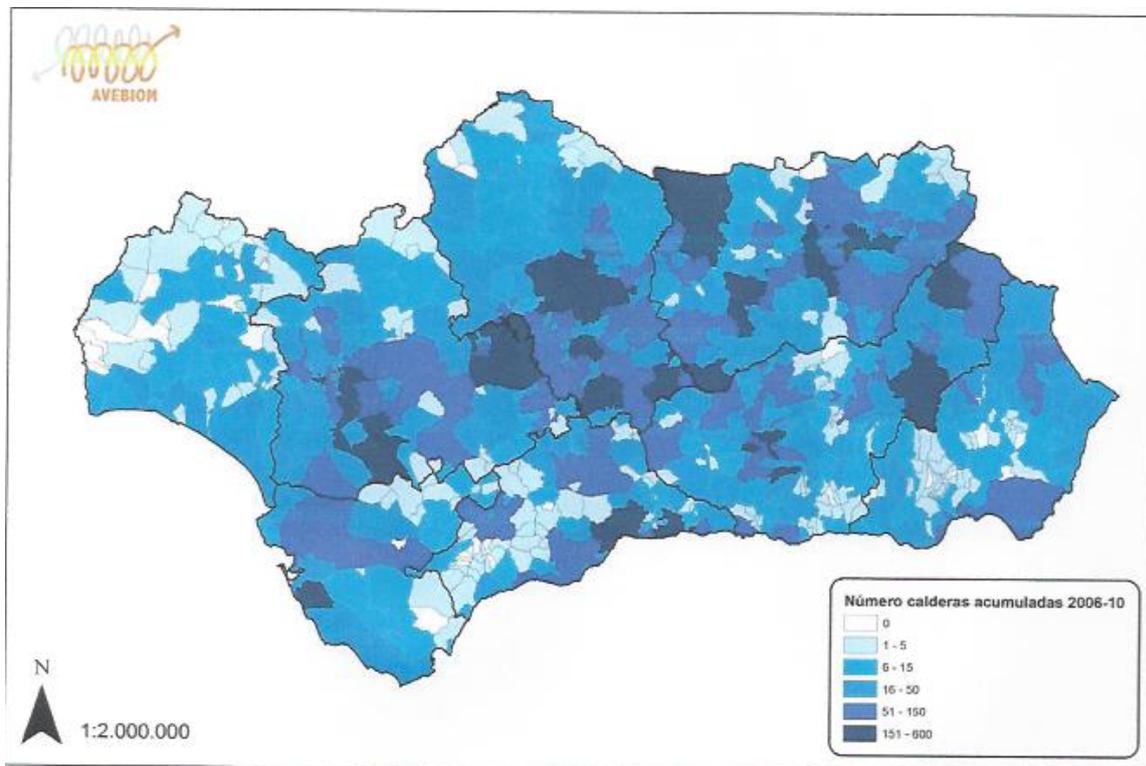
El mercado de la energía térmica en Andalucía representa una importante fuente sostenible de negocio. En relación con las calderas de biomasa el incremento ha sido muy notable entre 2006 y 2010, como podemos ver por los mapas mostrados a continuación.



Mapa 1. Número de calderas acumuladas en Andalucía entre 2006-2007. Fuente AAE.



Mapa 2. Número de calderas acumuladas en Andalucía entre 2006-2008. Fuente AAE.



Mapa 3. Número de calderas acumuladas en Andalucía entre 2006-2010. Fuente AAE.



Gráfica 2. Progresión del número de nuevas instalaciones de equipos de biomasa en Andalucía entre 2006-2010. Fuente AAE.

En Andalucía el mercado de la energía de la biomasa también ha mostrado un notable incremento entre 2006 y 2010, de acuerdo con el número de nuevas instalaciones de equipos de biomasa en la citada Comunidad Autónoma. Entre 2008 y 2010 se observa una gran aceleración pasando de 2633 en 2008 hasta 12029 en el año 2010.

El mercado de calderas térmicas en España no se considera un "mercado maduro" en comparación con países con una utilización más consolidada. Pero hay un gran potencial de acuerdo con los datos de Pablo Gosálvez Vega (Jornada sobre el Uso de la Biomasa Forestal en Andalucía con destino energético, 2013).

La producción de biomasa en España es de 150.000 t/año, lo que podría significar un consumo interno aproximado de 90.000 Tm/año, lo que implicaría potencialmente 103.600 Instalaciones/año, quizás unos 100 M€/ año.

En Andalucía podría ser determinante para el establecimiento de un modelo de Turismo Sostenible, así como en el marco deseable de un Desarrollo Rural Sostenible. España es la segunda potencia mundial en el sector turístico, con 13.430 establecimientos hoteleros (INE 2010) lo que implica un 6% del coste total, 50% usos térmicos en sector hotelero (+Refrigeración), lo que equivale al 4% del Consumo Total de Energía en España. En conjunto, el Sector Servicios representa el 9,3% del Consumo total de Energía en España. El

uso térmico en el sector residencial representa el 11,8% del Consumo Total de Energía en España.

En relación con lo anterior se puede establecer que en Andalucía el uso de la biomasa para la producción de energía, ya sea eléctrica, como térmica o para la producción de biocombustibles, está bastante desarrollado y ocupa el primer puesto en la producción de esta energía en España. Sin embargo, queda mucho camino por avanzar tanto en materia de optimización de procesos de conversión energética como en la puesta en marcha de planes que investiguen y desarrollen futuras fuente de biomasa, como son las de tercera y cuarta generación.

El principal tipo de biomasa que se puede encontrar en la Comunidad Autónoma de Andalucía es la procedente del olivar. Dicha biomasa se puede clasificar en orujo, orujillo y hueso de aceituna. Su aprovechamiento como biomasa está bastante consolidado y explotado ya que éstas van acompañadas de la industria de obtención del aceite de oliva y la aceituna de mesa. Por otro lado se encuentra la biomasa de la hoja del olivo y de la poda del olivar, cuyo aprovechamiento no está del todo explotado y aun existen quemadas incontroladas de este tipo de biomasa.

Otro grupo de biomasa muy abundante en Andalucía es la forestal, proveniente de los tratamientos de gestión y limpieza de las formaciones forestales. También hay que considerar los restos de la poda de los cultivos de algodón, girasol, arroz, frutales, tomate e invernaderos. La poda de parques y jardines urbanos también genera una biomasa aprovechable. Según la AAE, la biomasa disponible aún por aprovechar procedente de los tipos de cultivos citados y de la poda del olivar es lo suficientemente importante para ser considerada y seguir con la instalación de plantas de conversión energética que colaboren al desarrollo social y económico de la región, así como a las políticas de lucha contra el Cambio Climático.

2.1 Biomasa: tipos y propiedades

Los diferentes tipos de procedencia de la biomasa son los siguientes:

Residuos Ganaderos

Los residuos ganaderos son los producidos por los propios animales al usar la biomasa vegetal como alimento. Este tipo de residuo se incluye dentro del grupo de la biomasa animal, y puede ser originada por un animal vivo o uno muerto. En el primer caso, dan lugar a los estiércoles, purines o camas, y en el segundo, a los residuos de matadero. El aprovechamiento de estos residuos con fines energéticos necesita un tratamiento previo de descomposición de la materia orgánica en unas condiciones de operación específicas, y se obtiene lo que se conoce como biogás y que se utiliza como combustible.

Residuos urbanos

Son aquellos generados a partir de las actividades cotidianas del ser humano en el marco de las ciudades y municipios. Los residuos urbanos considerados son:

- Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU).
- Aguas residuales y lodos de depuradoras.
- Aceites vegetales usados.
- Residuos vegetales de parques y jardines.

Residuos industriales

Son aquellos residuos generados en industrias agrícolas y forestales. No todos son exactamente residuos sino subproductos o materias primas que se encuentran en aplicaciones en otras industrias. Algunos ejemplos son las arroceras con la cáscara de arroz, cerveceras, fábricas de muebles, residuos del vino, fábricas de pasta de papel, etc.

Residuos forestales

Estos residuos pueden dividirse en residuos de poda o residuos de corta. Los de poda provienen de los tratamientos silvícolas para el mantenimiento y mejora de los montes y masas forestales. De este modo se generan residuos como leñas, ramas y matorrales. Los de corta de pies se generan en la limpieza de los pies maderables. Aquí se podrían incluir los restos de podas de parques y jardines de los núcleos urbanos.

Residuos agrícolas

Se incluyen los residuos orgánicos y restos vegetales que se generan por los cultivos agrícolas directamente tanto en campo como en invernadero. Proviene de las podas de cultivos arbóreos, la paja y restos vegetales de cultivos.

La agricultura es una importante actividad económica y social de Andalucía, y su papel resulta esencial para el desarrollo de la región como actividad productiva. Si, como complemento, se pueden aprovechar los desechos de ésta, tendrá todavía más peso en nuestra sociedad. Las aportaciones que puedan hacerse al Desarrollo Rural Sostenible son importantes para frenar la endémica emigración del campo a la ciudad, con los problemas que genera de abandono de zonas rurales, y, en muchos casos, crecimiento no sostenible de las ciudades. Los cultivos más predominantes en la comunidad son, principalmente, algodón, girasol, tomate, invernaderos, vid, tropical, cítrico, frutal, arroz y, sobre todo, el olivar.

GENERACIÓN DE BIOMASA EN ACTIVIDADES FORESTALES Y AGRÍCOLAS				
Recurso	Proceso regenerador		Residuos	Destino
Residuos forestales	Tratamientos selvícolas (entresacas, clareos, podas)		Pies no maderables, ramas, matorrales...	Combustibles
	Cortas de pies maderables		Copas, ramas, rabeón...	Combustibles, industrias de la madera
	Podas de cultivos leñosos		Restos de podas, ramas, ramones	Alimentación animal, combustibles fertilizantes
Residuos agrícolas		Industriales (algodón, tabaco, oleaginosas...)	Plantas verdes, tallos, otros restos...	Alimentación animal, combustibles fertilizantes
	Restos de cultivos herbáceos	Cereales de invierno (trigo, cebada...)	Pajas	Alimentación animal, camas de ganado, combustibles
		Cereales de primavera (maíz, sorgo...)	Tallos, zuros, cascarillas	Alimentación animal, combustibles

Fuente: La Enciclopedia del Medio Ambiente Urbano

Tabla 1. Generación de biomasa en actividades forestales y agrícolas. Fuente: Enciclopedia del Medio Ambiente Urbano 2012.

Cultivos energéticos

Son cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de energía. Tienen gran productividad de biomasa ya que son bastante resistentes a la sequía, a las enfermedades, muestran vigor, precocidad de crecimiento, capacidad de rebrote y adaptación a terrenos marginales. También deben cumplir aspectos como no contribuir a la degradación del Medio Ambiente, tener un balance energético positivo, posibilidad de poder recuperar fácilmente las tierras después de finalizar el cultivo, etc.

En función de la naturaleza del cultivo (herbáceo o leñoso), del ciclo del cultivo (anual o plurianual) y del tipo de aprovechamiento energético, los podemos clasificar en:

- *Cultivos oleaginosos*: son un conjunto de ésteres metílicos o etílicos de los ácidos grasos de los aceites vegetales. Algunos ejemplos son el girasol, la colza, la soja y la palma.
- *Cultivos alcoholígenos*: Podemos destacar la remolacha y la caña de azúcar.
- *Cultivos lignocelulósicos*: Son especies leñosas cultivadas en alta densidad y corta rotación como eucaliptos, acacias o chopos y especies herbáceas de alta producción como el cardo de la especie *Cynara cardunculus*.

2.2 Capacidad de Biomasa en Andalucía

Gracias a las evaluaciones realizadas por la Agencia Andaluza de la Energía, perteneciente a la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo de la Junta de Andalucía, es posible conocer el potencial de biomasa existente en nuestra Comunidad Autónoma, a diferentes niveles (municipal, comarcal, provincial y regional) para cada tipo de biomasa. A lo largo de la anterior década se han ido actualizando y ampliando los registros oficiales que permiten conocer con adecuado detalle las cantidades de biomasa que se generan. En la *Tabla 2* se recoge el potencial total por provincias en Andalucía en 2011. El total de producción de toneladas de biomasa en Andalucía son 20159,199; el porcentaje de producción más elevado corresponde a la provincia de Sevilla (23%), seguida muy de cerca por la provincia de Jaén (22%). El resto de las provincias muestran menores porcentajes de producción entre el 4 y el 16%, que corresponde a Córdoba. El mayor potencial de producción de estas provincias es debido a su localización en la cuenca del río Guadalquivir, que constituye un importante eje económico y social de Andalucía, con tierras más fértiles y facilidades para el regadío.

Principalmente hay que destacar la importancia del olivar en las provincias de Jaén y Córdoba, especialmente en la primera, no solo como biomasa lignocelulósica, sino también como biomasa procedente de la propia industria del olivar, es decir, del aceite de oliva y de la aceituna de mesa.

	TOTAL PROVINCIAL		
	TONELADAS	KTEP	%
ALMERÍA	1,337,052	148	4%
CADIZ	1,831,423	314	8%
CÓRDOBA	3,012,933	631	16%
GRANADA	1,954,756	373	9%
HUELVA	1,924,053	402	10%
JAEN	4,026,057	884	22%
MÁLAGA	1,849,463	310	8%
SEVILLA	4,223,461	896	23%
ANDALUCIA	20,159,199	3,958	100%

Tabla 2 “Potencial total de biomasa en Andalucía”. AAE. 2011.

Esta información se ve ampliada en el *Anexo 1 Potencial de Biomasa en Andalucía, 2011*.

Como ya se ha expuesto, las provincias con mayor producción de biomasa son Jaén y Sevilla, pudiendo generar, respectivamente, 884 y 896 ktep. En relación con el ámbito agrícola e industrial, el potencial de producción de Jaén es superior al de Sevilla (Tabla 3).

	Toneladas (agrícola)	Toneladas (industrial)
Jaén	1,260,517	2,019,325
Sevilla	1,163,209	638,228

Tabla 3. Potencial de producción de biomasa de Sevilla y Jaén. Elaboración propia a partir de datos de la AAE.

2.3 Equipamiento coetáneo de biomasa

Andalucía produce el 40% de la potencia instalada a partir de biomasa en España. Esta potencia contempla tanto generación de energía eléctrica como térmica. En total hay instalados unos 257,48 MW repartidos en 18 plantas y unos 26,27 MW en 16 plantas de biogás. En la Tabla 4 “*Plantas de biomasa en funcionamiento para la generación eléctrica*” se encuentran detalladas estas dieciocho plantas y como se puede observar, la mayor parte de éstas usan el orujo y el orujillo para la generación de la energía eléctrica.

Tal como aparece en la Tabla 4, la mayoría de estas centrales están situadas en las provincias de Córdoba y Jaén, debido al predominio del cultivo del olivar.

Respecto a la generación eléctrica con biogás la mayor parte de ésta proviene de centrales que aprovechan los RSU con 19,61 MW y en menor medida de estaciones EDAR con 6,66 MW, todas ellas localizadas en capitales de provincia.

También es interesante mencionar las instalaciones de biomasa para uso térmico con una potencia térmica instalada de 1.554,84 MW; ésta contempla aquellas instalaciones tanto industriales como domésticas y a la cabeza se encuentran las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla.

Por último hay que añadir la fabricación de pellets con una producción de 41,20 ktep/año, repartida en plantas situadas en las provincias de Jaén, Córdoba y Granada. Además de la fabricación de biocarburantes, con diez plantas de biodiesel y dos de ETBE (Etil TerButil-Éter), con una producción de 995 ktep/año.

CENTRAL Biomasa/Cog.	POTENCIA (MW)	TIPO BIOMASA	LOCALIDAD	PROVINCIA	PUESTA MARCHA	TIPO CENTRAL
Albaida Recursos Naturales 1	1.7	Restos invernaderos	Nijar	Almería	2004	Generación
Agroenergética Baena	25	Orujo	Baena	Córdoba	2002	Cogener.
Bioenergética Egabrense	8	Orujillo	Cabra	Córdoba	2006	Generación
Severaes	0.1	Poda de Olivo	Cañete de las Torres	Córdoba	209	Generación
Bioenergética Santamaría	14.3	Orujillo	Lucena	Córdoba	2006	Generación
Agroenergética Palenciana (2)	5.37	Orujo	Palenciana	Córdoba	2007	Cogener.
El Tejar Autogeneración	5.65	Orujo	Palenciana	Córdoba	1999	Cogener.
Vetejar	12.9	Orujo	Palenciana	Córdoba	2000	Generación
Biomasa Puente Genil	9.82	Orujillo,poda, CE	Puente Genil	Córdoba	2006	Generación
Ence I	40.95	Madera	San Juan del Puerto	Huelva	2009	Generación
Ence II	27.50	Madera	San Juan del Puerto	Huelva	2009	Cogener.
ENCE Biomasa	50.00	Restos madera y CE	San Juan del Puerto	Huelva	2012	Generación
Tradema	2	Madera	Linares	Jaén	2001	Cogener.
Bionenergética Linares	15	Orujillo, residuos agrícolas, forestales, CE	Linares	Jaén	2009	Generación
La Loma	16	Orujillo	Villanueva de Arzobispo	Jaén	2002	Generación
Aldebarán Energía del Guadalquivir	6	Poda de Olivo,residuos forestales	Andújar	Jaén	2010	Generación
Fuente de Piedra	8.04	Orujillo	Fuente de Piedra	Málaga	2004	Generación
Extragol	9.15	Orujillo,poda, CE	Villanueva de Algaidas	Málaga	2003	Generación
TOTAL MW	257.48					

Tabla 4. Plantas de biomasa en funcionamiento para la generación eléctrica. AAE. 2013

3. DESIGNACIÓN DE LA UBICACIÓN EN LA PROVINCIA DE JAÉN DE UNA PLANTA DE BIOMASA

3.1 Material y origen de la información

La determinación de un emplazamiento adecuado para una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa no se basa simplemente en elegir aquellos lugares con mayor disponibilidad de recursos. Para la búsqueda de un lugar apropiado se han de tener en cuenta un conjunto de factores que permitan establecer el lugar más idóneo en el marco de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

La cantidad de biomasa disponible es el principal factor, pero también se ha de tener en cuenta otros aspectos como, por ejemplo, la topografía del terreno, la accesibilidad (carreteras y caminos), así como agentes sociales interesados en la zona. Resulta también esencial tener en cuenta las poblaciones más adecuadas en las que podemos situar la planta considerando tanto sus infraestructuras como su tamaño.

Para realizar la toma de decisión acerca del emplazamiento se han empleado bases de datos oficiales con empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Así, se han utilizado datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE), de las aplicaciones Bioraise (CIEMAT) y Bionline (IDAE) de biomasa disponible en toda la Comunidad Autónoma. La metodología seguida comienza con una evaluación general de la situación en Andalucía que nos ha llevado a la recopilación de información relativa a la provincia de Jaén especialmente por su uso territorial de olivo hasta detectar un enclave en la misma que se considere apropiado.

La mayor parte de la información recopilada procede de las bases de datos de la Junta de Andalucía, aunque se han utilizado también otras fuentes, que se indican a continuación:

- Mapa de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía a escala 1:25.000 Nivel reconocimiento y Nivel detalle (2007), de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (actualmente Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio). Facilita identificar el uso de las superficies del terreno objeto de estudio.
- Mapas de Potencial de Biomasa en Andalucía de la AAE.
- Mapa de Infraestructuras energéticas de Andalucía. AAE.
- Bases de datos de Potencial de Biomasa en Andalucía de la AAE.

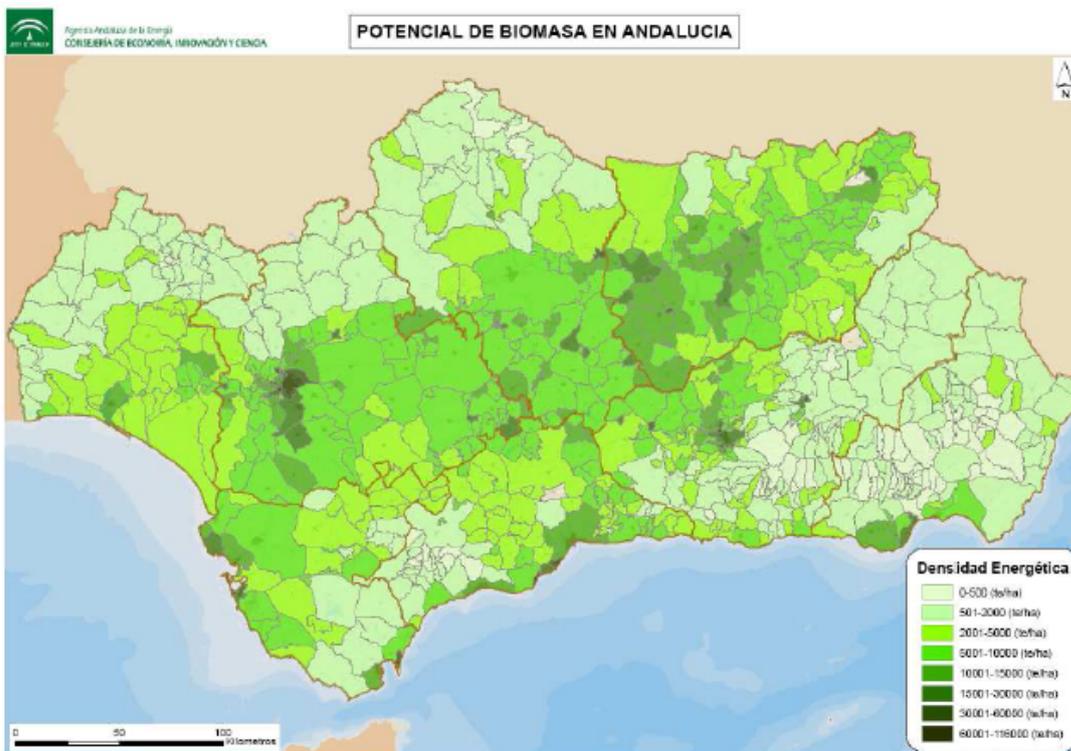
- Bioraise (CIEMAT): Esta aplicación nos permite evaluar los recursos de biomasa agrícola y forestal en España, Portugal, Francia, Italia y Grecia.
- Bionline (IDAE): Herramienta para el cálculo de biomasa forestal on-line en España.
- Aplicación para soporte de GIS “GOOGLE EARTH” (®) 2013 Google).
- Mapa REPSOL de la red de carreteras de España.
- Mapa de la Provincia de Jaén, Diputación de Jaén, Junta de Andalucía.

3.2 Procedimiento de asignación del enclave

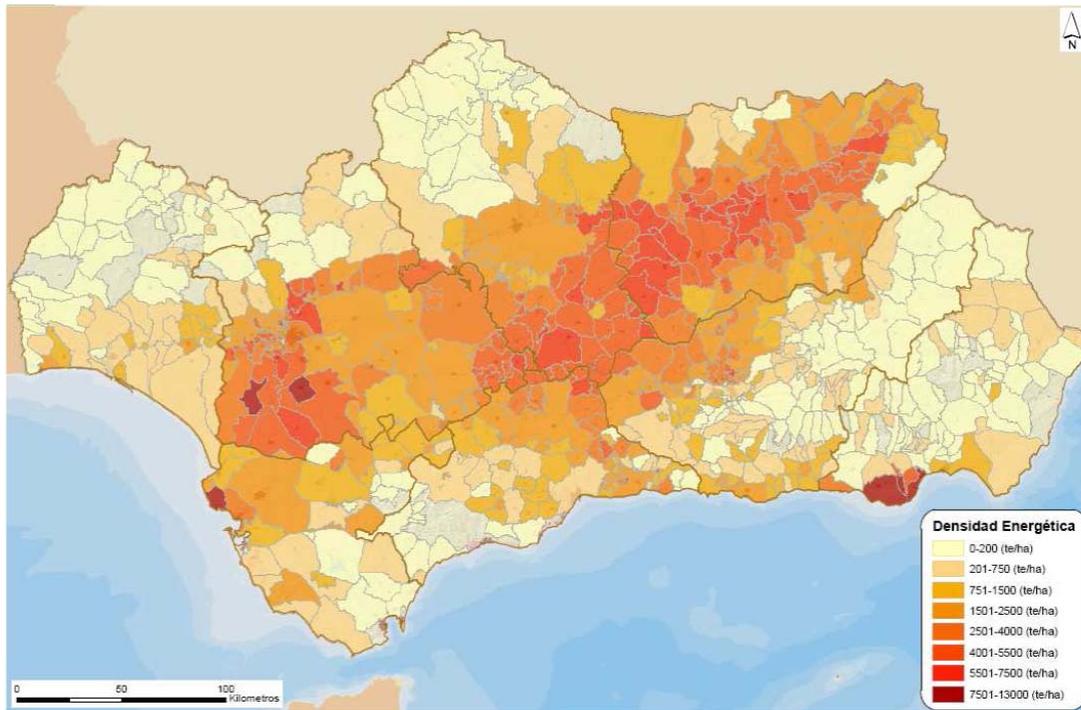
Son varios los factores que se han de tener en cuenta para la elección de una zona recomendable, en el marco territorial de la provincia de Jaén, para la implantación de una planta de biomasa para la generación de energía eléctrica.

A continuación se detallan los pasos que se han seguido para su elección:

1. Establecimiento de áreas con mayor densidad energética: Partiendo de los mapas de Potencial de Biomasa en Andalucía se ha podido observar cuales son aquellas zonas geográficas que disponen de mayor densidad potencial energética. (Mapa 4).



Mapa 4. Potencial de biomasa en Andalucía. Fuente AAE. 2011



Mapa 5. Potencial de Residuos Agrícolas en Andalucía. Fuente. AAE. 2011.

