

# LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS LEÑOSOS EN ARAGÓN: CONCEPTO, NORMATIVA, ESPECIES, CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES, PRODUCCIONES, SU CULTIVO, COSTES Y RENTABILIDAD, USOS Y APROVECHAMIENTOS, PROYECTOS Y ENSAYOS.



**CARLOS BARAZA RUIZ**

Mayo de 2017

Fotos portada: Carlos Baraza Ruiz

[cbarazar@aragon.es](mailto:cbarazar@aragon.es)

## INDICE

<b>1.- CONTEXTUALIZACIÓN. La biomasa y las Energías Renovables</b> .....	1
<b>2.- INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>2.1.- Concepto y definición de Cultivos Energéticos Leñosos (CEL)</b> .....	2
<b>2.2.- Características generales de los CEL</b> .....	3
<b>2.3.- Ventajas e inconvenientes y otros condicionantes de las plantaciones con especies forestales en corta rotación (SRC)</b> .....	5
<u>2.3.1.- Ventajas medioambientales</u> .....	5
<u>2.3.2.- Ventajas económicas y sociales</u> .....	5
<u>2.3.3.- Inconvenientes y limitaciones</u> .....	6
<b>3.- MARCO NORMATIVO PARA EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS LEÑOSOS</b> ..	7
<b>3.1.- Normativa específica de aplicación</b> .....	7
<u>3.1.1.- Normativa sectorial, sector eléctrico</u> .....	7
<u>3.1.2.- Nueva normativa del sector eléctrico</u> .....	8
<u>3.1.3.- Normativa sectorial, sector forestal</u> .....	8
<b>3.2.- Consideraciones a la regulación actual sobre los CEL</b> .....	10
<b>3.3.- Los CEL en las políticas europeas</b> .....	12
<u>3.3.1.- Los Cultivos Energéticos Leñosos en la PAC</u> .....	12
<u>3.3.2.- Los CEL y el FEADER</u> .....	13
<b>4.- ESPECIES PRINCIPALES: CARACTERÍSTICAS, CULTIVO, USO Y PRODUCCIONES</b> .....	14
<b>4.1.- El chopo</b> .....	15
<u>4.1.1.- Consideraciones para su uso como CEL</u> .....	15
<u>4.1.2.- Clones</u> .....	15
<b>4.2.- Sauce</b> .....	18
<u>4.2.1.- Consideraciones para su uso como CEL</u> .....	18
<u>4.2.2.- Clones</u> .....	18
<b>4.3.- Paulownia</b> .....	18

4.3.1.- <u>Consideraciones para su uso como CEL</u> .....	19
4.3.2.- <u>Clones</u> .....	19
<b>4.4.- Eucalipto</b> .....	20
4.4.1.- <u>Consideraciones para su uso como CEL</u> .....	20
<b>4.5.- <i>Robinea pseudoacacia</i></b> .....	20
4.5.1.- <u>Consideraciones para su uso como CEL</u> .....	20
<b>4.6.- <i>Ulmus pumila</i></b> .....	21
4.6.1.- <u>Consideraciones para su uso como CEL</u> .....	21
<b>4.7.- Elección de especie en Aragón</b> .....	21
<b>5.- CULTIVO Y MANEJO DE LOS CEL</b> .....	22
<b>5.1.- Implantación</b> .....	22
5.1.1.- <u>Preparación del terreno</u> .....	22
5.1.2.- <u>Plantación y/o estaquillado</u> .....	22
5.1.3.- <u>Marco de plantación</u> .....	23
<b>5.2.- Trabajos culturales</b> .....	24
5.2.1.- <u>Control de malas hierbas</u> .....	24
5.2.2.- <u>Riego</u> .....	24
5.2.3.- <u>Necesidades hídricas</u> .....	25
5.2.4.- <u>Fertilización. Requerimientos minerales anuales</u> .....	25
5.2.5.- <u>Enmiendas orgánicas</u> .....	26
5.2.6.- <u>Tratamientos fitosanitarios</u> .....	26
<b>5.3.- Cosechado y logística del aprovechamiento</b> .....	27
5.3.1.- <u>Sistemas de trabajo mecanizados para el aprovechamiento de la biomasa producida por los CEL</u> .....	27
5.3.2.- <u>Transporte, secado y almacenado de la biomasa</u> .....	29
5.3.3.- <u>Diseño de acopios</u> .....	30
<b>5.4.- Eficiencia en el manejo</b> .....	31
<b>6.- COSTES Y VIABILIDAD ECONÓMICA</b> .....	31

<b>6.1.- Costes</b> .....	32
<u>6.1.1.- Costes iniciales</u> .....	32
<u>6.1.2.- Costes del cultivo</u> .....	32
<u>6.1.3.- Costes del cosechado</u> .....	33
<u>6.1.4.- Consideraciones sobre los costes de cultivo</u> .....	33
<b>6.2.- Viabilidad económica</b> .....	34
<u>6.2.1.- Análisis de viabilidad</u> .....	34
<b>6.3.- Rentabilidad del transporte</b> .....	35
<b>6.4.- Almacenamiento</b> .....	35
<b>6.5.- Conclusiones sobre la viabilidad de los CEL</b> .....	36
<b>7. USO Y APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA PRODUCIDA POR LOS CEL</b> .....	36
<b>7.1.- Transformación en biocombustibles</b> .....	36
<u>7.1.1.- Astillas</u> .....	36
<u>7.1.2.- Pellet</u> .....	38
<u>7.1.3.- Mercado del Pellet</u> .....	39
<u>7.1.4.- Otro tipo de transformaciones. El torrefactado</u> .....	40
<b>7.2.- Valorización</b> .....	40
<u>7.2.1.- Valorización eléctrica</u> .....	40
<u>7.2.2.- Valorización térmica</u> .....	41
<b>8.- PROYECTOS Y ENSAYOS</b> .....	42
<b>8.1.- Proyecto On Cultivos</b> .....	43
<b>8.2.- Ensayos realizados por la empresa SODEMASA</b> .....	44
<b>8.3.- Proyectos del Grupo Forestalia</b> .....	45
<u>8.3.1.- Cultivos energéticos</u> .....	45
<u>8.3.2.- Planta de pellet y astillas</u> .....	45
<u>8.3.3.- Proyectos de producción eléctrica</u> .....	46
<u>8.3.4.- Discusión en relación a la disponibilidad de biomasa para cubrir las necesidades de los proyectos, en particular la producida por los CEL</u> .....	47