En el Mapa 4, la zona con mayor potencial de biomasa total se encuentra en la cuenca del río Guadalquivir y más concretamente en la provincia de Jaén. También se observa en el Mapa 5 que las zonas con mayor potencial en residuos agrícolas son: la cuenca del Guadalquivir, predominando la provincia de Jaén, una zona en la provincia de Córdoba y por último la parte suroeste de la provincia de Sevilla. Aparte de éstas zonas sólo se podría destacar la zona de El Ejido en Almería y una pequeña área en la desembocadura del río Guadalete en la provincia de Cádiz. Se puede concluir en este apartado que la mayor densidad energética aparece en la provincia de Jaén.

2. Determinación de valores energéticos de cada zona: En este apartado se cuantifica la información gráfica del paso anterior con datos obtenidos de la base de datos de la Agencia Andaluza de la Energía, en relación con el Potencial de Biomasa en Andalucía. El análisis de la Tabla 5 presentada a continuación nos permite establecer que la provincia de Jaén es la que ofrece mejores prestaciones energéticas para el establecimiento de la planta de biomasa.

	TOTAL PROVINCIAL			RESIDUOS AGRICOLAS	
	TONELADAS	KTEP	%	TONELADAS	KTEP
ALMERÍA	1,337,052	148	4%	420,323	55
CADIZ	1,831,423	314	8%	251,913	73
CÓRDOBA	3,012,933	631	16%	764,218	237
GRANADA	1,954,756	373	9%	343,500	99
HUELVA	1,924,053	402	10%	122,125	27
JAEN	4,026,057	884	22%	1,260,517	400
MÁLAGA	1,849,463	310	8%	280,617	84
SEVILLA	4,223,461	896	23%	1,163,209	346
ANDALUCÍA	20,159,199	3,958	100%	4,606,423	1,321

Tabla 5. Energía en Andalucía. Fuente AAE.

3. Información sobre plantas de biomasa existentes o en fase de proyecto, así como de fabricación de pellets. Instalaciones en funcionamiento o en fase de proyecto de plantas de biomasa, así como empresas de fabricación de pellets, es un factor que se ha de tener en cuenta para que no existan variaciones en el abastecimiento de la biomasa disponible. Cuando se elige la localización de una planta de biomasa, ésta se realiza de acuerdo a la biomasa disponible en un área determinada, por tanto, el área diseñada para la recogida de biomasa de una nueva planta no debería interferir en el área de abastecimiento de otra planta. Para ello, se ha utilizado la información que nos ofrece la Agencia Andaluza de la Energía. En la Tabla 4 “Plantas de biomasa en funcionamiento para la generación eléctrica” se indican las plantas de biomasa ya implantadas y en la Tabla 6 “Fabricación de pellets en Andalucía” se señala la situación de este otro tipo de plantas y como se puede comprobar la mayor parte de ellas se encuentran en Jaén y en Córdoba. A pesar de que la gran mayoría de estas instalaciones se localizan en estas dos provincias, sigue siendo recomendable ubicar en Jaén la planta de biomasa debido al excedente de recursos que sigue habiendo.

NOMBRE	LOCALIDAD	PROVINCIA	PRODUCCIÓN <i>Ktep/año</i>	PUESTA MARCHA
<u>Marchena</u> Energía Renovable	Alcolea	Córdoba	0.8	2011
Reciclados Lucena	Lucena	Córdoba	3.20	2004
Energía Oriental	<u>Moclin</u>	Granada	8	2008
Magina Energía	Mancha Real	Jaén	8.80	2008
Renovables <u>Biocazorla</u>	Cazorla	Jaén	12.00	2008
SCA <u>ntro Padre Jesús</u>	Jabalquinto	Jaén	2.40	2009
Aprovechamientos energéticos del campo	<u>Aldeaquemada</u>	Jaén	6.00	2011
Total			41.20	

Tabla 6. Empresas de fabricación de pellets en Andalucía. Fuente AAE. 2013.

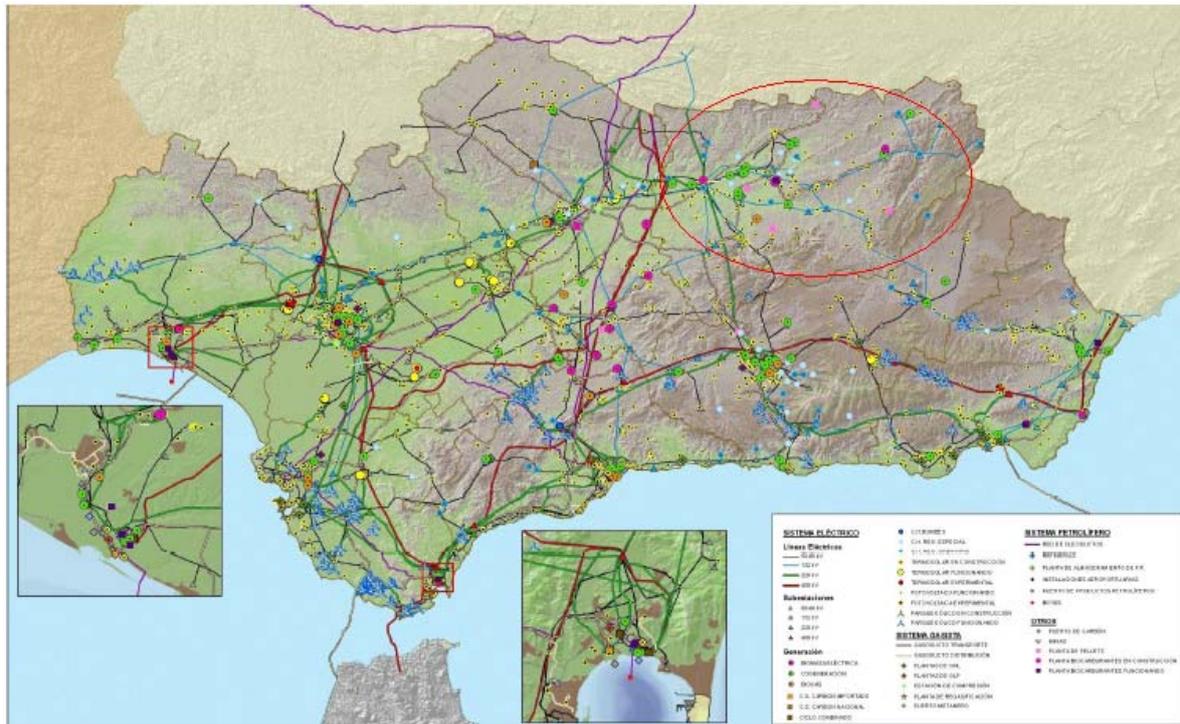
Además se ha buscado información sobre posibles plantas que estén en proceso de montaje y en breve se encontrarán funcionando, en Jaén, por ejemplo la planta de biomasa de Torredonjimeno

Enlace: <http://www.gestampbiomass.com/en/business/innovating-projects/torredonjimeno>)

Las zonas con mayor potencial disponen ya de plantas de biomasa en sus proximidades, por ello es necesario estudiar con detalle si hay alguna zona por explotar dentro de éstas o habrá que buscar la implantación fuera de ellas para cubrir adecuadamente el territorio.

4. Mapa de infraestructuras energéticas y mapa de usos de suelo: si se quisiera realizar una planta de biomasa que funcione también con sistema auxiliar de gas natural como apoyo o que funcione con éste en aquellos momentos en los que no se disponga de biomasa se han de considerar aquellas poblaciones con abastecimiento de gas natural. Para ello se ha analizado el mapa de infraestructuras energéticas de Andalucía 2012 que nos ofrece la Agencia Andaluza de la Energía en su página web.

(<http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/documentacion/material-cartografico/mapa-de-infraestructuras-energeticas-de-andalucia-2012>).



Mapa 6. Infraestructuras energéticas de Andalucía (MIEA). Fuente AAE.

Provincia	Municipio	Nº Habitantes (Padrón 2012)	Empresa Distribuidora	Año inicio actividad	Combustible (actual)
Jaén	Alcalá la Real	22870	ENDESA GAS DISTRIBUCION	2003	GN Canalizado
Jaén	Andújar	39008	ENDESA GAS DISTRIBUCION	1998	GN Canalizado
Jaén	Baeza	16535	ENDESA GAS DISTRIBUCION	2007	GN Canalizado
Jaén	Bailén	18725	ENDESA GAS DISTRIBUCION	1999	GN Canalizado
Jaén	Carolina (La)	15945	ENDESA GAS DISTRIBUCION	2006	GN Canalizado
Jaén	Guardia de Jaén (La)	4551	GAS NATURAL ANDALUCIA	2006	GN Canalizado
Jaén	Jaén	116731	GAS NATURAL ANDALUCIA	1996	GN Canalizado
Jaén	Linares	60950	ENDESA GAS DISTRIBUCION	1998	GN Canalizado
Jaén	Martos	24547	ENDESA GAS DISTRIBUCION	1998	GN Canalizado
Jaén	Mengibar	9908	ENDESA GAS DISTRIBUCION	2011	GN Canalizado
Jaén	Torre del Campo	14690	ENDESA GAS DISTRIBUCION	2005	GN Canalizado
Jaén	Torredonjimeno	14126	ENDESA GAS DISTRIBUCION	2005	GN Canalizado
Jaén	Úbeda	35784	ENDESA GAS DISTRIBUCION	2008	GN Canalizado
Jaén	Vilches	4831	GAS NATURAL ANDALUCIA	2001	GN Canalizado Industrial
Jaén	Villanueva de la Reina	3358	GAS NATURAL ANDALUCIA	1998	GN Canalizado Industrial
Total Jaén:	15	402.559			

Tabla 7. Municipios con disposición de gas en Jaén. Fuente AAE.

Del análisis del mapa de infraestructuras y de la tabla de municipios con disposición de gas se puede apreciar que Jaén es un buen enclave con apoyo de infraestructura de gas.

También se han utilizado los Mapas de Usos de Suelo de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía para determinar, el tipo de cultivo, las áreas ocupadas por los núcleos urbanos y para la localización de carreteras que faciliten el abastecimiento de materia prima a una planta.

5. Elección de una zona clave: en este apartado se determina cuál puede ser una zona adecuada para la localización de una planta de biomasa en la provincia de Jaén, en relación con el escenario energético existente actualmente en dicha provincia y con las indicaciones establecidas en los epígrafes anteriores. Prácticamente, toda la provincia de Jaén resulta idónea, pero vamos a estudiar algunos criterios para ver cuales son las 3 zonas más aconsejables.

Para la elección del lugar, primero establecemos tres municipios con características parecidas y ubicación distinta y, posteriormente, vamos a compararlos entre sí con distintos criterios para ver cuál es la localidad que más se acerca a nuestros intereses y conseguir, así, conocer el sitio en el que situar la planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa.

Los lugares escogidos son tres municipios de la provincia de Jaén:

- Arjona, zona Oeste de la provincia.
- Puente del Obispo, zona centro.
- Puente de Génave, Este de Jaén.

4. ESTABLECIMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE BIOMASA

4.1 Superficie disponible de biomasa

La selección de aquella superficie de influencia de la planta que integrará la máxima biomasa disponible para la misma se ha obtenido de datos de fuentes oficiales. La elección del área de recogida de la materia prima para la planta en cuestión tendrá influencia en la eficiencia de la misma. El coste en combustible empleado para el transporte de la biomasa desde su origen hasta el punto de aprovechamiento dependerá del precio del combustible, de la distancia recorrida y de la complicación de la zona para el transporte (tipos de carreteras, topografía, cruce de cascos urbanos).

Los límites más apropiados para la selección de un área de recogida de biomasa se encuentran entre 10 y 20 km de radio, considerando 15 km como un valor medio apropiado y 20 km como un valor de riesgo si las condiciones de transporte no son lo suficientemente favorables.

En el caso de la propuesta de planta que nos ocupa se debe establecer un área de radio de 15 km, debido a la existencia de otras plantas y para no entrar en competencia por el material energético, considerando el centro el punto de localización de la planta de biomasa, aunque el límite no será exacto ya que las características territoriales marcarán unos límites físicos reales.

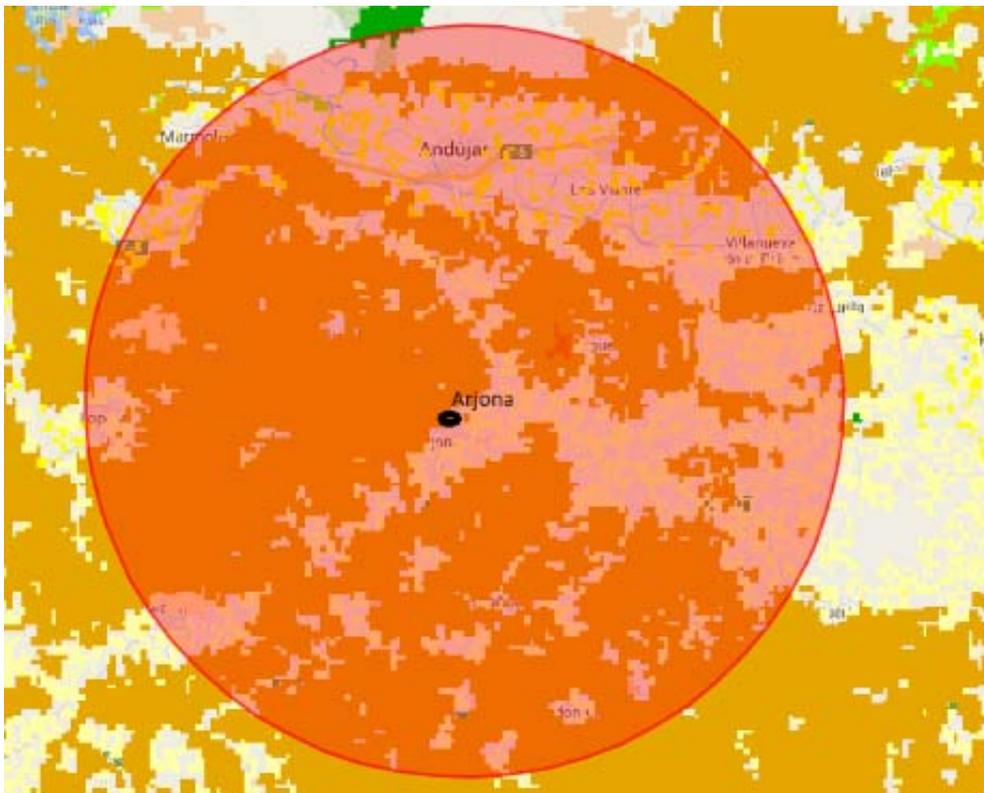
Se exponen, a continuación, los criterios secuenciales que se han establecido para la determinación del área de biomasa disponible:

1. Establecimiento del radio de acción. Se ha establecido un radio de acción en cada zona de 15 km como hemos indicado en el párrafo anterior. Este radio permite mostrar una superficie suficientemente válida para la obtención del material necesario para el funcionamiento de la planta que se pretende implantar.

El primer criterio empleado ha sido conocer los usos y coberturas de suelo, para ello hemos cargado los Mapas de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía (2007), de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio en la aplicación “GOOGLE EARTH”^(R) 2014 Google) de cada zona propuesta y a continuación se ha dibujado un círculo de 15 km de radio marcando como centro la planta de biomasa en su ubicación prevista. En estos mapas se pueden diferenciar los diferentes tipos de cobertura suministrando una importante ayuda para establecer los límites definitivos. Se han utilizado,

además, los Mapas de Biomasa agrícola y forestal disponibles, para conocer las industrias relativas al tema y el potencial en la zona indicada, a través de la aplicación BIORAISE (IDAE).

2.- Diferenciación de biomasa agrícola y forestal. En cada zona elegida establecemos los mapas de biomasa agrícola y forestal para su posterior comparación. Mediante estos mapas podemos analizar la biomasa potencial utilizable en cada lugar. El color naranja que aparece en el interior del círculo delimitado corresponde a biomasa agrícola, mientras que el color verde nos indica la forestal. En relación con la biomasa agrícola los datos que se discuten a continuación se refieren a cultivos de olivar debido a que predomina sobremanera por encima de los demás.



Mapa 7. Biomasa agrícola y forestal en un radio de 15 km en Arjona.

El primer dato que necesitamos es la superficie de olivar de las zonas delimitadas:

- Arjona: 56.448 hectáreas.
- Puente de Génave: 27.989,81 hectáreas.
- Puente del Obispo: 56.743,84 hectáreas.

A continuación, en relación con las superficies indicadas se realiza una estima indicadora de densidad energética en cada ubicación que nos conduce al valor total de toneladas equivalentes por zona.

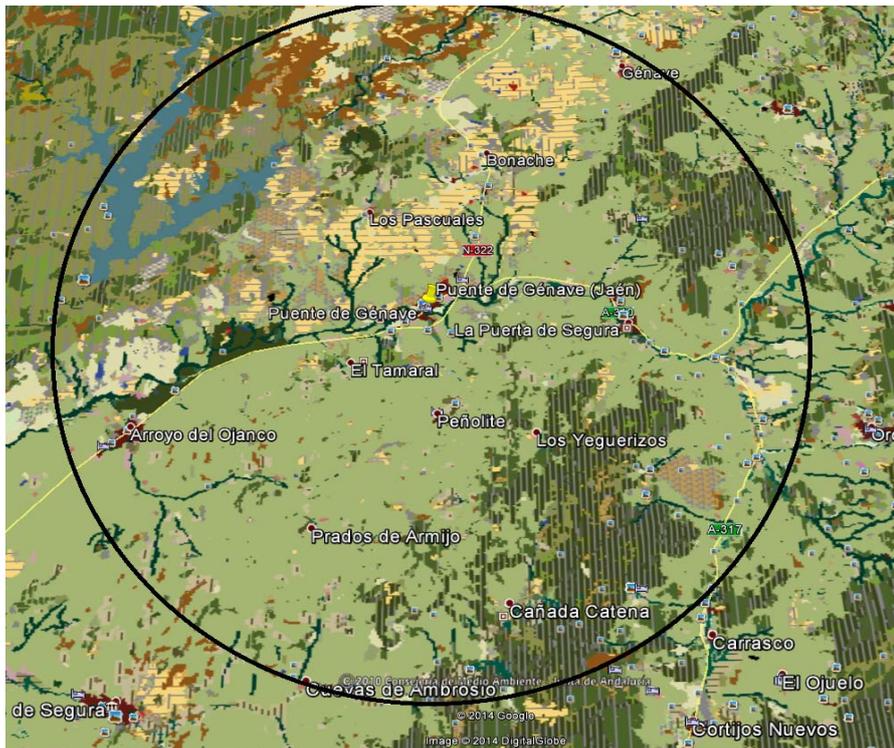
	Hectáreas olivar (15km radio)	Intervalo densidad energética (te/ha)	Intervalo densidad energética referido a hectáreas de olivar
Arjona	56.448	30.001-60.000	1.693.488.896,74-3.386.864.898
Puente de Génave	27.989,81	30.001-60.000	839.722.424,81- 1.679.388.870
Puente del Obispo	56.743,84	30.001-60.000	1.702.371.922,83- 3.404.630.358

Tabla 7. Hectáreas y densidad energética en un radio de 15 km de los municipios a estudiar. Elaboración propia a partir de datos de la AAE.

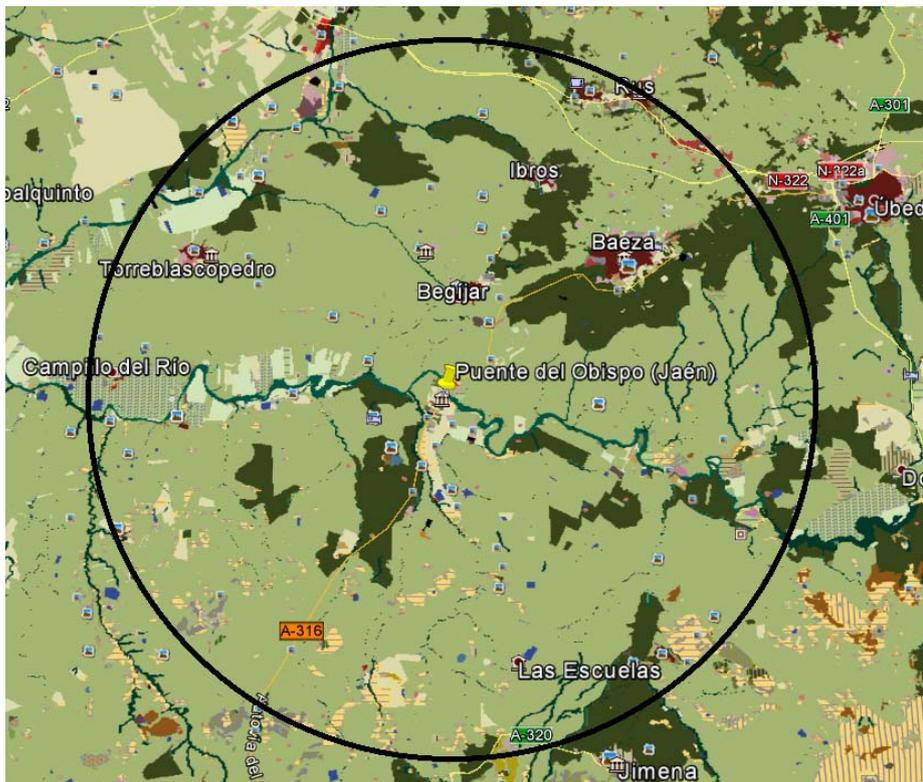
3.- Caracterización de usos y coberturas del suelo. El análisis que realizamos a continuación nos permite conocer otras fuentes alternativas de biomasa comparando los distintos usos productores de biomasa de cada zona de estudio.



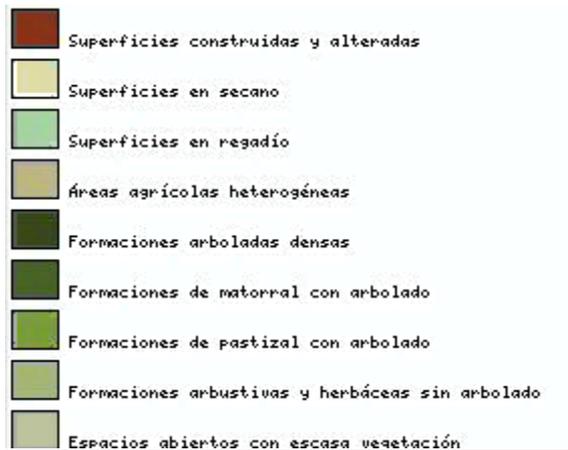
Mapa 10. Usos y cobertura del suelo en Arjona (radio 15 km).



Mapa 11. Usos y cobertura del suelo en Puente de Génave (radio 15 km).

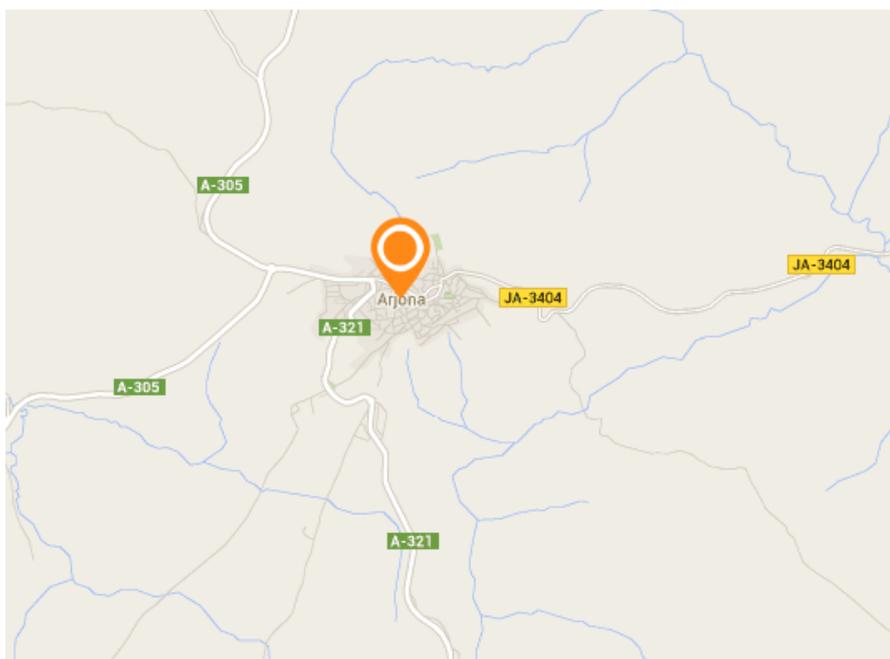


Mapa 12. Usos y cobertura del suelo en Puente del Obispo (radio 15 km).

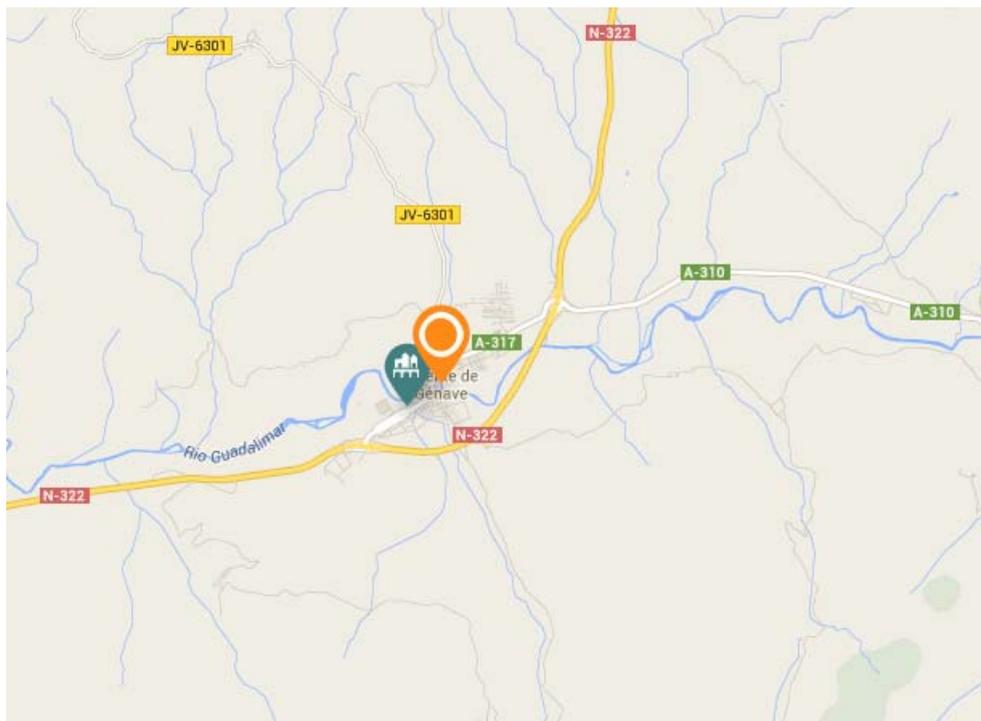


En el caso de Arjona aparecen formaciones arboladas densas y formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado. En Puente de Génave tenemos formaciones arboladas densas, formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado, y formaciones en secano. Por último, en Puente del Obispo observamos más formaciones forestales dispersas junto con formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado. Lo cual podría permitir en el primer emplazamiento un mayor uso de otras fuentes alternativas de biomasa para la planta prevista.

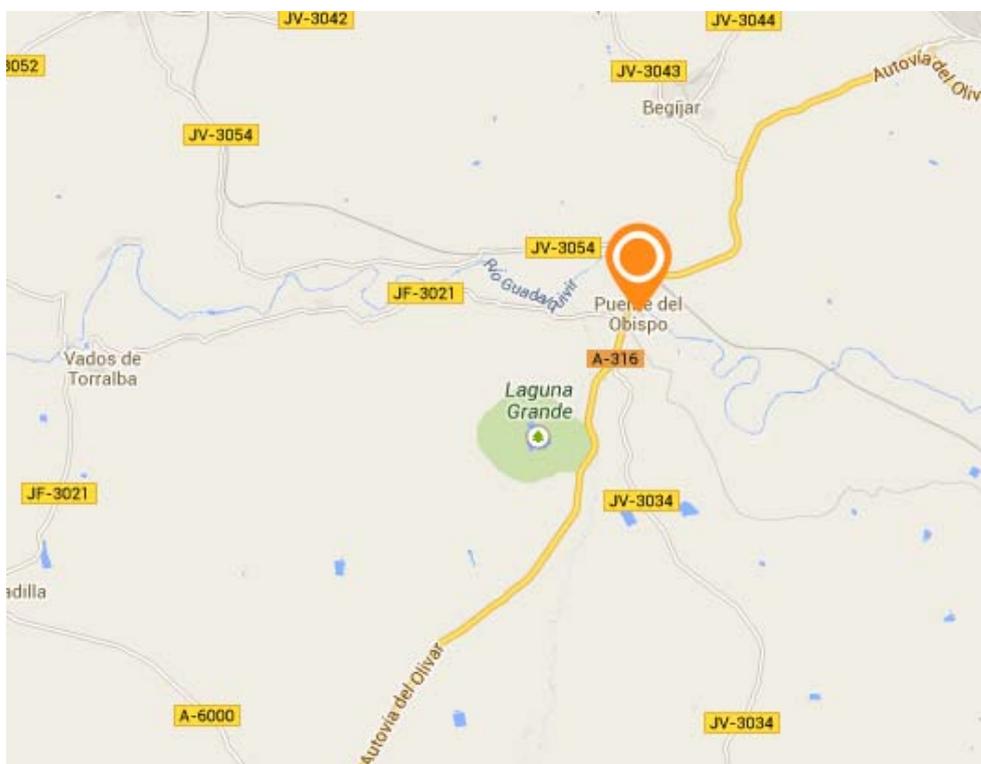
4.- Determinación de las redes de comunicación. Se compara la red de carreteras de cada una de las zonas con el fin de analizar las facilidades de acceso desde las zonas de producción de biomasa a la planta de producción de energía



Mapa 13. Redes de comunicación en Arjona.



Mapa 14. Redes de comunicación en Puente de Génave.



Mapa 13. Redes de comunicación en Puente del Obispo.

La zona delimitada para Arjona tiene las siguientes vías de comunicación: A-321, A-305 y JA-3404. En el caso de Puente de Génave tiene como principales accesos la carretera N-322, JV-6301, A-310 y A-317. Finalmente en Puente del Obispo la red viaria está constituida por la A-316, JV-3054, JV-3021, JV-3034, JV-3043 y JV-3044.

5.- Coste de transporte y de recursos disponibles. Para establecer la ubicación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa resulta interesante conocer los costes de transporte asociados a la materia prima necesaria y también el volumen de recursos disponibles.

En relación con los recursos disponibles de olivar (en t m.s./año), las zonas previamente delimitadas rinden los siguientes resultados:

- Arjona: 57.840,74 en 50.737,50 hectáreas.
- Puente de Génave: 33.772,49 en 29.625 hectáreas.
- Puente del Obispo: 49.433,24 en 43.362,50 hectáreas.

El coste medio de recolección es idéntico en las tres zonas (37,91 euros/t m.s.) variando un poco el valor de los costes de transporte.

Recursos en t m.s./año Costes en €/t m.s. t m.s. (toneladas de materia seca)

Datos de partida: Lat. : 37,936007 Lng. : -4,062023 Radio : 15 Km

	Recursos potenciales (t m.s./año)	Recursos disponibles (t m.s./año)	Coste medio recolección (€/t m.s.)	Superficie de recursos disponibles (ha)
<i>Secano</i>	19.326,75	8.295,50	26,91	8.825,00
<i>Regadío</i>	5.244,00	4.196,62	11,94	712,50
<i>Viñedo</i>	168,62	135,37	37,91	118,75
<i>Olivar</i>	72.554,62	57.840,74	37,91	50.737,50
<i>Dehesas con cultivo anual</i>	470,37	371,00	34,27	331,25

Costes de transporte

	Coste medio transporte (€/t m.s.)
<i>Secano</i>	9,22
<i>Regadío</i>	9,97
<i>Viñedo</i>	13,89
<i>Olivar</i>	9,27
<i>Dehesas con cultivo anual</i>	8,80

Precio del combustible (€/litro): 1,36 Coste mínimo: 5,33 €/t m.s. Coste máximo: 20,18 €/t m.s.

Mapa de coste de transporte



Figura 3. Coste de transporte y recursos disponibles en Arjona. BIORAISE.

Recursos en t m.s./año Costes en €/t m.s. t m.s. (toneladas de materia seca)

Datos de partida: Lat. : 38,35458 Lng. : -2,803016 Radio : 15 Km

	Recursos potenciales (t m.s./año)	Recursos disponibles (t m.s./año)	Coste medio recolección (€/t m.s.)	Superficie de recursos disponibles (ha)
Secano	15.877,50	6.815,00	26,91	7.250,00
Regadío	6.716,00	5.374,62	11,94	912,50
Frutales	204,75	164,12	30,62	162,50
Olivar	42.363,75	33.772,49	37,91	29.625,00
Frondosas	373,01	87,75	57,46	137,50
Coníferas	9.823,51	4.511,01	68,08	8.187,50
Matorral	1.740,00	370,50	38,01	893,75

Costes de transporte

	Coste medio transporte (€/t m.s.)
Secano	5,61
Regadío	6,64
Frutales	5,67
Olivar	6,86
Frondosas	4,40
Coníferas	8,56
Matorral	10,17

Precio del combustible (€/litro): 1,36 Coste mínimo: 3,02 €/t m.s. Coste máximo: 18,03 €/t m.s.

Mapa de coste de transporte



Figura 4. Coste de transporte y recursos disponibles en Puente de Génave. BIORAISE.

Recursos en t m.s./año Costes en €/t m.s. t m.s. (toneladas de materia seca)

Datos de partida: Lat. : 37,9496 Lng. : -3,541 Radio : 15 Km

	Recursos potenciales (t m.s./año)	Recursos disponibles (t m.s./año)	Coste medio recolección (€/t m.s.)	Superficie de recursos disponibles (ha)
Secano	18.615,00	7.990,00	26,91	8.500,00
Regadío	8.096,00	6.479,00	11,94	1.100,00
Frutales	622,12	498,68	30,62	493,75
Olivar	62.008,37	49.433,24	37,91	43.362,50
Frondosas	124,33	5,55	62,09	6,25

Costes de transporte

	Coste medio transporte (€/t m.s.)
Secano	7,71
Regadío	8,83
Frutales	6,38
Olivar	7,72
Frondosas	4,50

Precio del combustible (€/litro): 1,36 Coste mínimo: 3,19 €/t m.s. Coste máximo: 16,93 €/t m.s.

Mapa de coste de transporte



Figura 5. Coste de transporte y recursos disponibles en Puente del Obispo. BIORAISE.

5. CÓMPUTO DEL POTENCIAL DE BIOMASA UTILIZABLE

En relación con la base de datos de potencial de biomasa en Andalucía ofrecida por la Agencia Andaluza de la Energía de la Junta de Andalucía, que clasifica los distintos tipos de biomasa para cada municipio, se podrá calcular de manera aproximada, las cantidades de biomasa disponible que se podrían obtener para cada municipio y por ello la referida al área total seleccionada en el marco de este proyecto para la recogida de biomasa.

Se siguen los siguientes pasos:

1. Delimitación de municipios afectados. Ya se han delimitado los municipios afectados por el área seleccionada y superficie de cada uno de ellos, tanto la total como la ocupada por la biomasa. Posteriormente se extraen de bases de datos oficiales los valores de cada municipio necesarios para este estudio.

2. Porcentaje de biomasa afectada. A las matrices facilitadas por las bases de datos para cada municipio, se han añadido columnas referentes al “Área de biomasa afectada”, que corresponde a la cantidad de superficie ocupada por biomasa en cada municipio, y “Porcentaje de biomasa afectada”, que es el porcentaje de biomasa que se dispone respecto a la cantidad total de materia prima en el territorio del municipio. A partir de aquí, multiplicando las cantidades de residuos por éste porcentaje, se obtienen los valores de biomasa disponibles para la planta.

3. Factor de seguridad del 10%. Se ha considerado que puede existir un margen de error de entorno al 10%, de manera que, a los datos obtenidos se le aplicará este porcentaje para asegurar una cantidad de materia disponible en la planta.

4. Resultados finales. La biomasa predominante para el caso de la planta que nos ocupa es el olivar.

En la *Tabla 8* se muestra "TEP/año disponibles finales." Para más información y en el *Anexo 2 "Cálculos de biomasa disponible"* se pueden encontrar las tablas con todos los cálculos realizados

PLANTA DE BIOMASA		PUENTE DEL OBISPO	PUENTE DE GÉNAVE	ARJONA
TOTAL DE TONELADAS DE RESIDUOS		156.453,20	60.539,90	107.942,92
TONELADAS DE RESIDUOS AGRÍCOLAS ÁREA AFECTADA		74.395,53	36.805,61	83.786,12
KTEP RESIDUOS AGRÍCOLAS ÁREA AFECTADA		23,57	6,33	26,53
BIOMASA OLIVAR	KTEP DISPONIBLES FINALES COEF. REDUCCIÓN 10%	20,79	11,72	18,68
	ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (Kg/ha)	8.812,90	4.378,25	5.902,92
BIOMASA INVERNADERO	KTEP DISPONIBLES FINALES COEF. REDUCCIÓN 10%			
	ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (Kg/ha)			
BIOMASA FRUTAL	KTEP DISPONIBLES FINALES COEF. REDUCCIÓN 10%			
	ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (Kg/ha)			
BIOMASA GIRASOL	KTEP DISPONIBLES FINALES COEF. REDUCCIÓN 10%	0,094		0,14
	ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (Kg/ha)	86,75		85,21
BIOMASA TOMATE	KTEP DISPONIBLES FINALES COEF. REDUCCIÓN 10%	0,018		0,014
	ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (Kg/ha)	15,44		7,61

BIOMASA ALGODÓN	KTEP DISPONIBLES FINALES COEF. REDUCCIÓN 10%	0,58		3,45
	ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (Kg/ha)	315,85		328,39

Tabla 8 “TEP/año disponibles finales para cada caso”. Elaboración propia a partir de datos de la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo.

6. BIOMASA UTILIZABLE

6.1. Calificación de la biomasa utilizable

Para realizar un cálculo aproximado de los valores resultantes en la conversión energética de la biomasa es necesario un alto grado de conocimiento de las características de la biomasa de que se dispone. Para una correcta caracterización de la biomasa es preciso conocer los siguientes aspectos:

- Caracterización bioquímica: dependiendo de su composición bioquímica se puede diferenciar entre biomasa lignocelulósica, amilácea, azucarada y oleaginosa.

- Caracterización química: se refiere en primer lugar al *análisis inmediato*, el cual ofrece el contenido de humedad, materia volátil, contenido en cenizas y carbono fijado en porcentaje en peso. A continuación, el *análisis elemental* proporciona también, en porcentaje en peso, el contenido de C, H, N, S, y O que interviene en las reacciones de oxidación y por tanto determina el poder calorífico del combustible. Y, por último, también se determina el *análisis de la composición elemental en cenizas* que proporciona información para predecir fenómenos de corrosión, deposición y escorificación en equipos.

- Caracterización energética: se refleja a través del poder calorífico, que es la capacidad energética por unidad de masa, es decir, la cantidad de calor generado por la combustión completa de una unidad de masa de dicho combustible en condiciones estándares. Se diferencia entre *Poder Calorífico Superior (PCS)*, que representa el estado líquido del agua producto y el *Poder Calorífico Inferior (PCI)*, que indica el estado gaseoso del agua contenida.

- Caracterización física: detalla la *densidad aparente* que considera el volumen ocupado tanto por la fase sólida como por la fase líquida, la *densidad de partícula o real* que es la densidad del sólido, *tamaño y forma* de las partículas que la componen, *durabilidad mecánica y temperatura de fusión de cenizas*.

A lo largo del presente proyecto se van a tener en cuenta las características de los distintos tipos de biomásas seleccionadas a partir de los datos ofrecidos por la AAE y por la base de datos de © ECN-Biomass. Phyllis 2.

A continuación se detallan las características de los distintos tipos de biomasa encontrados en las áreas objeto de estudio, los cuales serán empleados posteriormente para los cálculos relativos a la capacidad de cada planta.

Como se puede observar en las siguientes *Tablas 9, 10, 11 y 12 de “Caracterización de Biomasa”* se ofrecen los valores en función de si es base seca, húmeda o seca libre de cenizas del análisis inmediato, caracterización energética, análisis elemental, composición bioquímica y composición elemental de cenizas.

Material OLIVAR. RESTOS PODA (HOJA, LEÑA Y RAMÓN)				
Análisis inmediato	Unidad	(*)		
		Base húmeda	Base seca	daf
Contenido de humedad	wt%	26		
Contenido en cenizas	wt%		13.3	
Materia Volatil	wt%		76.2	87.89
Carbón fijado	wt%		10.5	12.11
Caracterización energética				
PCS	MJ/kg		16.29	18.7
	kcal/kg		3890	4487
PCI	MJ/kg	18		
	kcal/kg	4300		
Análisis elemental				
Carbono	wt%	-	40.68	46.62
Hidrógeno	wt%	-	5.73	6.61
Nitrógeno	wt%	-	0.59	0.68
Azufre	wt%	-	0.07	0.08
Oxígeno	wt%	-	40.95	47.23
Total (con haluros)	wt%	-	101.35	101.56
Composición bioquímica				
Celulosa	wt% (dry)	-	30.3	
Hemicelulosa	wt% (dry)	-	17.9	
Lignina ácida insoluble	wt% (dry)	-	21	
Lignina ácida soluble	wt% (dry)	-	3.1	
Total cenizas+bioquímico	wt% (dry)	-	62.7	
Composición elemental en cenizas				
P ₂ O ₅	wt% (ash)	-	1.10	
SiO ₂	wt% (ash)	-	57.00	
Fe ₂ O ₃	wt% (ash)	-	1.40	
Al ₂ O ₃	wt% (ash)	-	1.40	
CaO	wt% (ash)	-	12.00	
MgO	wt% (ash)	-	1.10	
Na ₂ O	wt% (ash)	-	0.07	
K ₂ O	wt% (ash)	-	2.70	
PiO ₂	wt% (ash)	-	0.05	

daf: dry ash free (Base seca libre de cenizas)

Tabla 9. Caracterización de la biomasa (Olivar). Fuentes: © ECN-Biomass. Phyllis 2 y

(*)Agencia Andaluza de la Energía.

Material	ALGODÓN RESTOS DE COSECHA			
Análisis inmediato	Unidad	(*)		
		Base húmeda	B.Seca	daf
Contenido de humedad	wt%	25		
Contenido en cenizas	wt%		3.15	
Materia Volátil	wt%		74.2	76.61
Carbono fijo	wt%		22.65	23.39
Caracterización energética				
PCS	MJ/kg		15.88	16.4
	kcal/kg		3792.87	3917.07
PCI	MJ/kg	16.74	14.58	15.05
	kcal/kg	4000	3482.37	3594.63
Análisis elemental				
Carbono	wt%	-	47.58	49.12
Hidrógeno	wt%	-	5.96	6.16
Nitrógeno	wt%	-	0.25	0.26
Azufre	wt%	-	0.12	0.12
Oxígeno	wt%	-	42.94	44.34
Total (con haluros)	wt%	-	100	100
Composición bioquímica				
Celulosa	wt% (dry)	-	-	-
Hemicelulosa	wt% (dry)	-	-	-
Lignina ácida insoluble	wt% (dry)	-	-	-
Lignina ácida soluble	wt% (dry)	-	-	-
Total cenizas+bioquímico	wt% (dry)	-	-	-
Composición elemental en cenizas				
SiO ₂	wt% (ash)	-	40.70	
Fe ₂ O ₃	wt% (ash)	-	3.30	
Al ₂ O ₃	wt% (ash)	-	4.30	
CaO	wt% (ash)	-	16.10	
MgO	wt% (ash)	-	8.00	
K ₂ O	wt% (ash)	-	11.30	

wt% porcentaje en peso

daf: dry ash free (Base seca libre de cenizas)

Tabla 10. Caracterización de la biomasa (Algodón). Fuentes: © ECN-Biomass. Phyllis 2 y

(*)Agencia Andaluza de la Energía.

Material	GIRASOL (CAÑOTE)			
Análisis inmediato	Unidad	(*)		
		Base húmeda	Base seca	daf
Contenido de humedad	wt%	17		
Contenido en cenizas	wt%		8.82	
Materia Volátil	wt%			
Carbono fijo	wt%			
Caracterización energética				
PCS	MJ/kg		17.04	18.69
	kcal/kg		4069.93	4464.03
PCI	MJ/kg	14.65	15.93	17.47
	kcal/kg	3500.00	3804.82	4172.64
Análisis elemental				
Carbono	wt%		45.51	49.91
Hidrógeno	wt%		5.03	5.52
Nitrógeno	wt%		0.31	0.34
Azufre	wt%		0.03	0.03
Oxígeno	wt%		39.62	43.45
Total (con haluros)	wt%		100	100
Composición bioquímica				
Celulosa	wt% (dry)	-	38.50	
Hemicelulosa	wt% (dry)	-	33.50	
Lignina	wt% (dry)	-	17.50	
Lípidos	wt% (dry)	-	1.95	
Proteínas	wt% (dry)	-	2.00	
Total cenizas+bioquímico	wt% (dry)	-	98.05	
Composición elemental en cenizas				
CO ₂	wt% (ash)	-	24.30	
SO ₃	wt% (ash)	-	1.12	
Cl	wt% (ash)	-	6.59	
P ₂ O ₅	wt% (ash)	-	0.66	
SiO ₂	wt% (ash)	-	3.90	
Fe ₂ O ₃	wt% (ash)	-	0.24	
Al ₂ O ₃	wt% (ash)	-	0.34	
CaO	wt% (ash)	-	13.20	
MgO	wt% (ash)	-	2.76	
Na ₂ O	wt% (ash)	-	0.35	
K ₂ O	wt% (ash)	-	4.60	

daf: dry ash free (Base seca libre de cenizas)

Tabla 11. Caracterización de la biomasa (Girasol). Fuentes: © ECN-Biomass. Phyllis 2 y

(*)Agencia Andaluza de la Energía.

Material	TOMATE. RESTOS DE COSECHA			
Propiedades	Unidad	(*)		
		Base húmeda	Base seca	daf
Contenido de humedad	wt%	35		
Contenido en cenizas	wt%		18.71	
Materia Volatil	wt%		66.02	81.22
Carbón fijado	wt%		15.27	18.78
Caracterización energética				
PCS	MJ/kg		14.83	18.24
	kcal/kg		3542.08	4356.55
PCI	MJ/kg	12.56	13.94	17.14
	kcal/kg	3000.00	3329.51	4093.82
Análisis elemental				
Carbono	wt%	-	38.17	46.96
Hidrógeno	wt%	-	4.08	5.02
Nitrógeno	wt%	-	2.3	2.83
Azufre	wt%	-	0.5	0.62
Oxígeno	wt%	-	36.24	44.58
Total (con haluros)	wt%	-	102.94	103.61
Composición bioquímica				
Celulosa	wt% (dry)	-		25.70
Hemicelulosa	wt% (dry)	-		6.00
Lignina	wt% (dry)	-		10.50
Proteína	wt% (dry)	-		13.00
Pectina	wt% (dry)	-		6.60
Total Cenizas + bioquímica	wt% (dry)	-		82.00
Composición elemental en cenizas				
P ₂ O ₅	wt% (ash)	-		2.50
SiO ₂	wt% (ash)	-		10.20
Fe ₂ O ₃	wt% (ash)	-		0.97
Al ₂ O ₃	wt% (ash)	-		1.26
CaO	wt% (ash)	-		24.74
MgO	wt% (ash)	-		7.91
Na ₂ O	wt% (ash)	-		5.51
K ₂ O	wt% (ash)	-		12.97
PiO ₂	wt% (ash)	-		0.26

daf: dry ash free (Base seca libre de cenizas)

Tabla 12. Caracterización de la biomasa (Tomate). Fuentes: © ECN-Biomass. Phyllis 2 y

(*)Agencia Andaluza de la Energía.

En las tablas expuestas resalta el elevado contenido en cenizas que presenta la biomasa del olivar. La recogida de estas cenizas podría ser una fuente de negocio en relación a ser vendida a determinadas instalaciones, por ejemplo, a cementeras para su uso en la fabricación de hormigón u otras aplicaciones.

Podría resultar conveniente realizar análisis de laboratorio de cada una de las biomásas disponibles de la zona para una mayor apreciación de los resultados. También se puede comprobar que la cantidad de humedad en esta biomasa es muy elevada, en torno al 50%, aunque un contenido en cenizas inferior al 4.5%.

En referencia al tomate el inconveniente que existe es el alto contenido en cenizas y la elevada humedad, aunque inferior al 36%.

El girasol presenta también un contenido elevado en cenizas pero una base húmeda inferior al 17%, mientras que el algodón tiene poco contenido en cenizas y una base húmeda aceptable entorno al 25%.

De aquí en adelante los resultados de los datos en los apartados siguientes dependerán principalmente de éstos, ya que son las características de la biomasa las que condicionan los diferentes sistemas a utilizar en el proceso de conversión energética que tiene lugar para alcanzar el objetivo.

7. TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS

Hasta el momento todos los datos recopilados han sido un factor extrínseco, es decir, todo lo documentado forma parte del material de partida del cual disponemos, material de biomasa y territorio, y constituye una restricción del modelo. El paso siguiente consiste en la elección de los procesos que se consideran más apropiados, en función de las necesidades y de las limitaciones técnicas y económicas, para transformar la biomasa en energía. Es necesario establecer los sistemas de recogida, secado, almacenamiento, alimentación, transformación a energía eléctrica y sobre todo los procesos termoquímicos. La elección de éstos últimos tiene gran importancia ya que el resto de procesos dependerán directamente del tipo de reacción que sufra la biomasa. Por esta razón se comenzará con la elección de las reacciones sólido-gas, para ir avanzando posteriormente, en función de los datos aquí obtenidos, con el resto de procesos, tanto anteriores como posteriores al proceso termoquímico.

7.1. Reacciones sólido-gas

Las reacciones sólidos-gas son aquellas reacciones termoquímicas mediante la cual se obtiene energía a partir de la biomasa. En la actualidad las reacciones más extendidas son la *pirólisis*, la *gasificación* y la *combustión*. En todas ellas tiene lugar la reacción entre un sólido, en nuestro caso biomasa, y un gas, que puede ser aire, oxígeno, vapor de agua, etc.

7.1.1. Pirólisis

La pirólisis se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y a la combustión.

Se puede considerar que la pirólisis comienza en torno a los 250 °C, llegando a ser prácticamente completa en torno a los 500 °C, aunque esto está en función del tiempo de residencia del residuo en el reactor. A partir de la pirólisis pueden obtenerse diferentes productos secundarios útiles en función de la tecnología de tratamiento que se utilice. En la siguiente tabla pueden verse estos productos y tecnologías.

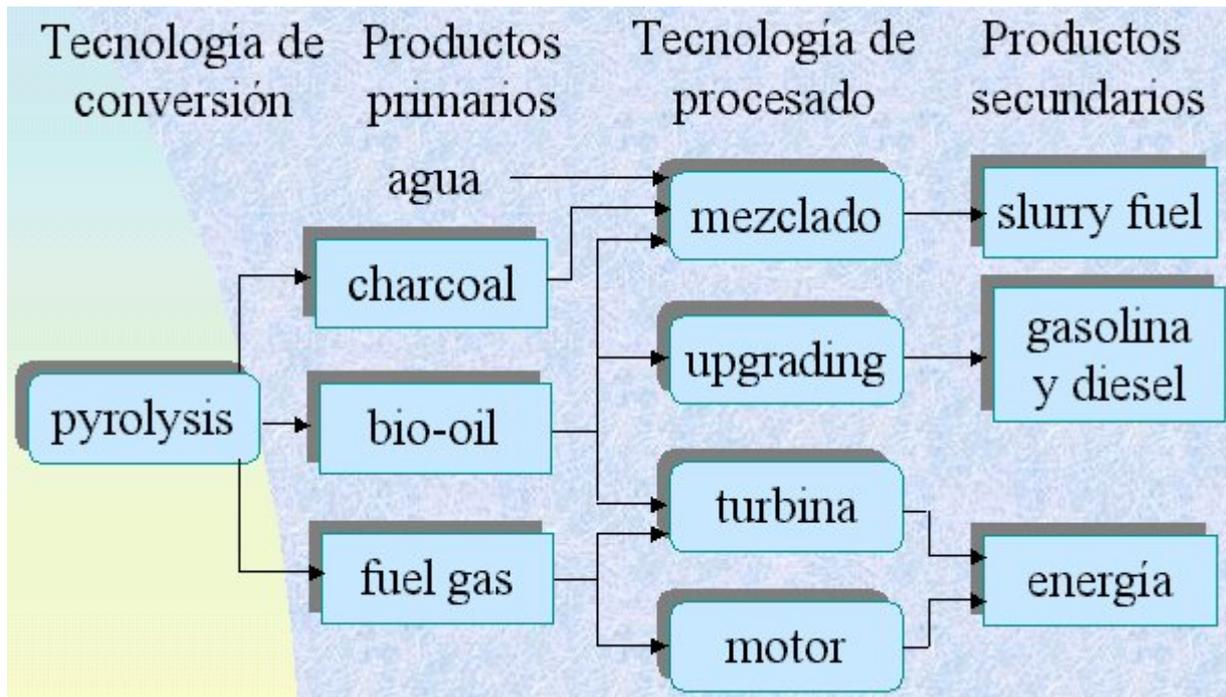


Figura 6. Productos procedentes de la pirólisis.

Los productos primarios formados son los siguientes (en diferentes proporciones según el proceso empleado):

- Gases: Compuestos principalmente de CO, CO₂, CH₄, C₂H₆ y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros.
- Líquidos: Compuesto por una gran mezcla de distintos productos como pueden ser cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos, y otras fracciones más pesadas.
- Sólidos: El producto sólido de la pirólisis es un residuo carbonoso (char) que puede ser utilizado como combustible o para la producción de carbón activo.

Existen diferentes tipos de pirólisis en función de las condiciones físicas en las que se realice. Así, factores como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la presión, etc, tienen una influencia muy grande en la distribución de los productos que se obtienen. Esto puede verse resumido en la siguiente tabla.

PIRÓLISIS	TIEMPO RESIDENCIA	VELOCIDAD CALENTAMIENTO	PRESIÓN BAR	TEMPERATURA °C MAX	PRODUCTO MAYORITARIO
Carbonización	Horas-días	Muy baja	1	400	Sólido
Convencional	5-30 min	Baja	1	600	Gas liq. y sólido
Fast	0.5-5 seg.	Muy alta	1	650	Líquido
Flash-líquido	< 1 seg.	Alta	1	< 650	Líquido
Flash-gas	< 1 seg.	Alta	1	> 650	Gas
Ultra	< 0.5 seg.	Muy alta	1	1000	Gas P. Químico
Vacío	2-30 seg.	Media	< 0,1	400	Líquido

Tabla 13. Características de los procesos de la pirólisis.

La carbonización es, quizás, el proceso de pirólisis conocido desde hace más tiempo de todos los mostrados en el cuadro anterior, y el que más importancia tiene industrialmente para la producción de carbón vegetal.

La pirólisis en centrales de biomasa para la obtención de energía eléctrica no está muy extendida, suele emplearse fundamentalmente para la creación de carbón vegetal que puede ser transportado a industrias de fundición o de co-combustión con carbón natural. Su coste también es elevado cuando la cantidad de materia prima a procesar no es a gran escala, de manera que se descarta directamente como proceso termoquímico de conversión energética posible para la planta de biomasa que contempla este estudio.

7.1.2 Gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (biomasa lignocelulósica, es decir, leña, matorrales, forraje, o carbones vegetales) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico, *gas de gasificación* o *de síntesis*, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada (800-900°C) en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua).

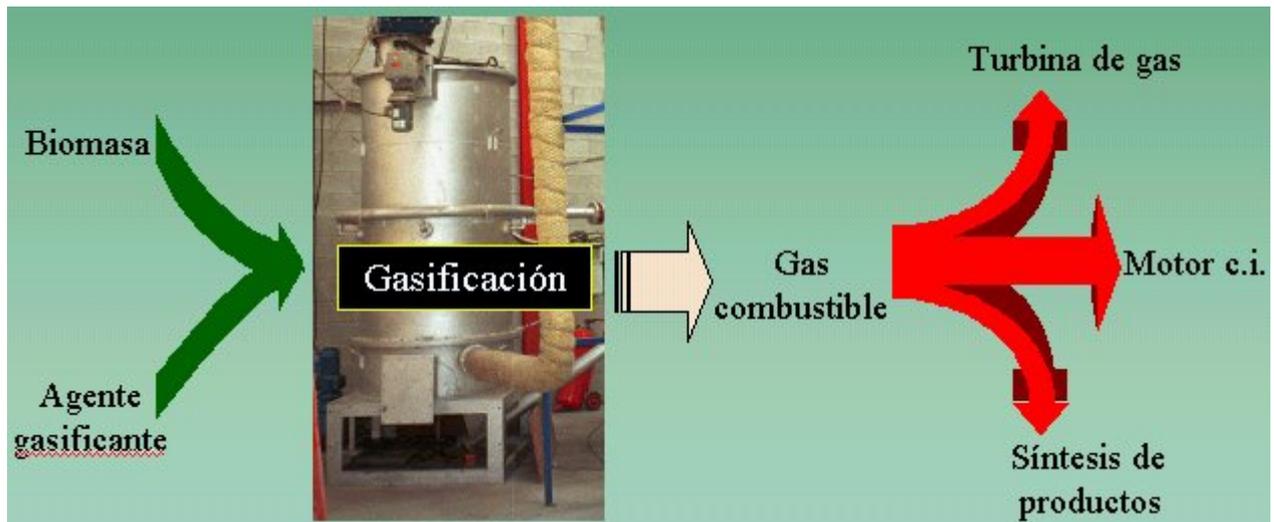


Figura 7. Proceso de Gasificación.

La elección del método para llevar a cabo el proceso de gasificación depende de varios factores como el tamaño y forma del residuo, el aprovechamiento de la energía del gas producido que vaya a hacerse y, por supuesto, de los condicionantes económicos.

En la Figura 8 se muestra un esquema del funcionamiento del proceso de gasificación.

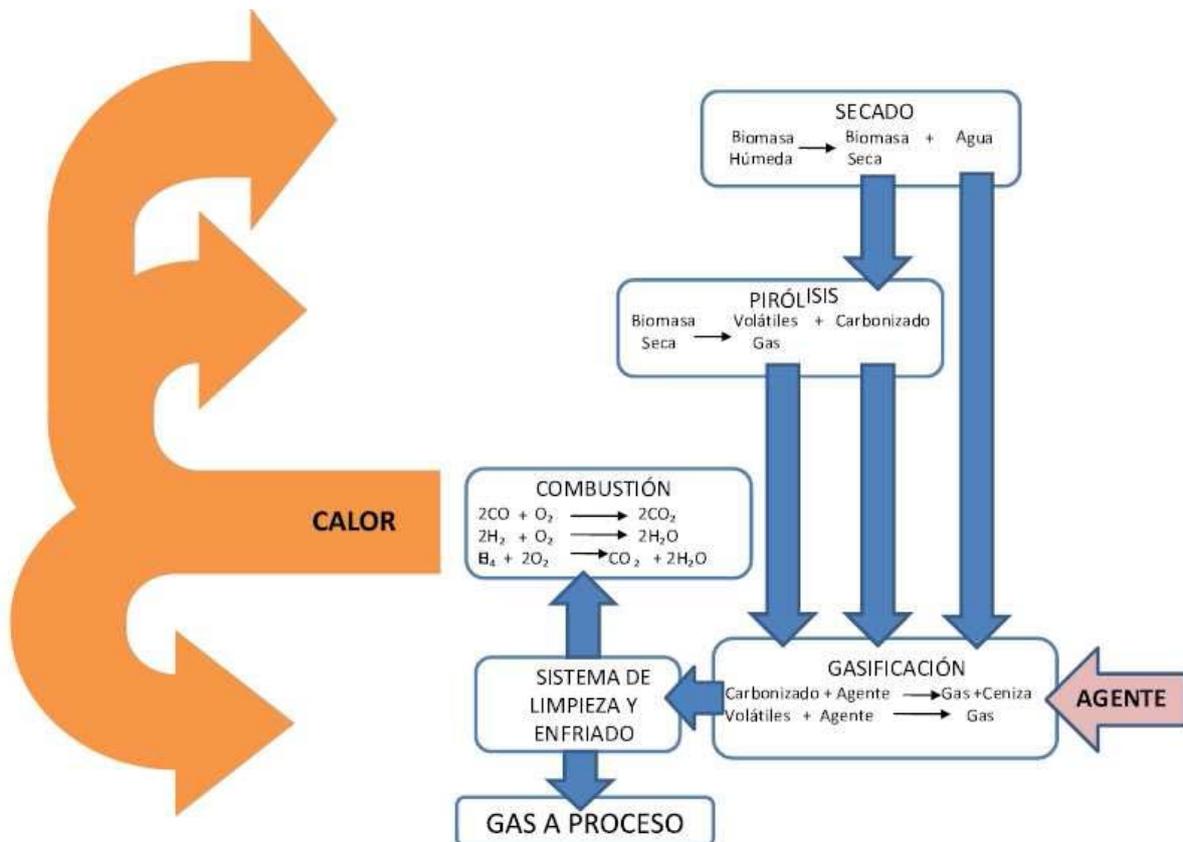


Figura 8. Esquema de funcionamiento del proceso de gasificación. Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2011.

Por su parte el aprovechamiento energético de este gas pobre puede hacerse quemándolo inmediatamente en una cámara de combustión, o introduciéndolo en una turbina de gas o en un motor de combustión interna. El agente gasificante puede ser tanto aire, oxígeno, aire enriquecido con oxígeno, vapor de agua o hidrógeno, de modo que se obtienen diferentes mezclas de gases que a su vez pueden tener diferentes utilidades.

AGENTE GASIFICANTE	PCS (MJ/m ³)	COMPOSICION DEL GAS OBTENIDO (% en volumen)						USO
		H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂	C ₂	
Aire	< 6	16	20	12	2	50	-	combustible
Oxígeno	10-20	32	48	15	2	3	-	combustible gas de síntesis
Vapor de agua	10-20	50	20	22	6	-	2	combustible gas de síntesis
Hidrógeno	>30							sustituto del gas natural

Tabla 14. Composición de los agentes gasificantes.

El tipo de reactores que normalmente se utilizan para estos procesos son variados, y su elección depende de varios factores como pueden ser la granulometría del residuo, la humedad de éste, o la limpieza del gas requerida.

Algunas de las ventajas del proceso de gasificación son:

- Versatilidad en la valorización del residuo, ya que se puede aprovechar la energía que contiene en forma de calor, electricidad o como gas de síntesis para la obtención de productos químicos.
- Buen rendimiento eléctrico, en el caso de que esa sea la vía más adecuada para el aprovechamiento del residuo.
- Menor impacto ambiental.

Respecto a las configuraciones en función del movimiento relativo entre el *sólido* y el *agente gasificante* en el Figura 9 se pueden diferenciar principalmente:

- Lecho móvil descendente (downdraft): se trata de corrientes paralelas descendientes en el que el sólido tiene una velocidad relativamente lenta.
- Lecho móvil a contracorriente (updraft): El sólido desciende lentamente mientras que el gas asciende en sentido contrario.
- Lecho fluidizado: el sólido se encuentra en suspensión gracias a la acción del gas y dependiendo de la velocidad del gas mayoritariamente se puede diferenciar entre *lechos fluidizados burbujeantes* y *lechos fluidizados circulantes*.

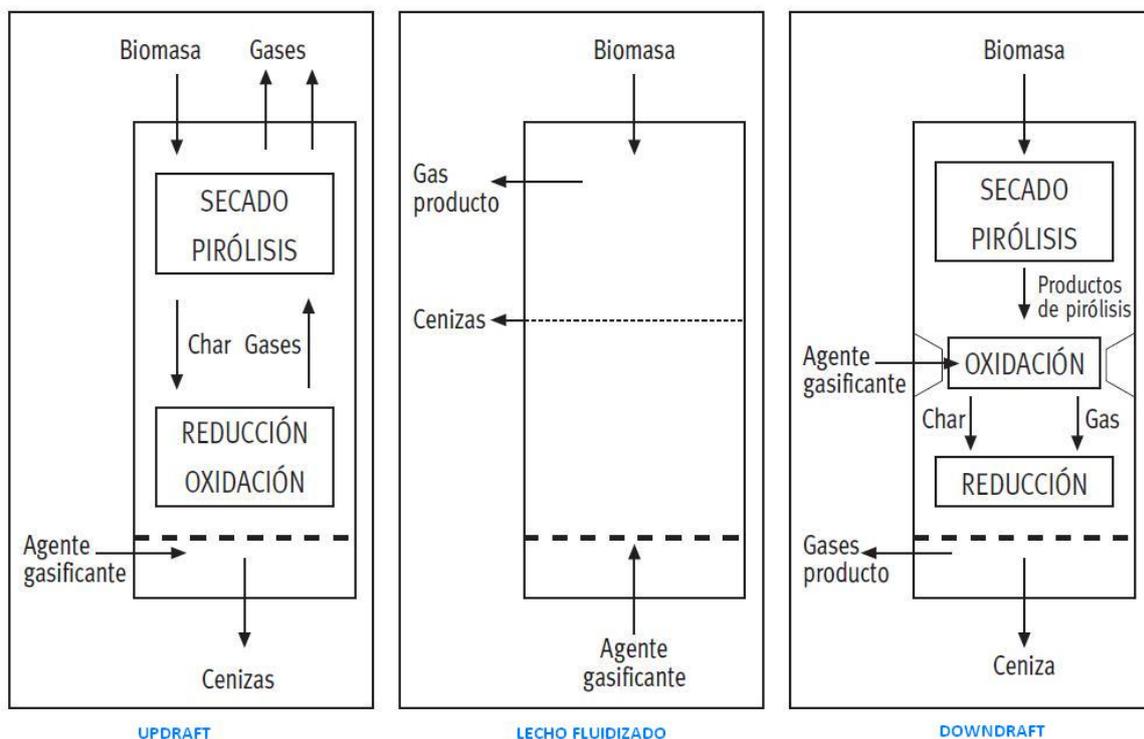


Figura 9. Flujos de materia en los procesos de gasificación. Fuente IDAE 2007.

En el Anexo 3 “Características del proceso de gasificación” se detallan las características generales del proceso así como las de las distintas configuraciones que se pueden presentar con la intención de facilitar una valoración que ayude a seleccionar el proceso más idóneo a implantar en la planta objeto de estudio.

Más adelante, tras el apartado de combustión se decidirá cuál es el tipo de tecnología que más se adapta a la biomasa en este caso concreto.

7.1.3. Combustión

Este proceso se define como la reacción de oxidación exotérmica que tiene lugar cuando un combustible, en este caso la biomasa, reacciona con el oxígeno, el comburente, para producir gases de combustión y cenizas.

Al inicio de la combustión la biomasa sufre un secado mediante el cual se evapora la humedad contenida en ella, seguidamente, al superar los 150 °C hasta los 200 °C, tiene lugar la pirólisis (descomposición térmica) y, a partir de los 275 °C, la reacción se acelera liberando de forma rápida los componentes volátiles. A continuación, estos últimos entran en contacto con los agentes oxidantes formando una llama, y el sólido carbonoso sobrante (char) arde lentamente sin llama dando lugar a las cenizas.

Se detallan en el *Anexo 4 “Características del proceso de combustión”* las diferentes características del proceso de combustión y sus distintas tecnologías,

En el Figura 10 “*Estructura de un proceso de combustión*” se pueden observar las distintas fases que tienen lugar durante el proceso de combustión.

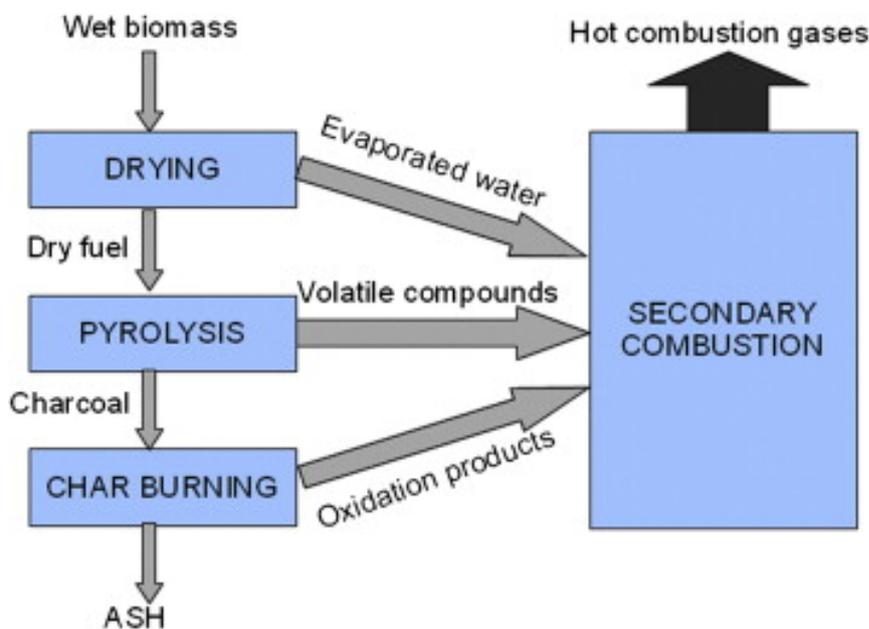


Figura 10. Estructura de un proceso de combustión. Fuente Rafal Strzalka. 2011.

7.2 Proceso idóneo de reacción sólido-gas para la planta

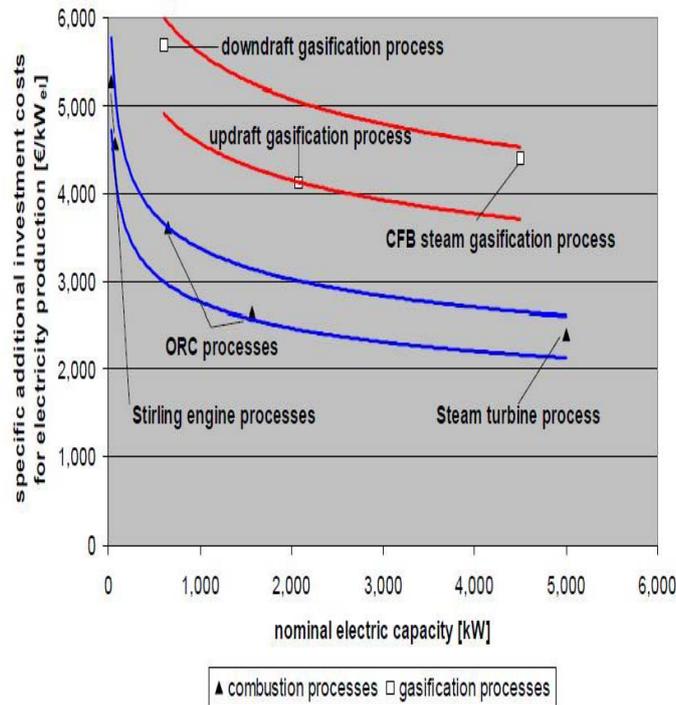
En las tablas de los Anexos 3 y 4 se pueden observar cuales son los puntos más favorables para cada tecnología y cuáles no lo son. Con lo cual se concluye lo siguiente:

La tecnología de la *combustión* está altamente desarrollada y probada, y es capaz de trabajar en un ancho rango de potencias en función de la tecnología que se use a posteriori, desde los motores Stirling (<100 kW_{el}) que están teniendo un buen comienzo en el mercado, pasando por el Ciclo Orgánico Rankine (ORC, 200-2000 kW_{el}) hasta plantas de turbinas de vapor (>2000 kW_{el}) (Byoenergiesysteme GmbH, 2008).

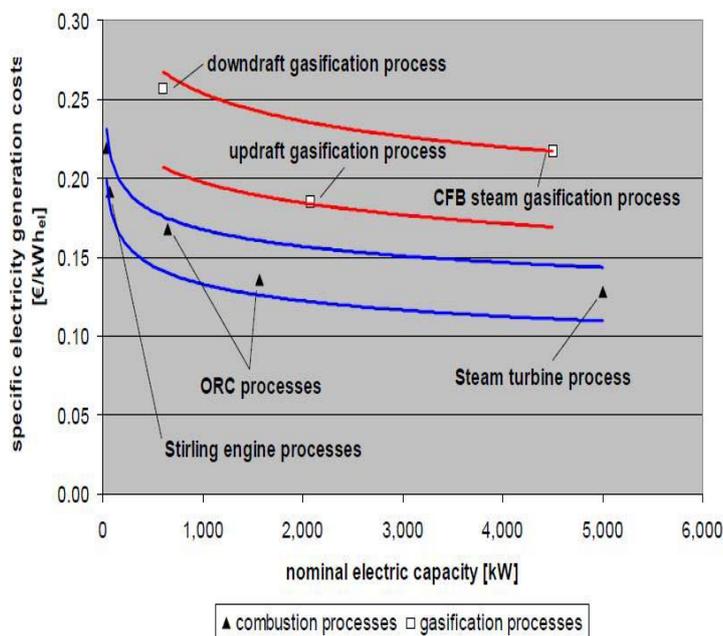
En referencia a la *gasificación* se trata de una tecnología en pleno desarrollo y con un futuro prometedor, pero hasta el momento no ha encontrado una posición suficientemente consolidada, no obstante, las plantas experimentales están teniendo buenos resultados. Por tanto su coste es considerablemente mayor al de la combustión, aunque se esperan ayudas por parte de los gobiernos para alcanzar un desarrollo tecnológico suficiente para competir con la combustión. A este aspecto hay que añadir que debido a la crisis que está sufriendo Europa desde el año 2008, el soporte gubernamental a este tipo de tecnologías no ha sido el deseado.

Como se puede apreciar en la Gráfica 3, el coste de la *gasificación* es bastante superior al de los sistemas de *combustión*. Se estaría hablando de entre 5.300 €/kW_{el} y 4.600 €/kW_{el}, para rangos de potencia entre 35 y 70 kW_{el} respectivamente para el caso de motores Stirling, para procesos ORC 2.600-3.600 €/kW_{el} (1.570 kW_{el} - 650 kW_{el}) y para turbinas de vapor de unos 2.400 €/kW_{el} (5 MW_{el})

Si se habla del coste específico de la generación eléctrica, Gráfica 4 “*Coste de generación eléctrica para diferentes tecnologías en función de la potencia*”, para el caso de motores Stirling la suma sería entre 0,22 €/kWh_{el} y 0,19 €/kWh_{el}, para rangos de potencia entre 35 y 70 kW_{el} respectivamente. Para mediana escala con un proceso ORC el rango sería entre 0,14 a 0,17, para rangos de potencia entre 35 y 70 kWh_{el} (1.570 kW_{el} - 650 kW_{el}) y para turbinas de vapor de 0,13 €/kWh_{el}.



Gráfica 3. Coste inversión adicional para diferentes tecnologías en función de la capacidad eléctrica nominal. Fuente Bios Bioenergy GmbH. 2008.



Gráfica 4. Coste de generación eléctrica para diferentes tecnologías en función de la potencia. Fuente Bios Bioenergy GmbH. 2008.

Por tanto de acuerdo a todos los datos recopilados anteriormente se puede decir que los sistemas más adecuados para la conversión energética de la biomasa de la planta en consideración es claramente la opción de la ***Combustión de lecho fluido burbujeante***, seguido de un proceso *ORC*, *Stirling* o de *turbina de vapor*, en función de la potencia resultante, ya que estos presentan mayores ventajas técnicas y económicas por tratarse de una tecnología más desarrollada en comparación con el resto.

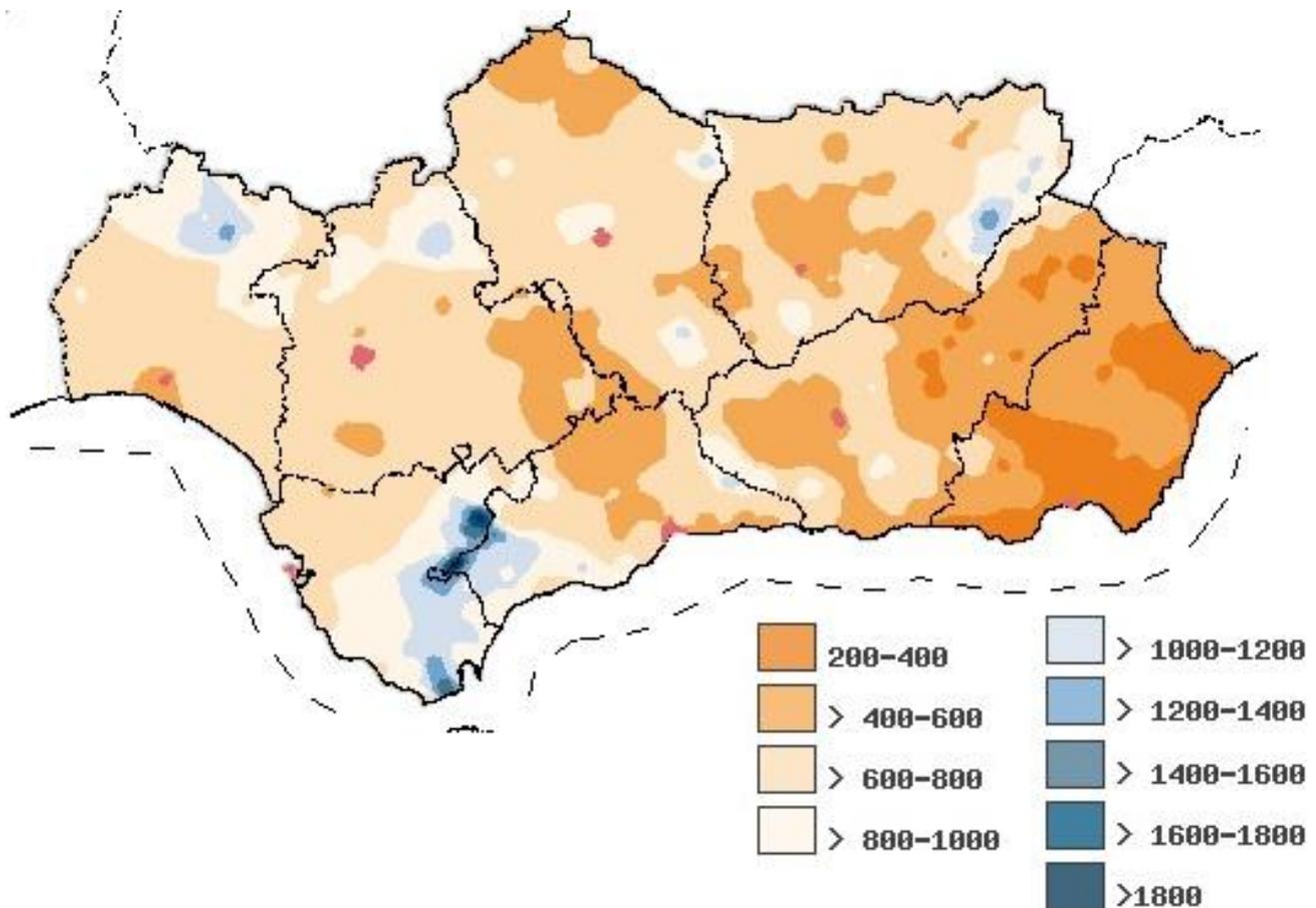
8. PROCEDIMIENTOS PREVIOS

Se precisa de determinados procedimientos previos con la finalidad de conseguir una mayor eficiencia en los procesos termodinámicos posteriores. La reducción granulométrica permite reducir el tamaño de las partículas iniciales de biomasa, incrementando la relación entre superficie y volumen (S/V). Este tratamiento previo reduce costes de transporte y favorece las reacciones químicas. Al suponer un coste adicional, el grado de reducción debe ser meditado, en relación con el proceso termoquímico seleccionado. Acorde con el proceso de conversión energética establecido en el apartado 7.2 del proyecto, la combustión en lecho fluido burbujeante, y de acuerdo con la bibliografía consultada (Sebastián Nogués, F.; García Galindo, D.; Rezeau, A., 2010), el tamaño de partícula de biomasa debería estar entre 5 y 80 mm. Para la separación de partículas con un tamaño superior para el cual los equipos han sido diseñados para trabajar o deshacerse de aquellos materiales no aptos para su procesado es necesario el uso de filtros, ciclones, cribas o tamices. Éstos pueden ir dispuestos tras secaderos y silos o previos a sistemas de molienda y equipos de combustión. En relación con la maquinaria a utilizar para la reducción de la biomasa tiene mucho que ver el tipo concreto de la misma, lo que se relaciona con la potencial ubicación de la planta. Las ubicaciones estudiadas para la planta de biomasa disponen de biomasa procedente del olivar, casi en su totalidad (en muy poca proporción aparece el tomate, el algodón y el girasol), concretamente de restos de poda y, por tanto, residuos leñosos. Este aspecto facilita la elección del sistema de reducción del tamaño ya que en toda la superficie seleccionada la biomasa disponible tiene las mismas características. El objetivo de este estudio es plantear un sistema de aprovechamiento de la biomasa al menor coste posible, eficiente y rentable, y, por ello, se plantea la utilización directa de la biomasa del olivo astillada en campo con maquinarias capaces de generar las partículas con granulometría adecuada para utilizarla directamente en calderas de combustión (tamaño de partículas <80 mm). Un ejemplo de máquina astilladora-trituradora es el modelo BIOMASS 200, cuya ficha técnica podemos ver en el *Anexo 5 “Maquinaria”*.

La reducción del contenido de humedad en los biocombustibles, a través del secado de la biomasa, presenta un importante incremento en la eficiencia del proceso de transformación termoquímica, además de la reducción de emisiones como CO y NO_x. El secado depende de las características físicas, forma y tamaño de la partícula, contenido de humedad y cantidad de material, así como la disposición de éste (altura y anchura de la pila), además de la temperatura ambiente y la velocidad del agente secante.

El secado natural se caracteriza por el aprovechamiento de la meteorología local.

Los datos recopilados por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, y que se muestran en el Mapa 14 “Precipitación Media Anual en Andalucía: Periodo 1971-2000” y la Tabla 15 “Valores medios de precipitación mensuales en la planta objeto de estudio” muestra una idea de la cantidad de agua que puede precipitar en la zona y, por tanto, las dificultades que se encontrarán en el secado.



Mapa 14. Precipitación Media Anual en Andalucía: Periodo 1971-2000”. CAPJA.

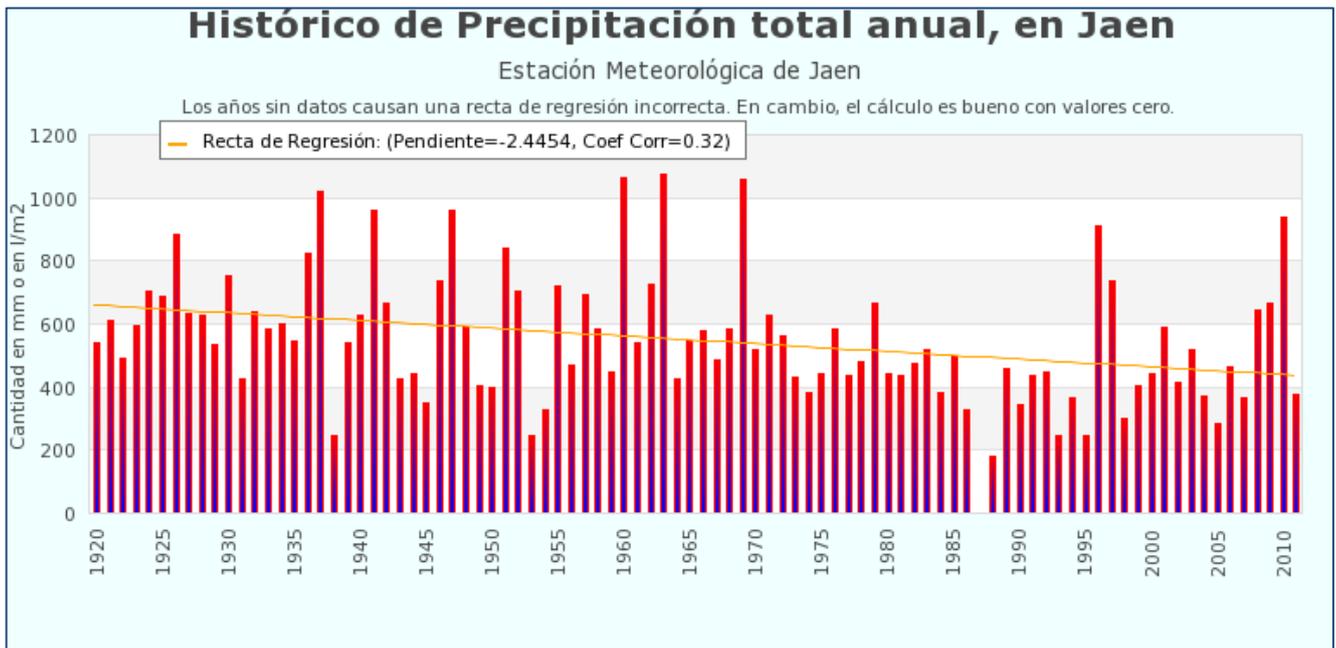
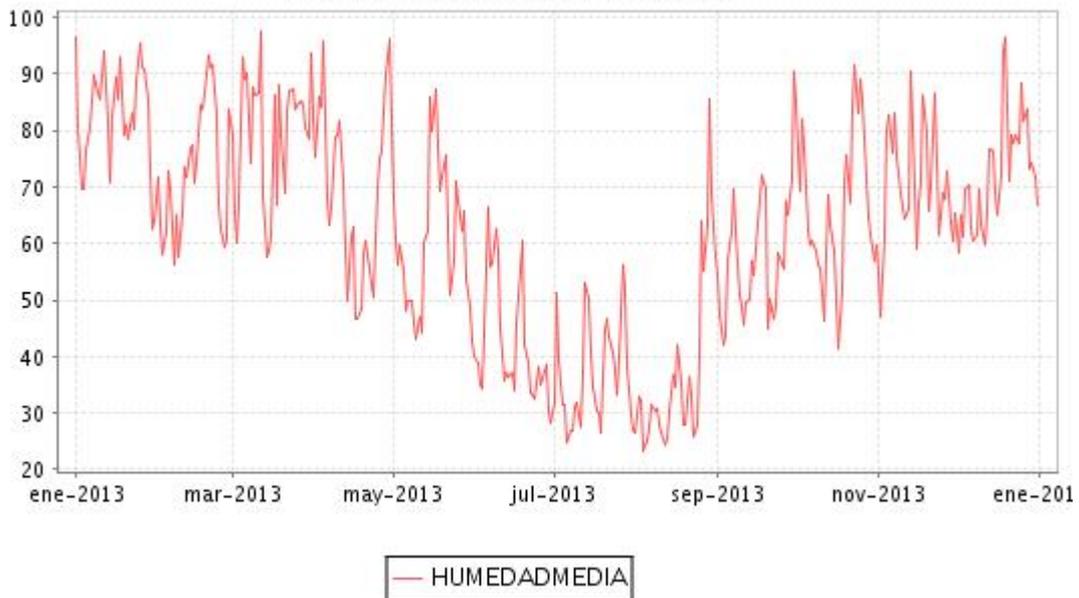
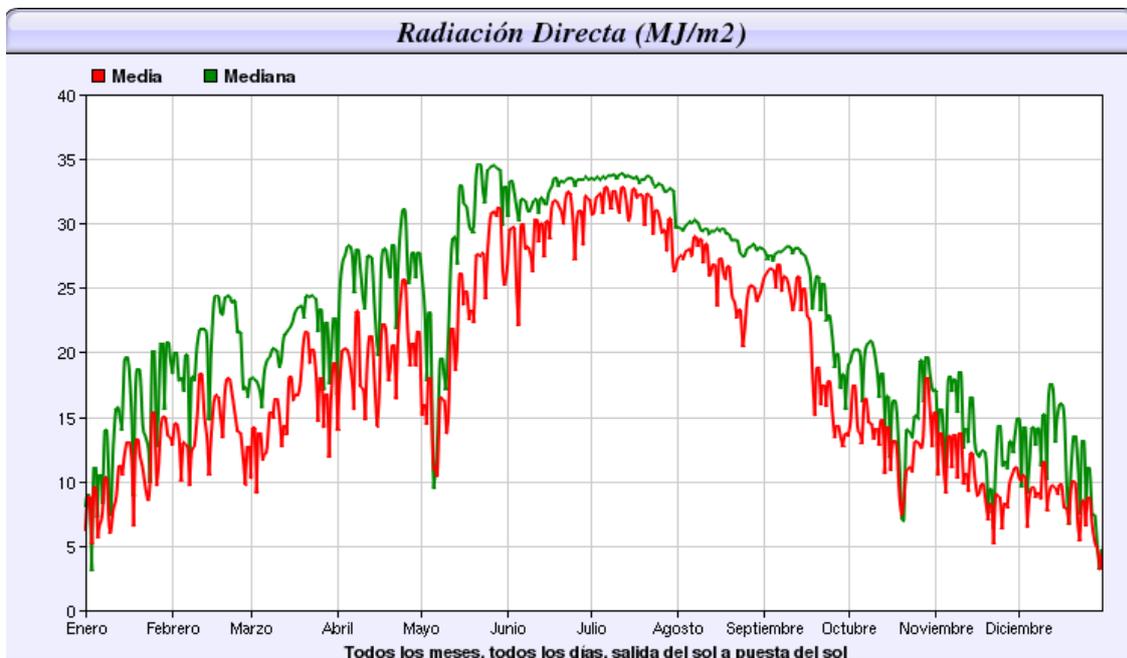


Tabla 15. “Valores totales anuales de precipitación en Jaén”. Fuente Estación meteorológica de Jaén.

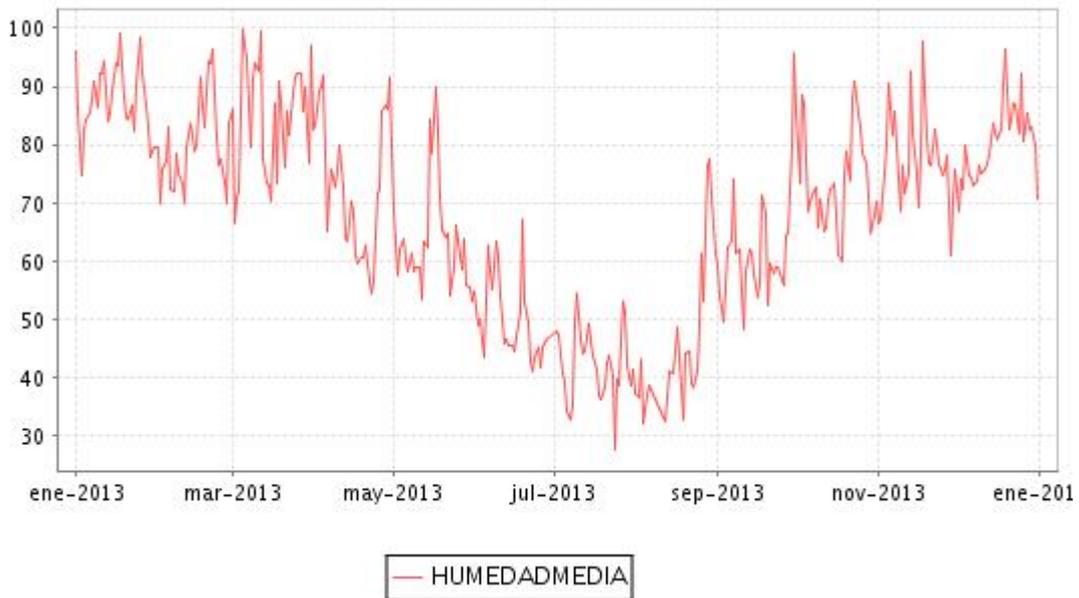
Como se puede observar en el mapa de índices de pluviometría en Andalucía, la cantidad de lluvia acumulada en el área ocupada por la biomasa disponible de la planta es en torno a 400-600 mm anuales, siendo la media 475,79 mm (serie de años entre 1993 y 2013). Dicha zona se caracteriza por unos índices más altos en otoño y abril, mientras que los valores inferiores tienen lugar en verano y a principios de primavera. Datos referentes a la humedad relativa y a la radiación solar directa incidente se muestran a continuación en las *gráficas 5, 6, 7, 8, 9 y 10*.



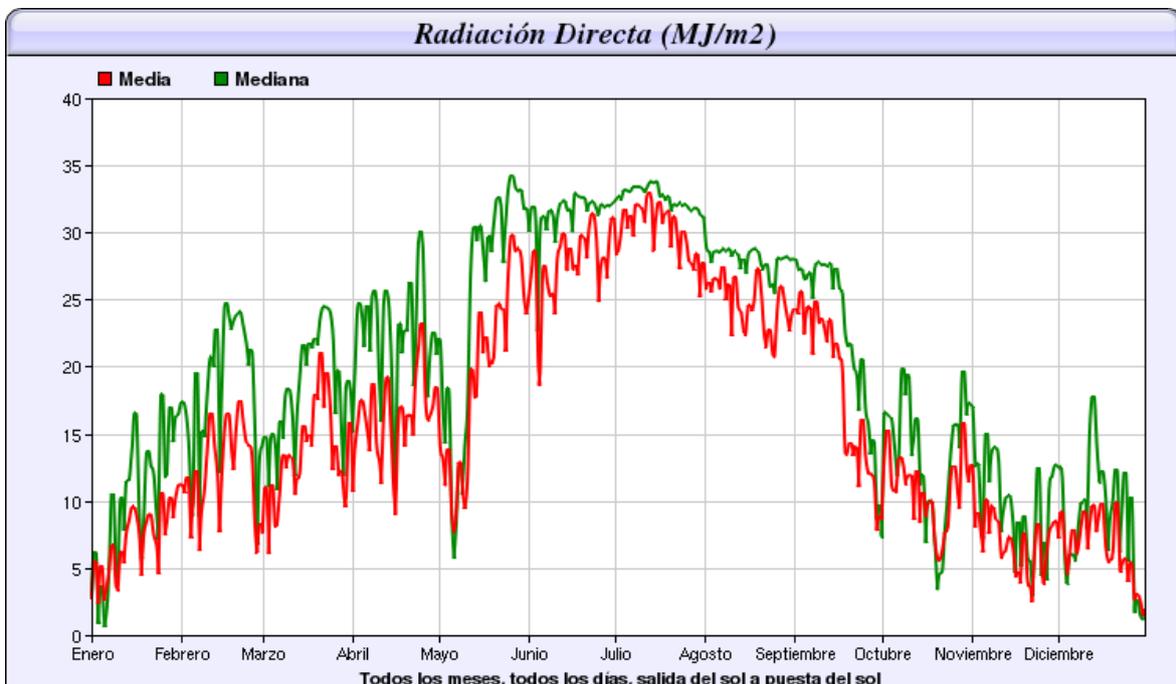
Gráfica 5. Humedad Media Puente del Obispo. Fuente AAE. 2013.



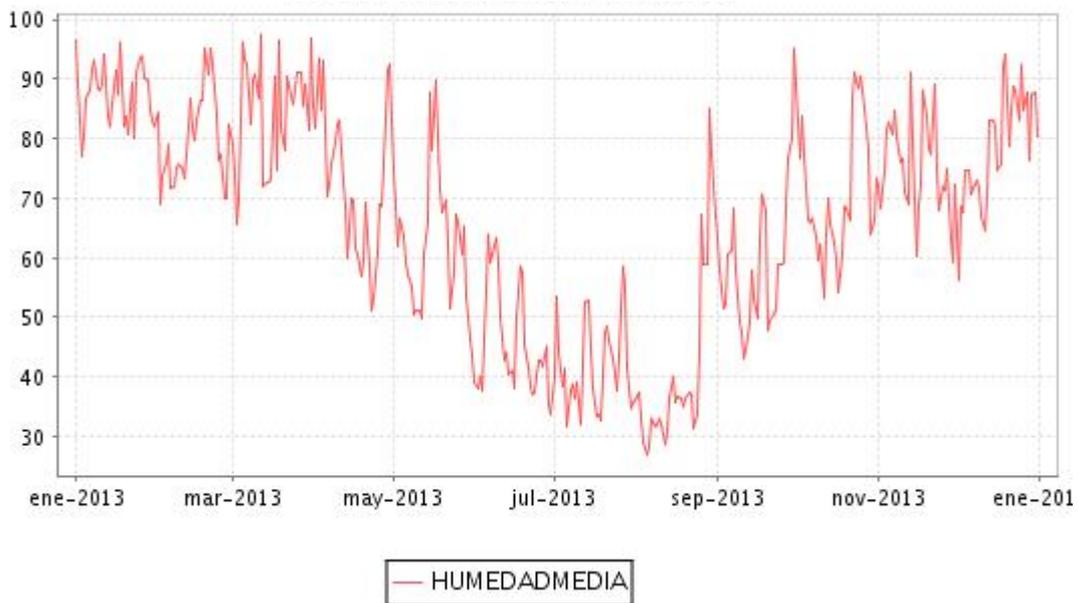
Gráfica 6. Radiación Directa Puente del Obispo. Fuente AAE. 2013



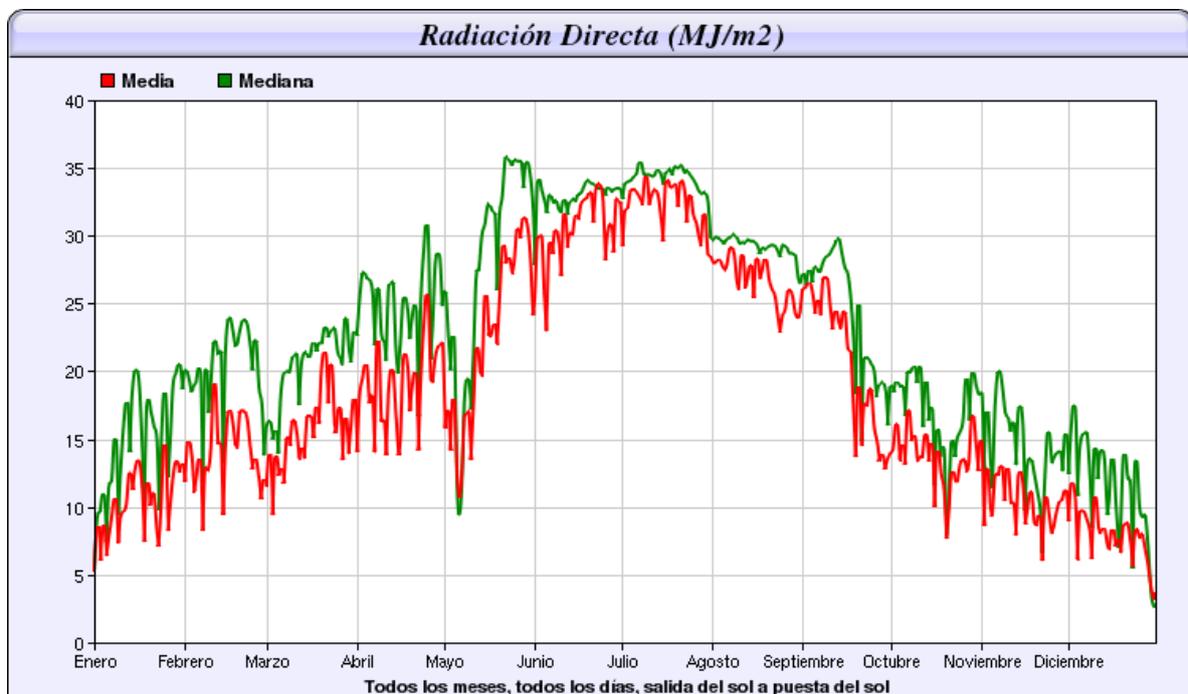
Gráfica 7. Humedad Media Puente de Génave. Fuente AAE. 2013.



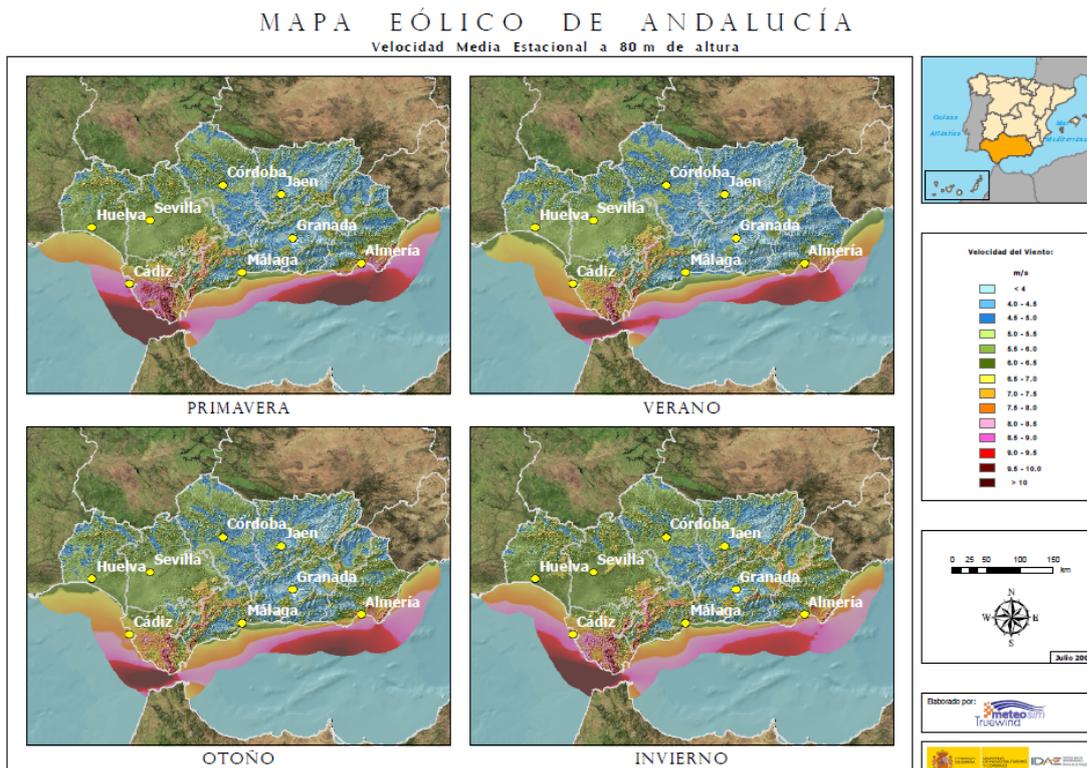
Gráfica 8. Radiación Directa Puente de Génave. Fuente AAE. 2013.



Gráfica 9. Humedad Media Arjona. Fuente AAE. 2013.



Gráfica 10. Radiación Directa Arjona. Fuente AAE. 2013.



Mapa 15. Mapa eólico estacional de Andalucía. Fuente IDAE.

Por ello, tanto, el sistema de secado más recomendable teniendo en cuenta además que el tipo de biomasa del cual se dispone es el procedente de la poda del olivo con una granulometría inferior a 80 mm y una base húmeda en torno al 26% y que tiene lugar a finales de la temporada de recogida de aceitunas, aproximadamente en los meses de febrero y marzo, se propone usar el secado natural a la intemperie con la posibilidad de usar grandes lonas para tapar la biomasa en caso de lluvias. La biomasa deberá ser almacenada en pilas cónicas entre 3 y 15 m en la propia planta. Una alternativa es el empleo de secaderos solares pasivos, que, evidentemente, incrementan el precio del proceso global.

Tras la recogida, astillado y secado de la biomasa, se dispone de material que ha de ser transportado a sistemas de almacenamiento, tolvas o silos, diseñados de forma adecuada para ser transportados posteriormente por cintas transportadoras o tornillos sin fin. En este caso se recomienda la utilización de tornillos sin fin por tratarse de un sistema cerrado, de manera que impide la posibilidad de ignición de materia prima en las cercanías de la caldera. Éstos ocupan menor espacio que las cintas transportadoras y la necesidad de mantenimiento es menor.

9. TRATAMIENTOS TERMODINÁMICOS

Hasta el momento han sido seleccionados todos aquellos parámetros y tecnologías que tienen lugar en todo el proceso de conversión energética a excepción de los ciclos termodinámicos que van aprovechar el calor producido por las calderas. En la actualidad existe una tecnología lo suficientemente desarrollada para conseguir una eficiencia del sistema aceptable, el inconveniente está en saber elegir correctamente esa tecnología de manera que se consiga el máximo rendimiento.

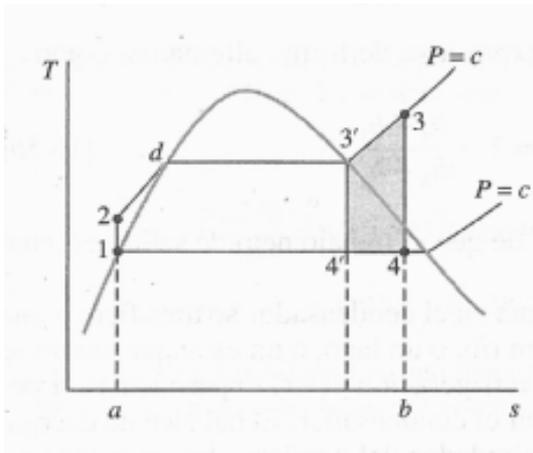
A grandes rasgos se pueden diferenciar para las tecnologías de cogeneración más extendidas los *ciclos Rankine o ciclo de vapor* que funcionan a través de turbinas de vapor y son recomendables para plantas a gran escala con potencias superiores a los 2 MWel, los Ciclos Orgánico Rankine (ORC) que son empleados para media escala con rangos de potencias comprendidos entre los 200 kWel y los 2 MWel (*Bioenergiesysteme GmbH., 2008*). Además existen los sistemas avanzados de ciclo combinado que están compuestos por un ciclo de alta que funciona a través de una turbina de gas y un ciclo de baja que recupera el calor sobrante en el ciclo de alta para calentar el fluido de trabajo en la turbina de baja.

A continuación se detallarán con mayor precisión estos sistemas y posteriormente se explicarán las conclusiones del sistema a emplear en el caso de estudio expuesto con la finalidad de evaluar si la elección ha sido la acertada.

9.1 Ciclo de Vapor (Ciclo Rankine)

El ciclo de vapor también conocido como ciclo Rankine es el principal ciclo de generación energética del cual han ido evolucionando otros ciclos como el ORC.

Principalmente consiste en una caldera, en este caso de biomasa, que calienta agua hasta su evaporación (puntos 2-3, en la Gráfica 7), dicha agua ha sido posteriormente impulsada por una bomba (1-2). Una vez que se dispone de vapor de agua, éste pasa a través de una turba de vapor (3-4), produciendo un trabajo mecánico que es transmitido a un generador para su conversión a energía eléctrica. Finalmente el vapor de agua es condensado (4-1) y el ciclo vuelve a repetirse. No obstante, esta configuración básica ha sido perfeccionada mejorando su eficiencia mediante el aumento de la temperatura en el punto 3 (colocando un sobrecalentador 3-3'), aumentando la presión en la caldera o disminuyendo la temperatura mediante la reducción de la presión en el condensador, usando algún refrigerante.



Gráfica 7 Diagrama Ts del ciclo Rankine simple con sobrecalentamiento.

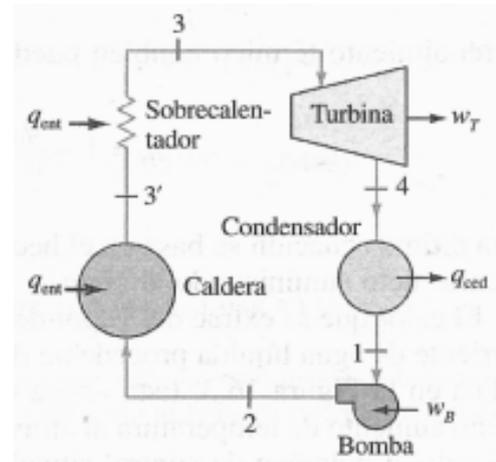


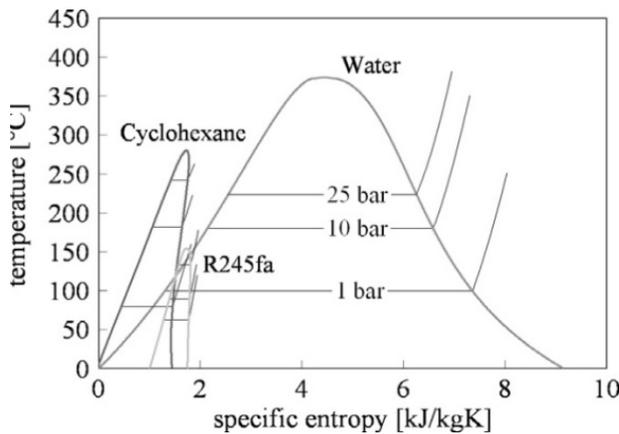
Figura 11. Diagrama ciclo Rankine simple con sobrecalentamiento.

La eficiencia en plantas de biomasa no muy grandes en este tipo de tecnologías ronda el 20% debido al uso de sobrecalentadores de ciclo abierto y a la baja presión de la bomba (Faaij, 2006).

9.2 Ciclo Orgánico Rankine (ORC)

El ORC ha tenido un gran impulso en los últimos años debido a la posibilidad de trabajar con fluidos orgánicos diferentes al agua, como hidrocarburos, capaces de trabajar a menores temperaturas debido a que sus puntos de ebullición se encuentran por debajo de los 100°C. El comportamiento del ciclo es similar al ciclo Rankine convencional de agua/vapor. Estos ciclos suelen usar sistemas de regeneración con el fin de extraer parte del calor del vapor saliente de la turbina que ha sido expandido para precalentar el fluido procedente del condensador antes del evaporador.

En la siguiente Gráfica 8 se muestra la comparación entre fluidos orgánicos y agua, donde se puede comprobar la posibilidad de trabajar con temperaturas inferiores a los 400°C.



Gráfica 8. Diagrama Ts comparativo entre agua y fluido orgánico.

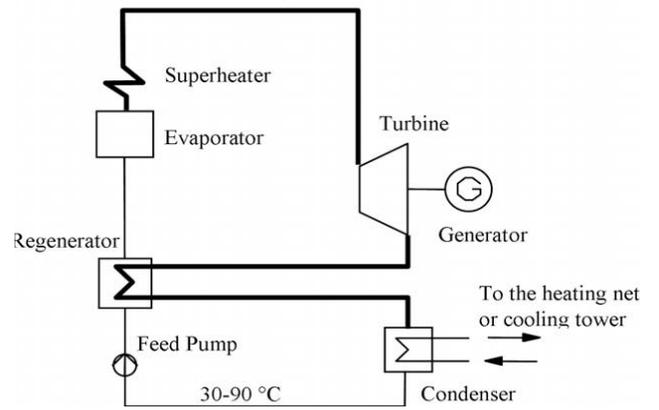


Figura 12: Diagrama ORC con regenerador de calor.

Es un ciclo recomendado para aprovechar el calor residual de otros ciclos, por lo que es ideal para funcionar como ciclo de baja en ciclos combinados. También permite trabajar a altas temperaturas mediante el uso de nuevos fluidos como el trimetilsiloxano (Kuo, 1999), lo que le permite su dimensionamiento a media escala.

Respecto a su eficiencia, puede alcanzar un alto rendimiento térmico entorno al 75% aportado por el aceite térmico y un rendimiento eléctrico entre el 15-20% (Bioenergiesysteme GmbH., 2008). Figura 13.

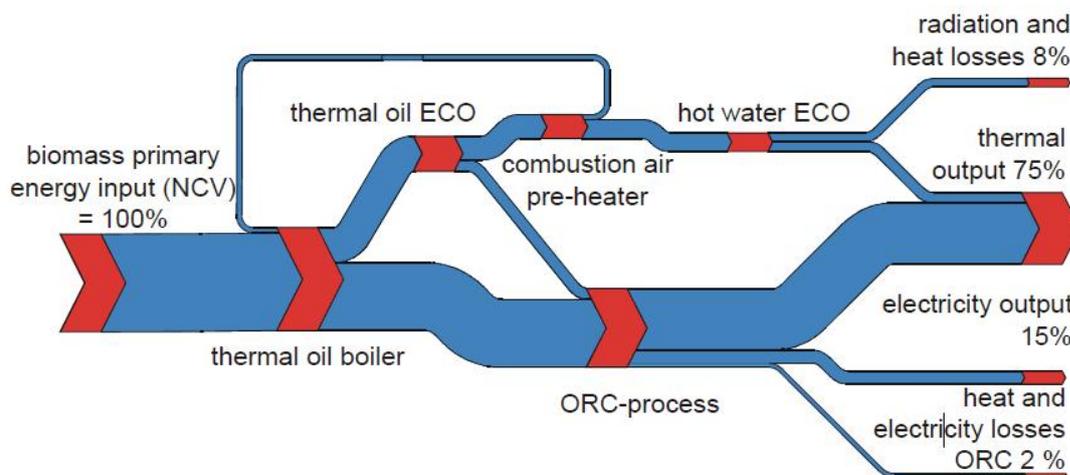


Figura 13. Balance energético de planta de cogeneración basada en ORC. Bioenergiesysteme GmbH., 2008

La posibilidad de trabajar con cargas a partir del 30% y tener menor riesgo de erosión en los álabes de la turbina que otros sistemas, son otras ventajas añadidas que se observan en este ciclo.

9.3 Ciclo de turbina de gas

Básicamente es un ciclo termodinámico que puede ser abierto o cerrado consistente en la compresión de un fluido (aire) aumentando su presión y, por tanto, su aumento de temperatura (1-2); posteriormente se hace pasar a través de un quemador dónde es calentado (2-3) antes de atravesar una turbina de gas (3-4) y producir un trabajo mecánico. Finalmente, si el aire es expulsado al ambiente, se trataría de un ciclo abierto, pero si éste es aprovechado en caldera de recuperación (HSRG) (4-1) sería un ciclo cerrado.

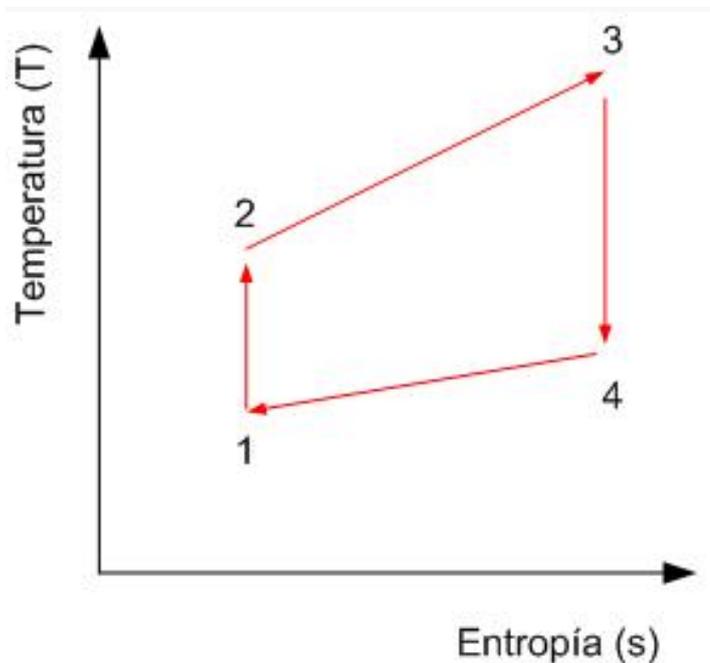


Figura 14. Ciclo termodinámico básico de las turbinas de gas. Fuente: Elcogas.

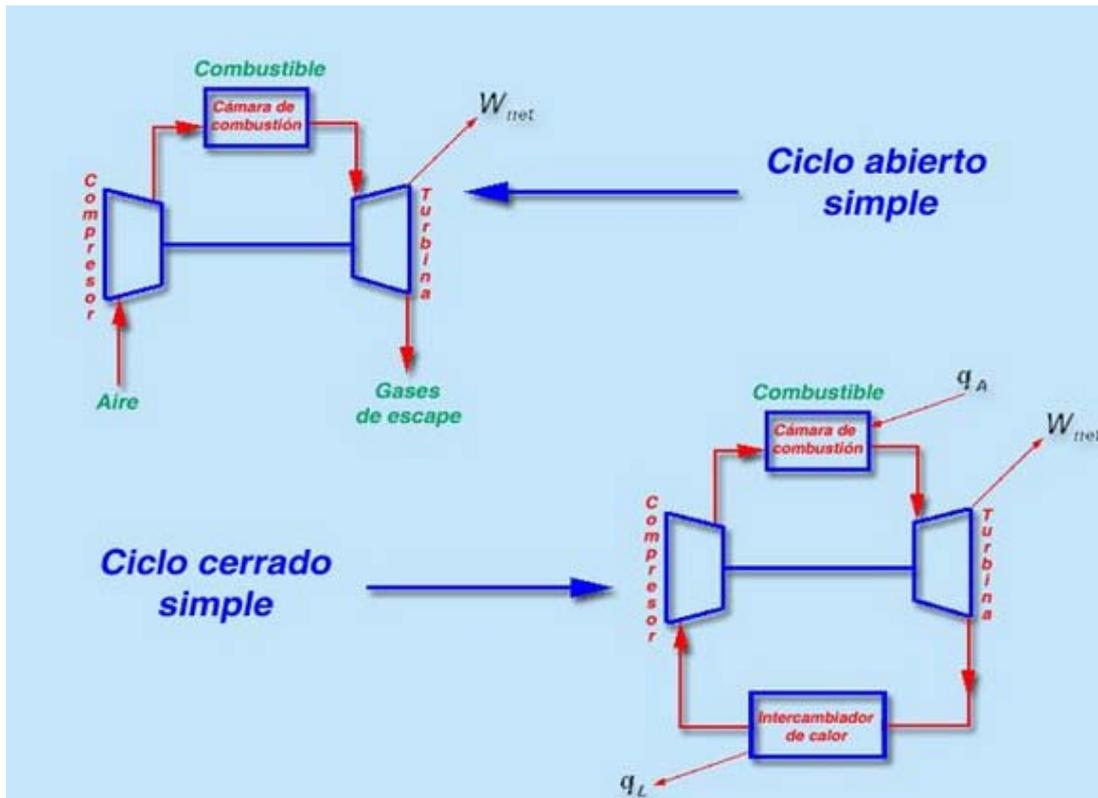


Figura 15. Esquema del ciclo básico de las turbinas de gas. Fuente: Elcogas.

Las turbinas de gas presentan una eficiencia energética entre el 25-35% en la combustión de gases de la biomasa, producen menores emisiones atmosféricas y son equipos compactos con alto grado de automatización, cuya producción de energía no supone un alto coste al igual que su instalación, en comparación con otros sistemas. Otro aspecto importante es la capacidad de trabajar con múltiples combustibles (Gregorio Juste, UPM).

9.4 Ciclo Combinado

Es considerado un sistema avanzado de generación energética compuesto principalmente por un ciclo de alta, que suele ser una turbina de gas, combinado con un ciclo de baja, que puede ser una turbina de vapor de agua u ORC, que aprovecha el calor de los gases de escape de la turbina de gas, los cuales se encuentran a muy elevada temperatura para calentar el fluido de trabajo en la turbina de baja, usando normalmente para este intercambio de calor un sistema denominado Heat Recovery Steam Generator (HRSG), consiguiéndose rendimientos entre el 50% y el 60% (Pihl et ál., 2010). *Figura 17.*

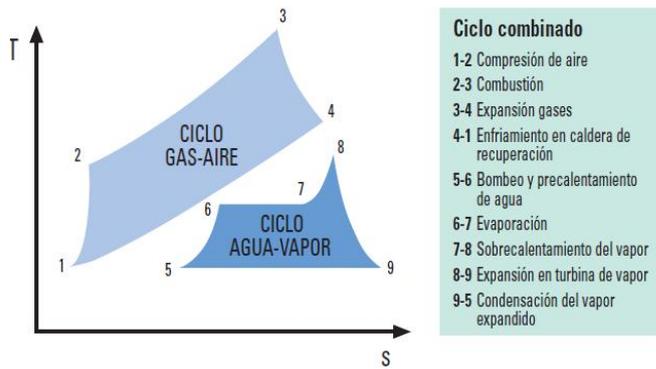


Figura 16. Diagrama Ts comparativo ciclo combinado. Fuente Elcogas.

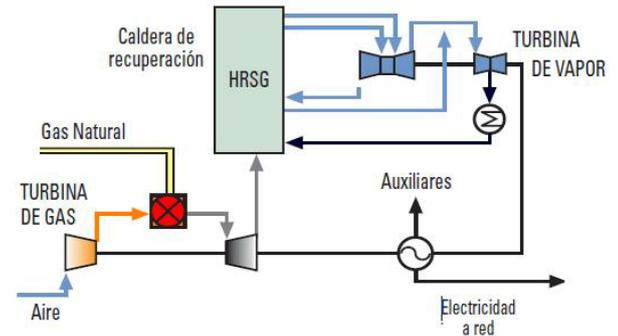


Figura 17. Diagrama ciclo combinado. Fuente Elcogas.

Las principales ventajas que presenta respecto a las tecnologías de ciclo de vapor de agua son su mayor eficiencia y menores emisiones (Elcogas).

9.5 Cogeneración

La cogeneración consiste en la producción simultánea de energía eléctrica y energía térmica, con sus siglas en inglés CHP (Combined Heat and Power). Una planta de ciclo de vapor no puede transformar más de un tercio del poder calorífico inferior de su combustible para la producción de calor (Lyle, 1947), por tanto, el resto de la energía del combustible es transformada en calor, el cual puede ser aprovechado para su uso en industrias o en “district heating”.

El aprovechamiento de este calor consiste en conducir el fluido utilizado para condensar el fluido de trabajo, en lugar de a un condensador, a un intercambiador de calor, de manera que se produzca una transferencia de calor de un fluido a otro y conduciendo el fluido condensador a un distrito o un proceso industrial.

Como se puede observar en el Figura 13 el rendimiento térmico en un sistema ORC puede alcanzar hasta el 75%.

9.6 Establecimiento de la tecnología y cálculos termodinámicos

La elección del ciclo termodinámico a emplear es otro aspecto importante a lo largo de este proyecto. Elegir una tecnología apta y eficiente no es tan complicado porque existen multitud de publicaciones al respecto que pueden orientar la selección de un sistema aceptable, pero lo importante no es esto, lo verdaderamente importante es elegir la tecnología más eficiente posible entre todas las tecnologías consideradas aptas.

Para realizar los cálculos relativos a trabajo, calor, energía y rendimientos del sistema se han empleado las leyes de la termodinámica así como el programa informático ESS (Engineering Equation Solver) que es un software de cálculo matemático, especialmente diseñado para termodinámica, que permite además la representación gráfica de los sistemas y es capaz de representar los diagramas (h,T,s,P, V) para distintos fluidos de trabajo.

El tipo de reacción sólido-gas será combustión con *lecho fluido burbujeante*. Nos encontramos en una población interior con red de distribución de gas, con algunas industrias y un núcleo urbano que puede hacer utilidad del calor emitido.

Según la bibliografía consultada de acuerdo a la cantidad de biomasa disponible, la potencia resultante en la planta sería superior a 2 MWel, por tanto, se estaría hablando de una planta de gran escala, de acuerdo a las explicaciones detalladas en el apartado 9 la tecnología más óptima para su implantación sería un *Ciclo de turbina de vapor o Ciclo Rankine* de acuerdo las escalas de potencias comentadas anteriormente. Además se podría aprovechar el calor generado para calentar una industria o un distrito, convirtiendo el sistema de cogeneración.

Un esquema simplificado resultante de la planta se puede observar en el Figura 18.

Para una mayor eficiencia del sistema se podrían usar sistemas de recalentamiento o regeneración, sin embargo, se ha optado por un sistema simple con la intención de abaratar costes.

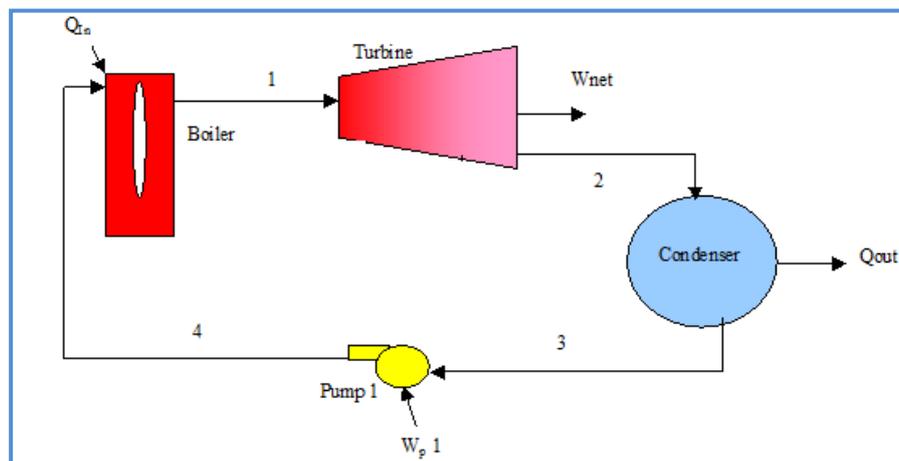


Figura 18. Esquema simplificado de turbina de vapor.

En la siguiente *Tabla 16* se resumen los distintos estados termodinámicos del sistema, tanto los establecidos como los obtenidos a través de su cálculo. Las operaciones de operación están dentro de límites normalizados.

Variable	Unidad	Estados			
		1	2	3	4
h	kJ/kg	2737	1757	191,7	205
T	°C	340	45,8	45,8	46,2
P	bar	130	0,1	0,1	130

Tabla 16. Variables de estado (h,T,P).

Municipios de Jaén	Disponibilidad de biomasa de olivo (t/año)	Tiempo De operación (h/año)	Energía térmica (MWh)	Energía eléctrica neta anual (MWh)	Potencia eléctrica (kW)		Rendimiento (%)	
					Bruta	Neta	Ciclo	Eléctrico
Puente del Obispo	65.387,2	7.500	43,5	97.884,64	14.356,42	13.051,29	33	30
Puente de Génave	29.858	7.500	19,8	44.697,43	6.555,63	5.959,66	33	30
Arjona	69.705	7.500	46,38	104.349,43	15304,59	13.913,26	33	30

Tabla 17. Resultados finales relativos a las plantas de biomasa en los tres municipios.

A partir de los datos que aparecen en la tabla 17 relativos a disponibilidad de biomasa de olivo, energía térmica y potencia eléctrica entre otros, se van a realizar los cálculos económicos que conciernen a cada planta para su posterior comparación y conclusión de cuál es la más viable teniendo en cuenta todos los criterios descritos en este proyecto

10. ESTUDIO ECONÓMICO

El análisis económico de este proyecto quizás sea el punto más crítico de todos los expuestos. En función de los resultados obtenidos en materia de rentabilidad se conseguirá atraer inversores, empresas o administraciones que al menos se planteen la posibilidad de implantar una planta de biomasa en el territorio que se ha estudiado.

Además, los incentivos que en gran medida acababan por impulsar este tipo de industrias han desaparecido, el *Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, “procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos”*, aunque según el apartado 3 del artículo 3 del nombrado RDL, el Gobierno podrá establecer regímenes económicos específicos para determinadas instalaciones de régimen especial, siempre y cuando se cumplan con unos requisitos de potencia instalada, tensión de entrega a red, contribución al medio ambiente, ahorro de energía y eficiencia energética, producción de calor útil económicamente justificable, costes de inversión y de operación y el tipo de energía primaria empleada. Pero como no se dan más datos al respecto para la resolución económica de estos sistemas no se aplicará prima alguna.

Respecto a la biomasa, según el *“REAL DECRETO 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial”*, ésta estaría situada en el apartado **a.1 Instalaciones que incluyan una central de cogeneración**. Dicho grupo se divide en tres subgrupos: **a.1.3 Cogeneraciones que utilicen como combustible principal biomasa y/o biogás**. **b.6 Centrales que utilicen como combustible principal biomasa procedente de cultivos energéticos, de residuos de las actividades agrícolas o de jardinerías, o residuos de aprovechamientos forestales y otras operaciones silvícolas en las masas forestales y espacios verdes**. **b.6.2 Centrales que utilicen como combustible principal biomasa procedente de residuos de las actividades agrícolas o de jardinerías**.

Ahora de acuerdo con la *Orden IET/221/2013, de 14 de febrero, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2013 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial*, las primas desaparecen y la tarifa regulada para instalaciones superiores a 2MWel es de **11,932 c€/kWh** durante los primeros 15 años y de **8,95 c€/kWh** a partir de entonces.

10.1 Coste de la biomasa

Establecer un precio fijo para la biomasa es bastante complicado ya que este puede oscilar debido a contingencias, como resultados de la recolección de los cultivos, dependiendo si ha sido una buena temporada, o factores meteorológicos, como heladas o escasez de lluvias y además, por tratarse de una economía de mercado libre, las empresas encargadas de la recogida y logística de biomasa pueden desviar sus ventas hacia otros países con mercados más atractivos.

Para el cálculo de la viabilidad económica de los casos de estudio de este proyecto se establecerá un precio de **17,350 €/ton** según *Aranda, Nicolás; 2012*. No muy alejado de los 18,116 €/ton de *IRENA 2012*.

Es recomendable la redacción de un *Documento de Condiciones Vinculantes entre Agricultores y Central eléctrica* que establezca las condiciones y las cláusulas para la retribución directa a los agricultores por la compra del kilo de biomasa en caso de que ellos mismos, y no a través de empresas de logística, deseen vender los residuos directamente.

10.2 Estimación de la viabilidad económica: nociones básicas

10.2.1 Valor Actual Neto (VAN)

Este método está ampliamente empleado para comparar el desembolso inicial con los flujos de efectivo futuro y conocer la evolución de proyectos de inversión.

El procedimiento consiste en actualizar al presente los flujos de caja futuros que se van a generar. A cada flujo de caja futuro se le aplica un descuento mediante una tasa o tipo de interés para actualizarlo y al valor resultante se le resta el importe de la inversión inicial obteniendo así el VAN del proyecto. Este ha de ser mayor a cero y cuanto mayor sea, más rentable resultará el proyecto.

$$VAN = A - \left[\frac{FC 1}{(1+r)^1} \right] + \left[\frac{FC 2}{(1+r)^2} \right] + \dots + \left[\frac{FCN}{(1+r)^n} \right]$$

A: Inversión inicial.

FC: Flujos de caja.

n: Números de años.

r: Tipo de interés (tasa de descuento)

10.2.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Su función es aceptar o rechazar un proyecto de inversión. Se establece una tasa de descuento y si ésta es superada por la TIR se acepta la inversión y en caso contrario se rechaza.

Se define como la tasa de interés o de descuento que iguala a cero el VAN. Es un indicador del proyecto, siendo mayor para mayor rentabilidad.

$$VAN = A - \left[\frac{FC1}{(1+r)^1} \right] + \left[\frac{FC2}{(1+r)^2} \right] + \dots + \left[\frac{FCN}{(1+r)^n} \right] = 0$$

10.2.3 Periodo de retorno de una inversión (Payback)

Se define como el tiempo que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja generados. La inversión se considera que ha sido recuperada en el año en el que los flujos de caja acumulados superan la inversión inicial.

10.2.4 Coste nivelizado de la energía (LCOE)

El coste nivelizado de la energía es el precio al cual la electricidad debe ser generada a partir de una fuente específica para cubrir los gastos durante la vida útil del proyecto. Se trata de una valoración económica del coste del sistema de generación eléctrica, incluyendo todos los costes a lo largo de su vida útil, inversión inicial, las operaciones y el mantenimiento, coste del combustible, coste del capital, y es muy útil para el cálculo de los costes de generación a partir de diferentes fuentes.

Para su cálculo se ha de aplicar la siguiente fórmula:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{It + Mt + Ft}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}}$$

LCOE: Vida media del coste nivelizado de la generación eléctrica.

It : Gastos de inversión en el año t.

Mt: Gastos de operaciones y de mantenimiento en el año t.

Ft : Gasto de combustible en el año t

Et : Generación de electricidad en el año t

r : Tasa de descuento

n : Vida del sistema

10.3 Resultados acerca de la viabilidad económica

A continuación se van a detallar los resultados obtenidos de los cálculos de la viabilidad económica, que se encuentran en el *Anexo 6 “Cálculos económicos”*.

Para conocer el importe de la inversión necesaria para las plantas situadas en los municipios asignados se pueden llevar a cabo diversos mecanismos como pueden ser la realización del presupuesto de todos los componentes de la planta, mediante las fórmulas de El-Sayed (2003), que relacionan los rangos de potencia térmica, presión y temperatura con el coste de cada uno de los componentes de la planta, mediante factores de escala comparativos con otras plantas similares o mediante los ratios establecidos por IRENA (junio, 2012).

Para este caso se ha decantado por los ratios marcados por *O'Connor, 2011* que aparecen en el informe *Cost Analysis Series, Biomass for Power Generation, IRENA, junio 2102*, estableciéndose un valor medio de **2.200 €/kW**.

En relación a los *costes de operación y mantenimiento*, se han considerado en total unos **310.000 €/año** de acuerdo con *Aranda, Nicolás; 2012* que establecía precios similares para una planta de 13,31 kW.

Una vez que se dispone del precio total de la inversión necesaria, el precio de la biomasa, la retribución por el kilowatio-hora y los parámetros de diseño de la planta, a través de los cálculos realizados en el *Anexo 6 “Cálculos”* se han obtenido los siguientes resultados:

PROYECTO - PLANTA BIOMASA 1. PUENTE DEL OBISPO 13 MWe			
INVERSIÓN TOTAL	29.455.198 €	PROMEDIO FLUJO CAJA	4.525.638 €
SUBVENCIÓN (fondo perdido)	€	TIR	25%
CANTIDAD a FINANCIAR	29.455.198 €	VAN	61.057.566 €
VIDA PROYECTO	20 años	PERIODO DE RETORNO	6,5 años
		TASA de RETORNO	6,368 %

Coste Electricidad Nivelizado (LEC)	
Precio de Mercado	11,93 c€/kwh
LEC total	3,3 c€/kwh
LEC Capital	0,83 c€/kwh
LEC Biomasa	1,41 c€/kwh
LEC O&M	0,63 c€/kwh
LEC Costes Indirectos	0,43 c€/kwh
PERIODO RETORNO	13,99 años
Promedio Caja Nivelizado	2.105.916 €

Tabla 18. Resultados de la evaluación de la viabilidad económica. Planta 1. Puente del Obispo.

PROYECTO - PLANTA BIOMASA 2. PUENTE DE GÉNAVE 5,95 MWe			
INVERSIÓN TOTAL	17.665.912 €	PROMEDIO FLUJO CAJA	1.983.028 €
SUBVENCIÓN (fondo perdido)	€	TIR	19%
CANTIDAD a FINANCIAR	17.665.912 €	VAN	21.994.645 €
VIDA PROYECTO	20 años	PERIODO DE RETORNO	8,9 años
		TASA de RETORNO	6,368 %

Coste Electricidad Levelizado (LEC)	
Precio de Mercado	11,93 c€/kwh
LEC total	4,03 c€/kwh
LEC Capital	1,09 c€/kwh
LEC Biomasa	1,41 c€/kwh
LEC O&M	0,96 c€/kwh
LEC Costes Indirectos	0,57 c€/kwh
PERIODO RETORNO	27,81 años
Promedio Caja Levelizado	635.337 €

Tabla 19. Resultados de la evaluación de la viabilidad económica. Planta 2. Puente de Génave.

PROYECTO - PLANTA BIOMASA 3. ARJONA 13,91 MWe			
INVERSIÓN TOTAL	26.499.123 €	PROMEDIO FLUJO CAJA	4.800.619 €
SUBVENCIÓN (fondo perdido)	€	TIR	30%
CANTIDAD a FINANCIAR	26.499.123 €	VAN	69.513.248 €
VIDA PROYECTO	20 años	PERIODO DE RETORNO	5,5 años
		TASA de RETORNO	6,368 %

Coste Electricidad Levelizado (LEC)	
Precio de Mercado	11,93 c€/kwh
LEC total	3,12 c€/kwh
LEC Capital	0,71 c€/kwh
LEC Biomasa	1,5 c€/kwh
LEC O&M	0,55 c€/kwh
LEC Costes Indirectos	0,37 c€/kwh
PERIODO RETORNO	11,01 años
Promedio Caja Levelizado	2.406.500 €

Tabla 20. Resultados de la evaluación de la viabilidad económica. Planta 3. Arjona.

11. CONCLUSIONES GENERALES

Los efectos del Cambio Climático, cuya realidad comienza a ser innegable de acuerdo con las conclusiones del último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014), podrían ser minimizados mediante políticas que incentiven las energías renovables. Una política gubernamental en este sentido resulta hoy absolutamente necesaria. La idea de este proyecto es apoyar tecnologías sensibles con el medio ambiente y con potencialidad de uso en Andalucía. En el marco del proyecto se ha tratado de poner de manifiesto que el estudio en detalle de la posibilidad de instalar plantas de biomasa en municipios, en este caso de la provincia de Jaén, con alto potencial de biomasa de olivar ofrece un camino, no solo para mitigar el Cambio Climático, sino también para contribuir al desarrollo económico y social de Andalucía, en un marco de desarrollo rural sostenible. Se puede establecer una cadena productiva continua desde la producción de biomasa hasta la propia venta de la energía, sin necesidad de depender del exterior, beneficiándose empresas, sectores productivos o zonas del calor sobrante en los procesos, alcanzándose un modelo sostenible que, no solo genera energía renovable sino que lucha contra el Cambio Climático. En España, en su conjunto territorial, al igual que en Andalucía, se pueden encontrar zonas con altos índices de producción de biomasa. Por ello, sería muy recomendable la constitución de equipos multidisciplinares que llevaran a cabo estudios como el que se presenta en diferentes municipios españoles con una alta producción de biomasa potencial. Esta recomendación podría considerarse como una primera conclusión de este estudio.

Otra cuestión que puede emanar del estudio presentado está relacionado con el coste de la biomasa, ya que la rentabilidad de una planta podría depender del mismo. Factores como fluctuaciones climáticas o comercialización hacia otros mercados podrían generar problemas de abastecimiento continuo y variaciones en precios, por ello es deseable conseguir acuerdos sólidos entre los distintos agentes implicados, tanto públicos como privados.

Tras el estudio de los posibles enclaves para la implantación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa en la provincia de Jaén, de acuerdo con los criterios empleados en el desarrollo del proyecto, llegamos a la conclusión de que el municipio en el que aparecen más indicadores favorables es Arjona, seguido muy de cerca por Puente del Obispo y en tercer lugar Puente de Génave. Para la determinación de la ubicación final de la planta han resultado criterios determinantes:

- Estudio económico: en el cual la relación inversión/potencia de la planta es más rentable en Arjona, además de tener un periodo de retorno de la inversión menor que las demás plantas.
- Disponibilidad de biomasa: la biomasa disponible de olivar hace que el enclave de Arjona sea más adecuado en comparación con las otras dos ubicaciones.
- Producción de energía térmica y eléctrica: la cantidad de MWh producida de nuevo conduce a la idoneidad de Arjona como lugar de implantación de la planta.

12. ABREVIATURAS EMPLEADAS

Las abreviaturas más empleadas en el presente proyecto se clasifican a continuación:

- AAE: Agencia Andaluza de la Energía.
- CAPJA: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
- CCGT: Ciclo combinado de turbina de gas.
- CHP: Cogeneración electricidad y calor (Combined Heating a Power).
- CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- CNE: Comisión Nacional de la Energía.
- CTAER: Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables de Andalucía.
- EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.
- EES: Engineering Equation Solver.
- FAO: Organización de la Agricultura de los Alimentos de las Naciones Unidas.
- GIS: Sistemas de información Geográfica.
- HRSG: Recuperador de calor en turbina de vapor (Heat Recovery Steam Generator).
- IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- IRENA: International Renewable Energy Agency.
- LCOE: Coste Nivelizado de la Energía.
- ORC: Ciclo Orgánico Rankine.
- PCI: Poder Calorífico Inferior
- RSU: Residuos Sólidos Urbanos
- TIR: Tasa Interna de Retorno
- VAN: Valor Actual Neto

13. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Andaluza de la Energía. (2013) Potencial de Biomasa en Andalucía. Mapas.
- Agencia Andaluza de la Energía. (2011) Potencial de Biomasa en Andalucía. Metodología.
- Agencia Andaluza de la Energía. (2013) La Biomasa en Andalucía.
- Appa, (2011). Inventario de plantas de biomasa biogás y pellets.
- Aranda-Pérez, Nicolas (2012). Assessment of different pathways to enhance the efficiency of a hybrid biomass-CCGT plant.
- Barroso, M. (2014) RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente, 177, 30-35.
- Benitez, A., (2010). Comportamiento Termodinámico de un ORC operando con varias sustancias para el aprovechamiento de fuentes térmicas de bajo potencial.
- Berkes. Tecnologías para el mejor uso de la biomasa y de los recursos renovables.
- Bionline. IDAE: Aplicación GIS para el cálculo de biomasa forestal on-line en todo el estado Español.
- BIORAISE . CIEMAT Aplicación GIS para la evaluación de los recursos de biomasa en el sur de Europa [On line] Disponible en: <http://bioraise.ciemat.es/bioraise>.
- BOE. Sábado 2 de febrero de 2013. RDL 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.
- BOE. Sábado 28 de enero de 2012. RDL 1/2012, de 27 de enero, por el se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.
- Bretaña del Campo, Estela (2007). PFC. Estudio Técnico-Económico de la Instalación de una Planta de Biomasa para Generación Eléctrica.

- Camacho, F. (2012). Gestión del residuo de Biomasa procedente de los invernaderos. ¿Problema o negocio?
 - Cerdá, E. (2012). La Biomasa en España: Una fuente de energía renovable con gran futuro.
 - Chemical Engineering (2012) Economic Indicators. [On line]
 - CNE (2013) Informe Marco sobre la demanda de energía eléctrica y gas natural, y su cobertura. Año 2012.
 - Coch, A., (2012). Central Geotermia de Alta Entalpía (Jaca).
 - Consejería Economía, Junta de Andalucía (2012). Informe de infraestructuras energéticas Andalucía.
 - Díaz González, J. (2014) RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente, 177, 54-56.
 - Diaz, M., (2011) Cogeneration potential in biomass plants. Gestamp Biomass.
 - El-Sayed Y. M. (2003) The thermo-economics of energy conversion. Elsevier.
 - Faaij, A. P. C. (2006) Bio-energy in Europe: changing technology choices. Energy Policy. 34 (3), 322-342.
 - FAO. Secadores Solares. www.fao.org.
- FAO. <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s08.htm>
- García, L., (2011). Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo.
 - González Hereza, N. (2014). RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente, 177, 78-83.
 - GOOGLE EARTH (^R) 2013 Google). Aplicación para soporte de GIS.
 - Guascor Bioenergía. Aprovechamiento energético de la biomasa forestal por gasificación. La mejor alternativa de generación distribuida.
 - NTU Method. The Effectiveness. Heat Exchangers.

- IDAE (2011). Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020.
- IDAE (2007). Biomasa. Maquinaria agrícola y forestal.
- IDAE (2007). Biomasa. Gasificación.
- IDAE (2007). Energía de la Biomasa.

- Institute of Chemical Engineering CEER (2011) Report on Renewable Energy Support in Europe.

- IRENA (2012) Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Biomass for Power Generation. Volume 1. Power Sector. Issue 1/5.

- Jonsson, Maria (2003). DT. Advances Power Cycles with Mixtures as the Working Fluid.

- Juste, G. Universidad Politécnica de Madrid. Turbinas de Gas.

- López, F., (2010). Energía de la Biomasa y Biocarburantes. Acciona Energía.

- Mendoza, A., (2006). PFC. Análisis de la viabilidad técnica-económica de un ciclo combinado con motor de combustión interna alternativo y ciclo Rankine orgánico.

- Ministerio de Industria, “Orden IET/3586/2011, 30 de Diciembre, 2011”. Boletín oficial del Estado, BOE No. 315, de 31 de diciembre de 2011.

- Ministerio de Industria, RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

- Ministerio de Industria. La energía en España 2011.

- Obernberger, I., Thonhofer, P., Reisenhofer, E. (2002) Description and evaluation of the new 1,000 kWel Organiz Rankine Cycle process integrated in the biomass CHP plant in Lienz, Austria, Euroheat & Power, 10.
- Obernberger, I., Thek, G., (2008). Combustion and gasification of solid biomass for heat and power production in europe-state-of-the-art and revelant future developments. Bios Bioenergiesysteme.
- Pérez, J.M., 2014. RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente, 177, 70-77.
- Rosillo-Calle, F., (2007). The Biomass Assessment Handbook.

-
- Sánchez-Junco, L., (2012). PFC. Aplicación del ciclo orgánico de Rankine para el aprovechamiento de calor residual en una refinería.
 - Sebastian Nogués, F., Garcia-Galindo, D., Rezeau, A., (2010). Energía de la biomasa (Volumen I).
 - Sebastian, F., Royo, J., (2002) Ciclo de energías renovables. Jornadas de Biomasa. Generalidades.
 - Schuster, A., Karellas, S. (2008) Supercritical Fluid Parameters in Organic Rankine Cycle Applications. Int.J. of Thermodynamics. Vol. 11 (No.3), pp. 101-108.
 - Schuster, A., Karellas, S., Kakaras, E. & Spliethoff, H. (2009) Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. Applied Thermal Engineering. 29 (8-9), 1809-1817.
 - Schuster, A., Karellas, S. & Aumann, R. (2010) Efficiency optimization potential in supercritical Organic Rankine Cycles. Energy. 35 (2), 1033-1039.
 - Strzalka, R., Erhart, Tobias., Eicker, U. (2012) Analysis and optimization of a cogeneration system based on biomass combustion.
 - Thorin, Eva. (2002). TD. Power Cycles with Ammonia-Water mixtures as Working Fluid.
 - Treviño, M., Tecnología de gasificación integrada en ciclo combinado: GICC. Elcogás.
 - UNEP & Grid Arendal (2012). Biofuel Vital Graphics. Powering a Green Economy.
 - Universidad de Málaga, Manuales (1998). Manual Práctico de turbomáquinas térmicas.
 - Valdes del Fresno, M., Wolff, G., Casanova, J., (1998). Problemas resueltos de máquinas y motores térmicos.
 - Valdimarsson, Dr.Páll (2011). Geothermal Power Plant Cycles and Main Components.
 - Valentín Botija, Sergio (2011). PFC Proyecto de una central eléctrica de biomasa.
 - Xunta de Galicia (2014) RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente, 177, 22-25.

14 ANEXOS

- *Anexo 1.* Potencial de biomasa en Andalucía.
- *Anexo 2.* Tablas de cálculo de biomasa.
- *Anexo 3.* Características del proceso de gasificación.
- *Anexo 4.* Características del proceso de combustión.
- *Anexo 5.* Maquinaria.
- *Anexo 6.* Cálculos económicos.

ANEXO 1. POTENCIAL DE BIOMASA EN ANDALUCÍA

	TOTAL PROVINCIAL		RESIDUOS AGRICOLAS		RESIDUOS GANADEROS		RESIDUOS FORESTALES		RESIDUOS INDUSTRIALES		RESIDUOS URBANOS		CULTIVOS ENERGÉTICOS	
	TONELADAS	KTEP	TONELADAS	KTEP	TONELADAS	KTEP	TONELADAS	KTEP	TONELADAS	KTEP	TONELADAS	KTEP	TONELADAS	KTEP
ALMERÍA	1.337.052	148	420.323	55	542.343	7	35.347	10	55.602	12	245.408	51	36.029	12
CADIZ	1.851.423	314	251.913	72	600.236	12	56.234	18	84.158	23	480.068	59	358.604	90
CORDOBA	3.012.933	631	754.218	237	555.920	10	197.627	55	895.794	161	270.403	52	344.970	115
GRANADA	1.954.756	373	343.500	99	485.983	8	85.867	23	562.723	117	290.683	64	186.001	62
HUELVA	1.924.053	402	122.125	27	351.606	10	618.551	126	546.717	165	184.309	40	100.745	35
JAEN	4.026.057	884	1.260.517	400	323.290	5	160.273	45	2.019.325	376	205.382	38	57.259	19
MALAGA	1.849.453	310	280.617	84	520.705	8	35.516	10	292.471	48	618.589	125	101.565	34
SEVILLA	4.223.451	896	1.163.209	346	872.442	16	145.234	35	638.228	123	633.839	122	759.418	253
ANDALUCIA	20.155.159	3.958	4.605.423	1.321	4.242.525	77	1.345.940	322	5.070.029	1.025	2.525.752	551	1.864.500	620

ALMERÍA		
BIOMASA	TONELADAS	KTEP
AGRICOLA	420.323	55
GANADERA	542.343	7
FORESTAL	35.347	10
INDUSTRIAL	55.602	12
CULTIVOS ENERGETI	36.029	12
URBANA	245.408	51
TOTAL	1.337.052	148

CADIZ		
BIOMASA	TONELADAS	KTEP
AGRICOLA	251.913	73
GANADERA	600.236	12
FORESTAL	66.434	18
INDUSTRIAL	84.158	23
CULTIVOS ENERGETI	268.604	90
URBANA	480.068	59
TOTAL	1.831.423	314

CORDOBA		
BIOMASA	TONELADAS	KTEP
AGRICOLA	754.218	237
GANADERA	555.920	10
FORESTAL	197.627	55
INDUSTRIAL	895.794	161
CULTIVOS ENERGETI	344.970	115
URBANA	270.403	52
TOTAL	3.012.933	631

GRANADA		
BIOMASA	TONELADAS	KTEP
AGRICOLA	343.500	99
GANADERA	485.983	8
FORESTAL	85.867	23
INDUSTRIAL	562.723	117
CULTIVOS ENERGI	186.001	62
URBANA	290.683	64
TOTAL	1.954.756	373

HUELVA		
BIOMASA	TONELADAS	KTEP
AGRICOLA	122.125	27
GANADERA	351.606	10
FORESTAL	618.551	126
INDUSTRIAL	546.717	165
CULTIVOS ENERGETI	100.745	35
URBANA	184.309	40
TOTAL	1.924.053	402

JAEN		
BIOMASA	TONELADAS	KTEP
AGRICOLA	1.260.517	400
GANADERA	323.290	5
FORESTAL	160.273	45
INDUSTRIAL	2.019.325	376
CULTIVOS ENERGI	57.259	19
URBANA	205.382	38
TOTAL	4.026.057	884

MÁLAGA		
BIOMASA	TONELADAS	KTEP
AGRICOLA	280.617	84
GANADERA	520.705	8
FORESTAL	35.516	10
INDUSTRIAL	292.471	48
CULTIVOS ENERGETI	101.565	34
URBANA	618.589	125
TOTAL	1.849.453	310

SEVILLA		
BIOMASA	TONELADAS	KTEP
AGRICOLA	1.163.209	346
GANADERA	872.442	16
FORESTAL	145.234	35
INDUSTRIAL	638.228	123
CULTIVOS ENERGI	759.418	253
URBANA	633.839	122
TOTAL	4.223.451	896

ANEXO 2. TABLAS DE CÁLCULO DE BIOMASA

ANEXO 2. Tablas cálculo biomasa pueblos. Olivar										
COD. MUN.	MUNICIPIO	PROVINCIA	AREA MUNICIPIO (Km2)	AREA BIOMASA AFECTADA (Km2)	PORCENTAJE BIOMASA AFECTADA (%)	TERMIAS OLIVAR	TERMIAS OLIVAR DISPONIBLES	TERMIAS OLIVAR DISPONIBLES FINALES (-10%)	KTEP OLIVAR DISPONIBLES FINALES	KILOS OLIVAR
23009	Baeza	Jaén	192,8	132,9	68,93	118.296.849,9	81.543.834,8	73.389.451,3	7,33	37.176.435,2
23074	Rus	Jaén	47,2	39,41	83,47	23.340.412,2	9.197.704,8	8.227.934,3	0,83	7.335.162,4
23002	Bedmar y Garcez	Jaén	118,8	44,3	37,29	61.366.067,1	22.883.137,8	20.594.824,0	2,06	19.284.952,4
23082	Úbeda	Jaén	347	160,27	46,19	212.099.059,8	97.962.871,2	88.166.584,1	8,81	66.655.772,9
23053	Jódar	Jaén	149	33,6	22,55	46.679.448,8	10.526.372,4	9.473.735,1	0,95	14.669.675,9
23014	Begijar	Jaén	43	16	37,21	24.370.169,8	9.067.970,2	8.161.173,2	0,82	7.658.631,8
	Total			405,67			231.161.691,2	208.063.702,1		20,79
PUENTE DEL OBISPO										
23037	Génave	Jaén	64,2	28,68	44,67	13.551.862,0	9.292.831,50	8.363.546,35	0,836354835	4.259.030,5
23072	La Puerta de Segura	Jaén	99,2	46,21	47,06	26.096.295,5	17.894.885,70	16.105.397,13	1,610539713	8.201.409,80
23905	Arroyo del Ojanco	Jaén	57,31	49,8	86,95	18.355.357,90	12.586.911,90	11.328.220,71	1,132822071	5.768.446,10
23012	Beas de Segura	Jaén	160,3	106,58	66,49	104.284.483,40	71.517.457	64.365.711,30	6,43657113	32.777.026,40
23065	Orcera	Jaén	126	18,57	14,74	11.359.557,60	7.789.519,20	7.010.567,28	0,701056728	3.570.038,40
	PUENTE DE GÉNAVÍ	Jaén	38,8	25,37	65,39	16.260.077,90	11.149.935,70	10.034.942,13	1,003494213	5.110.142,2
	Total			275,21			130.231.541,00	117.208.366,90		11,720836690
23007	Ajonilla	Jaén	42,4	39,98	94,29	24.357.349,8	16.702.410	15.032.169	1,5032169	7.654.939,8
23040	La Higuera	Jaén	44,75	41,87	93,56	21.073.501,8	14.450.650,90	13.005.585,81	1,300558581	6.622.860,9
23005	Andújar	Jaén	964,9	110,48	11,45	43.904.595,1	30.106.599,50	27.095.939,55	2,709593955	13.797.995,6
23056	Lopera	Jaén	67,9	63,2	93,08	35.196.654,9	24.135.184,50	21.721.666,05	2,172166605	11.061.470,4
23069	Porcuna	Jaén	176,3	164,62	93,37	93.020.611,8	63.786.428	57.607.785,2	5,76077852	29.234.183,8
	ARONA	Jaén	158,5	150,85	95,17	84.728.822,4	58.100.620,0	52.290.558	5,2290558	26.628.202,4
	Total			571			207.281.893	186.763.704		18,67637036

KILOS OLIVAR DISPONIBLES	KILOS OLIVAR DISPONIBLES FINALES (-10%)	ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (kg/ha)	TOTAL KTEP MUNICIPIOS	TOTAL TONELADAS MUNICIPIOS	TONELADAS RESIDUOS AGRÍCOLAS ÁREA AFECTADA	KTEP RESIDUOS AGRÍCOLAS ÁREA AFECTADA
25.626.287,5	23.063.658,8	1.735,4	12,0	37.897,3	26.122,6	6,272
2.890.551,3	2.601.496,2	1.398,7	2,3	7.335,2	2890,8	0,91
7.191.274,3	6.472.146,9	1.461,0	6,1	19.285,0	7191,38	2,27
30.786.515,0	27.707.863,5	1.728,8	21,7	68.295,1	31545,5	10,02
3.308.061,1	2.977.255,0	886,1	4,7	14.675,5	3309,3	1,06
2.849.723,5	2.564.751,1	1.603,0	2,8	8.965,2	3335,95	1,04
72.652.412,8	65.387.171,5	8.812,9	49,7	156.453,2	74395,63	23,572
1.902.508,92	1.712.258,03	597,0216283	1,8	5.728,60	2.558,97	0,80
3.859.583,45	3.473.625,11	751,7041993	2,6	7.585,80	3.569,88	1,22
5.015.663,88	4.514.097,49	906,4452791	1,8	5.768,40	5.015,62	1,57
21.793.444,85	19.614.100,37	1840,317167	10,4	32.777,00	21.793,43	1,53
526.223,66	473.601,29	255,0356995	1,1	3.570,00	526,22	0,16
78.148,68	70.333,81	27,72322113	1,6	5.110,10	3.341,49	1,05
33.175.573,44	29.858.016,10	4.378,25	19,3	60.539,90	36.805,61	6,33
7.217.842,74	6.496.058,46	1624,83	2,4	7.654,90	7.217,80	2,26
6.188.326,16	5.578.493,54	1.332,340000	2,4	7.585,50	7.096,99	2,25
1.579.870,50	1.421.883,45	128,700000	9,3	30.145,50	3.451,66	1,06
10.296.016,65	9.266.414,99	1.466,21000	3,9	12.401,10	11.542,94	3,63
27.295.957,41	24.566.361,67	1492,31	9,6	30.100,50	28.104,84	8,96
24.862.752,58	22.376.477,32	1483,36	8,8	27.710,3	26.371,89	8,37
77.450.766,04	69.705.689,43	5902,92	34	107.942,92	83.786,12	26,53

COD_MUN	MUNICIPIO	PROVINCIA	AREA MUNICIPIO (Km2)	AREA BIOMASA AFECTADA (Km2)	PORCENTAJE BIOMASA AFECTADA (%)	TERMIAS TOMATE DISPONIBLES	TERMIAS TOMATE DISPONIBLES	TERMIAS DISPONIBLES FINALES (-10%)
23009	Baeza	Jaén	192,8	132,9	68,93	198.596,60	96.752,20	87.076,98
23074	Rus	Jaén	47,2	18,6	39,41			
23902	Bedmar y Garcíez	Jaén	118,8	44,3	37,29			
23092	Úbeda	Jaén	347	160,27	46,19	121.536,20	59.209,90	53.288,91
23053	Jódar	Jaén	149	33,6	22,55			
23014	Begíjar	Jaén	43	16	37,21	84.468,40	41.151,30	37.036,17
	Total						197.113,40	177.402,06
	PUENTE DEL OBISPO							
23037	Génave	Jaén	64,2	28,68	44,67			
23072	La Puerta de Segura	Jaén	98,2	46,21	47,06			
23905	Arroyo del Ojanco	Jaén	57,31	49,8	86,95			
23012	Beas de Segura	Jaén	160,3	106,58	66,49			
23065	Orcera	Jaén	126	18,57	14,74			
	Total		38,8	25,37	65,39			
	PUENTE DE GÉNAVE							
23007	Arjonilla	Jaén	42,4	39,98	94,29			
23040	La Higuera	Jaén	44,75	41,87	93,56	16.511,8	8.044,20	7.239,78
23005	Andújar	Jaén	964,9	110,48	11,45	285.063,1	138.876,90	124.989,21
23056	Lopera	Jaén	67,9	63,2	93,08	21.278,1	10.366,30	9.329,67
23069	Porcuna	Jaén	176,3	164,62	93,37			
	Total		156,5	150,85	95,17	535,5	287,90	259
							157.575	141.818

ANEXO 2. Tablas cálculo biomasa pueblos. Algodón									
COD. MUN	MUNICIPIO	PROVINCIA	AREA MUNICIPIO (Km2)	AREA BIOMASA AFECTADA (Km2)	PORCENTAJE BIOMASA AFECTADA (%)	TERMIAS ALGODÓN	TERMIAS ALGODÓN DISPONIBLES	TERMIAS ALGODÓN DISPONIBLES FIALES (-10%)	
23009	Baeza	Jaén	192,8	132,9	68,93	1.711.898,90	1.141.266	1.141.152	
23074	Rus	Jaén	47,2	18,6	39,41				
23902	Bedmar y Garciez	Jaén	118,8	44,3	37,29				
23092	Úbeda	Jaén	347	160,27	46,19	3.282.165,80	2.188.111	2.187.892	
23053	Jódar	Jaén	149	33,6	22,55				
23014	Begíjar	Jaén	43	16	37,21	3.738.479,40	2.492.320	2.492.070	
	Total						5.821.696	5.821.114	
	PUENTE DEL OBISPO								
23037	Génave	Jaén	64,2	28,68	44,67				
23072	La Puerta de Segura	Jaén	98,2	46,21	47,06				
23905	Arroyo del Ojanco	Jaén	57,31	49,8	86,95				
23012	Beas de Segura	Jaén	160,3	106,58	66,49				
23065	Orcera	Jaén	126	18,57	14,74				
	PUENTE DE GÉNAVE								
	Total		38,8	25,37	65,39				
23007	Arjonilla	Jaén	42,4	39,98	94,29				
23040	La Higuera	Jaén	44,75	41,87	93,56	2.281.360,3	1.520.906,90	1.368.816,21	
23005	Andújar	Jaén	964,9	110,48	11,45	48.160.995,9	32.107.330,60	28.896.597,54	
23056	Lopera	Jaén	67,9	63,2	93,08	3.284.244,4	2.189.496,30	1.970.546,67	
23069	Porcuna	Jaén	176,3	164,62	93,37				
	ARJONA								
	Total		158,5	150,85	95,17	2.516.052,1	2.515.213,42	2.263.692	
						38.332.947		34.499.652	

ANEXO 2. Tablas cálculo biomasa pueblos. Girasol		PROVINCIA	AREA BIOMASA AFECTADA (Km2)	PORCENTAJE BIOMASA AFECTADA (%)	TERMIAS GIRASOL	TERMIAS GIRASOL DISPONIBLES	TERMIAS GIRASOL DISPONIBLES FINALES (-10%)
COD_MUN	MUNICIPIO	PROVINCIA	AREA BIOMASA AFECTADA (Km2)	PORCENTAJE BIOMASA AFECTADA (%)	TERMIAS GIRASOL	TERMIAS GIRASOL DISPONIBLES	TERMIAS GIRASOL DISPONIBLES FINALES (-10%)
23009	Baeza	Jaén	192,8	132,9	68,93	92176,2	82958,58
23074	Rus	Jaén	47,2	39,41	37,29		
23092	Bedmar y Garciez	Jaén	118,8	44,3	1402998,7	920089,9	828080,91
23092	Úbeda	Jaén	347	160,27			
23053	Jódar	Jaén	149	33,6	49543,8	32490,3	29241,27
23014	Begijar	Jaén	43	16		1044756,4	940280,76
	Total						
	PUENTE DEL OBISPO						
23037	Génave	Jaén	64,2	28,68	44,67		
23072	La Puerta de Segura	Jaén	98,2	46,21	47,06		
23905	Arroyo del Ojanco	Jaén	57,31	49,8	86,95		
23012	Beas de Segura	Jaén	160,3	106,58	66,49		
23065	Orcera	Jaén	126	18,57	14,74		
	Total		38,8	25,37	65,39		
23007	Arjonilla	Jaén	42,4	39,98	94,29		
23040	La Higuera	Jaén	44,75	41,87	93,56	369.590,90	332.631,81
23005	Andújar	Jaén	964,9	110,48	11,45	429.074,3	281.382,50
23056	Lopera	Jaén	67,9	63,2	93,08	679.708,6	445.747,50
23069	Porcuna	Jaén	176,3	164,62	93,37		
	Total		158,5	150,85	95,17	463.289,70	416.961
						1.560.011	1.404.010

ANEXO 3. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN

GASIFICACIÓN			
		VALORACIÓN	
Ventajas	Sirve para equipos que funcionen con gas o gasóleo	+	
	Emisiones Nox inferiores a la combustión	+	
	Posibilidad de trabajar con diferentes cargas	+	
	Eficiencia energética=Egas/Ebiomasa=90%	+	
	Las cenizas pueden actuar como catalizadores	+	
	Parte de los residuos generados se pueden aprovechar	+	
Desventajas	Alto coste en la limpieza del gas	--	
	No está totalmente desarrollada, existen problemas técnico economicos por resolver	--	
	Para su obtención se lleva a cabo un proceso complejo	-	
	La eficiencia global de producción de energía tomando como base el poder calorífico del combustible va desde el 30 al 47% dependiendo del tipo de sistema de aportación del gas.	-	
	Costes mantenimiento, energía auxiliar, otros	--	
Otros	Límite máximo de contenido en cenizas del 10%	Según tipo biomasa	
	Biomasa de baja densidad son difíciles de fluidizar, en ese caso se pueden usar arenas o cales	+	
Aplicaciones	Permite la combustión directa del gas en una caldera para la obtención de E.Térmica y a su vez la introducción del vapor generado en una turbina de vapor para generar electricidad	+	
	La producción de electricidad a través de mcia es recomendable para instalaciones de baja potencia	+	
TIPOS DE GASIFICADORES	UPDRAFT		
	PCS del gas (MJ/m3N) Aire/Oxígeno	4-6/8-14	+
	Contenido Alquitrans	Muy Alto	--
	Contenido Partículas en Suspensión	Medio	/
	Eficiencia Energética gas frío (%) Aire/Oxígeno	60-86/75-90	+
	Tamaño de la partícula (cm)	entre 5 y 15	+
	Humedad	<55% bh.	++
	Limpieza del gas	Coste muy alto	--
	Rango de potencias	1100kW-20MW	--
	Tecnología	No es compleja	+
	DOWNDRAFT		
	PCS del gas (MJ/m3N) Aire/Oxígeno	4-6/9-11	+
	Contenido Alquitrans	Muy Bajo	++
	Contenido Partículas en Suspensión	Medio	/
	Eficiencia Energética gas frío (%) Aire/Oxígeno	70-90/80-90	+
	Tamaño de la partícula (cm)	03 - 010	-
	Humedad	< 30%	+
	Contenido en cenizas	Bajo	++
	Coste limpieza del gas	Bajo	+
	Aplicaciones	Pequeña-media escala 20kW-5MW	++
	LECHO FLUIDIZADO		
	PCS del gas (MJ/m3N) Aire/Oxígeno	4-6/8-14	+
	Contenido Alquitrans	Medio	-
	Contenido Partículas en Suspensión	Muy Alto	--
	Eficiencia Energética gas frío (%) Aire/Oxígeno	69-87/75-90	+
	Tamaño de la partícula (cm)	1mm-4cm	--
	Tecnología	No es compleja	+
	Contenido en cenizas	Alto	--
Tipo de biomasa	Versátil	+	
Aplicaciones	A gran escala	--	
LECHO ARRASTRADO			
Contenido Alquitrans	Bajo	++	
Estado de la tecnología	No muy desarrollada	--	
Eficiencia Energética gas frío (%) Aire/Oxígeno	95	++	
Tamaño de la partícula (cm)	1mm-4cm	--	
Aplicaciones	A gran escala	--	

ANEXO 4. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN

COMBUSTIÓN			VALORACIÓN
Humedad	<60%		++
Estado Tecnología	Bastante desarrollada		++
Aplicaciones	De muy pequeña a gran escala		++
Coste Tecnología	Inferior al de la pirólisis y la gasificación		++
TIPOS DE CALDERAS			
	Calderas pirotubulares o de tubos de humo		
Perdida de carga	Elevada		-
Tipo de Diseño	Sencillo		+
Utilización	Calefacción doméstica y ACS		--
	Calderas acuotubulares o de tubos de agua		
Rangos de potencia	Mayores rangos que las anteriores		+
Coste Tecnología	Mayor coste que el anterior		-
TIPOS DE QUEMADORES			
Lecho Fijo			
Utilización	Calefacción doméstica, Cogeneración de calor y electricidad.		+
Inversión	Muy Baja		++
Costes de operación	Bajos		+
Rendimientos	En continuo, rendimientos 80-90%		+
Pretratamientos	Sí		-
Emisiones Nox	Problemas con emisiones de Nox		--
Emisiones de Cenizas	Necesario Sinterización de cenizas		-
Velocidad de procesado	0.3-1.2m/s		
Tipos de biomasa	Baja Versatilidad		-
Tamaño Partícula	Amplio		+
Eficiencia	Media		-
Control	Difícil		-
Exceso aire	Elevado		-
Combustión en Pila			
Alimentación	Discontinua		-
Tipo biomasa	Quema de Leña y Briquetas		-
Aplicaciones	Instalaciones pequeñas <250kWt		-
Diseño	Sencillo.		+
Fiabilidad	Alta y flexible		+
Inversión	Baja		+
Inconvenientes	Deterioro cámara de combustión		-
Control	Difícil		-
Rendimiento Caldera	Bajo		-
Emisiones CO	Altas		-
Emisiones cenizas	Altas		-
Parrilla de afloración			
Inercia térmica	Alta		+
Aplicaciones	Domésticas		--
Tipos de biomasa	Pelets		--
Rango de potencias	10-500kWt		-
Parrilla de alimentación superior			
Tipos de biomasa	Versátil		++
Rango de potencias	100-500000 kWt		++
Lecho fluidizado			
Emisiones Nox	Menor que en lecho fijo		++
Emisiones cenizas	Sinterización de Cenizas		-
Exceso aire	Inferior que en lecho fijo		+
Eficiencia	95%		+
Auxiliares	Costes en consumos auxiliares		-
Capacidad de procesado	Alta		++
Tipo biomasa	Flexible. Distintas humedades y distintos PC		++
Tamaño de partículas	<10%		-
Ventajas	Mejorar de los procesos termoquímicos, alto coeficiente de transmisión de calor y generación		+
	Temperatura del lecho estable, disminuye la formación de Nox, evita formación cenizas, disminuye volatización de alcalinos		+
	Permite utilizar caliza o arena de bajo coste (sorbentes) para la reducción de emisiones de SO2		+
Desventajas	Tecnología atractiva y desarrollada		+
	Abrasión de equipos		-
	Necesidad de un ciclón		-
	Limpieza del lecho y coste para impulsar el aire		-
Quemadores de partículas en suspensión			
Eficiencia	Alta >90%		+
Aplicaciones	Apoyo a instalaciones de lecho fijo También se emplean en co-combustión		-
Coste auxiliares	Necesidad de pretratamientos alta		-
Aplicaciones	Generación termoeléctrica a gran escala		--
Rendimiento	Elevado		+
Tipo biomasa	Muy Versátil		+
Tamaño biomasa	Muy Pequeño		--
Costes de operación	Altos costes de operación		--
Regulación	Simple y eficaz		+
Inversión	Altos costes de inversión		--
Requisitos	Combustible adicional en los arranques		-
Aplicaciones	Instalaciones >3MWt		-
Capacidad de procesado	Alta		+

CARACTERÍSTICAS DISTINTOS TIPOS DE TECNOLOGÍA DE COMBUSTIÓN

ANEXO 5. MAQUINARIA



Máquina trituradora recuperadora de madera de poda de olivo, frutos secos y restos forestales, etc. para acoplar a tractores de 120 - 140 CV o instalar en el tripuntal delantero de un tractor estándar de 130 - 200 CV.

En el caso del tractor estándar, éste podrá llevar enganchado un remolque en la parte posterior para recepcionar el material que es conducido por un tubo flexible.

Trituradora con doble alimentador reversible accionado hidráulicamente (sistema BRALAKC), rotor con sistema RHENDUEL, turbina de lanzamiento y conducción entre la máquina y el depósito.

Permite trabajar con madera hasta 12 - 15 cm.

Granulometría apta para que la madera triturada se utilice directamente en calderas de biomasa. El material resultante está considerado como "triturado" para el suministro directo a las plantas de biomasa.

CARACTERÍSTICAS

Enganche al tractor categoría II - III.

Chasis en chapa antidesgaste.

Doble alimentador sistema BRALAKC.

Patines.

Rotor con sistema RHENDUEL.

Cadena de alimentador triple.

Doble transmisión lateral por correas SPCX.

Transmisión cardan con protección.

Turbina de lanzamiento con transmisión independiente.

Toma de fuerza de 1000 rpm.

Modelo construido según la Normativa CE.

Indicaciones de Seguridad visibles al personal.





Alimentador Bralake



Rotor Rhenduel



Cadena de alimentación triple



Turbina de lanzamiento

MODELO							
	mm	HP - CV		A	B	C	
T-2000	2000	88 - 120 147 - 200	2170	2487	1543	1520	1000

OPCIONES

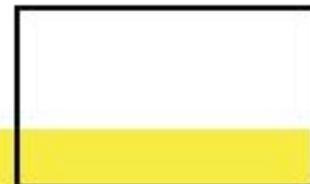
- Rueda libre en la manga.



Rueda libre



Ctra. Nacional 240 km. 148,3
22310 Casbijón del Puente (Huesca) - España
Tlfo. (+34) 874 417 830 - Fax. (+34) 874 410 058
www.serrat.es - comercial@serrat.es



Los datos presentados en este catálogo son proporcionados a título meramente informativo y no son vinculantes.

ANEXO 6. CÁLCULOS ECONÓMICOS

Proyecto: PLANTA BIOMASA 1. PUENTE DEL OBISPO

Resumen Evaluación Viabilidad Económica

PROYECTO - PLANTA BIOMASA 1. PUENTE DEL OBISPO 13 MWe			
INVERSIÓN TOTAL	29.455.198 €	PROMEDIO FLUJO CAJA	4.525.638 €
SUBVENCIÓN (fondo perdido)	€	TIR	25%
CANTIDAD a FINANCIAR	29.455.198 €	VAN	61.057.566 €
VIDA PROYECTO	20 años	PERIODO DE RETORNO	6,5 años
		TASA de RETORNO	6,368 %

INVERSOR A	
INVERSIÓN TOTAL	5.891.040 €
PERIODO de RETORNO	6,5 años
INTERESES DEVUELTOS	3.711.355 €
BENEFICIO NETO	12.211.513 €
Interés Requerido	6,0 %
BENEFICIO TOTAL	15.922.868 €

INVERSOR B	
INVERSIÓN TOTAL	€
PERIODO de RETORNO	, años
INTERESES DEVUELTOS	€
BENEFICIO NETO	€
Interés Requerido	,0 %
BENEFICIO TOTAL	€

INVERSOR C (banco)	
INVERSIÓN TOTAL	23.564.158 €
INTERESES DEVUELTOS	8.372.345 €

Coste Electricidad Nivelizado (LEC)	
Precio de Mercado	11,93 c€/kwh
LEC total	3,3 c€/kwh
LEC Capital	,83 c€/kwh
LEC Biomasa	1,41 c€/kwh
LEC O&M	,63 c€/kwh
LEC Costes Indirectos	,43 c€/kwh
PERIODO RETORNO	13,99 años
Promedio Caja Nivelizado	2.105.916 €

Proyecto: PLANTA BIOMASA 2. PUENTE DE GÉNAVE

Resumen Evaluación Viabilidad Económica

PROYECTO - PLANTA BIOMASA 2. PUENTE DE GÉNAVE 5,95 MWe			
INVERSIÓN TOTAL	17.665.912 €	PROMEDIO FLUJO CAJA	1.983.028 €
SUBVENCIÓN (fondo perdido)	€	TIR	19%
CANTIDAD a FINANCIAR	17.665.912 €	VAN	21.994.645 €
VIDA PROYECTO	20 años	PERIODO DE RETORNO	8,9 años
		TASA de RETORNO	6,368 %

INVERSOR A	
INVERSIÓN TOTAL	3.533.182 €
PERIODO de RETORNO	8,9 años
INTERESES DEVUELTOS	2.225.905 €
BENEFICIO NETO	4.398.929 €
Interés Requerido	6,0 %
BENEFICIO TOTAL	6.624.834 €

INVERSOR B	
INVERSIÓN TOTAL	€
PERIODO de RETORNO	, años
INTERESES DEVUELTOS	€
BENEFICIO NETO	€
Interés Requerido	,0 %
BENEFICIO TOTAL	€

INVERSOR C (banco)	
INVERSIÓN TOTAL	14.132.730 €
INTERESES DEVUELTOS	5.021.359 €

Coste Electricidad Nivelizado (LEC)	
Precio de Mercado	11,93 c€/kwh
LEC total	4,03 c€/kwh
<i>LEC Capital</i>	1,09 c€/kwh
<i>LEC Biomasa</i>	1,41 c€/kwh
<i>LEC O&M</i>	,96 c€/kwh
<i>LEC Costes Indirectos</i>	,57 c€/kwh
PERIODO RETORNO	27,81 años
Promedio Caja Nivelizado	635.337 €

Proyecto: PLANTA BIOMASA 3. ARJONA

Resumen Evaluación Viabilidad Económica

PROYECTO - PLANTA BIOMASA 3. ARJONA 13,91 MWe			
INVERSIÓN TOTAL	26.499.123 €	PROMEDIO FLUJO CAJA	4.800.619 €
SUBVENCIÓN (fondo perdido)	€	TIR	30%
CANTIDAD a FINANCIAR	26.499.123 €	VAN	69.513.248 €
VIDA PROYECTO	20 años	PERIODO DE RETORNO	5,5 años
		TASA de RETORNO	6,368 %

INVERSOR A	
INVERSIÓN TOTAL	5.299.825 €
PERIODO de RETORNO	5,5 años
INTERESES DEVUELTOS	3.338.889 €
BENEFICIO NETO	13.902.650 €
Interés Requerido	6,0 %
BENEFICIO TOTAL	17.241.539 €

INVERSOR B	
INVERSIÓN TOTAL	€
PERIODO de RETORNO	, años
INTERESES DEVUELTOS	€
BENEFICIO NETO	€
Interés Requerido	,0 %
BENEFICIO TOTAL	€

INVERSOR C (banco)	
INVERSIÓN TOTAL	21.199.298 €
INTERESES DEVUELTOS	7.532.111 €

Coste Electricidad Nivelizado (LEC)	
Precio de Mercado	11,93 c€/kwh
LEC total	3,12 c€/kwh
<i>LEC Capital</i>	<i>,71 c€/kwh</i>
<i>LEC Biomasa</i>	<i>1,5 c€/kwh</i>
<i>LEC O&M</i>	<i>,55 c€/kwh</i>
<i>LEC Costes Indirectos</i>	<i>,37 c€/kwh</i>
PERIODO RETORNO	11,01 años
Promedio Caja Nivelizado	2.406.500 €