<b>9.- CONCLUSIONES</b> .....	49
<u>9.1.1.- Los CEL como fuente de suministro de biomasa para plantas eléctricas</u> .....	49
<u>9.1.2.- Desarrollo y nivel de implantación de los CEL en Aragón</u> .....	49
<u>9.1.3.- Desafíos de futuro para los CEL</u> .....	50
<u>9.1.4.- Costes, viabilidad y beneficios de los CEL</u> .....	51
<b>10.- REFLEXIÓN FINAL</b> .....	52
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	55

# LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS LEÑOSOS EN ARAGÓN: CONCEPTO, NORMATIVA, ESPECIES, CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES, PRODUCCIONES, SU CULTIVO, COSTES Y RENTABILIDAD, USOS Y APROVECHAMIENTOS, PROYECTOS Y ENSAYOS.

## 1.- CONTEXTUALIZACIÓN. La biomasa y las Energías Renovables.

La actual situación socioeconómica de España y Aragón muestra una tímida recuperación tras una profunda y larga crisis económica que ha generado un alto porcentaje de desempleo, con un creciente despoblamiento del mundo rural (problema especialmente acuciante en Aragón) y con una alta dependencia energética exterior (en 2013, el 73,1 % de la energía primaria producida en España procedía de combustibles fósiles importados<sup>[1]</sup>). A este escenario hay que sumar la necesidad de cumplir con los compromisos del Protocolo de Kioto firmados recientemente para lograr una drástica reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Cumbre del Clima de París COP21). Todo ello, hace que las Energías Renovables (EERR) y en particular la biomasa, se presenten como una vía alternativa para incrementar el autoabastecimiento energético, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, implementar una herramienta efectiva para luchar contra el cambio climático, así como obtener beneficios tanto económicos como sociales, tales como el mantenimiento de la población rural o la creación de empleo.

La Unión Europea (UE) representa uno de los mayores impulsores, si no el mayor, de éste tipo de energías, con esta finalidad ha fijado objetivos muy importantes incluidos en diferentes documentos. Por ejemplo, la Directiva 2009/28/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril, relativa al fomento y uso de energía de origen renovable, establece que el 20 % del consumo de la energía final en la UE en 2020 deberá proceder de fuentes renovables. Objetivo que ha quedado recogido en el ordenamiento jurídico español a través de la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible.

Cabe destacar en el ámbito de la UE, que en 2010, se aprobó la estrategia denominada “Europa 2020, una nueva estrategia para el empleo y un crecimiento inteligente, sostenible e integrador” [COM (2010) 2020] entre cuyos objetivos principales se encuentra el cumplimiento de los objetivos en materia de cambio climático y energía.

En España, el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 preveía que la biomasa constituyera en torno al 47% del conjunto de energías renovables en 2010. Sin embargo, este objetivo no se alcanzó y en la actualidad, el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020, limita la importancia de esta fuente de energía en relación al total.

En la actualidad, (datos de 2015<sup>[2]</sup>) la producción eléctrica con EERR alcanzó el 34,6 % del total nacional contribuyendo la biomasa en su conjunto (biogás, RSU y biomasa agrícola, forestal, residual, etc.) con el 2,1 %. Además, dentro del sector térmico, las EERR y la biomasa cubren el 5,4 % de la demanda. Si nos referimos a energía primaria, el porcentaje de contribución de las EERR baja al 13,9 %, de las cuales la biomasa, el biogás y los RSU suponen el 5,13 %.

---

[1] Informe sobre el Estado de la Unión de la Energía. Comunicación de la comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Banco Europeo de Inversión [COM (2015) 572]

[2] BALANCE ENERGÉTICO DE 2015 Y PERSPECTIVAS PARA 2016. Club Español de la energía. Disponible en: [Consulta: 17 enero 2017] [https://www.enerclub.es/frontPresentationAction/Biblioteca\\_/Publicaciones\\_Enerclub/Ponencias/Bal15Pers16](https://www.enerclub.es/frontPresentationAction/Biblioteca_/Publicaciones_Enerclub/Ponencias/Bal15Pers16)

En Aragón<sup>[3]</sup>, en el año 2012, la producción de energía primaria (eléctrica y térmica) con EERR alcanzó los 835.671 Ktep (mil toneladas equivalentes de petróleo), de las que el 17,6 % se obtuvieron de fuentes energéticas biomásicas (sin contar con el biogás). Esto supone un total de 177.417 tep. que vendrían a suponer en su conjunto el consumo de 887.085 toneladas de biomasa húmeda (40-50 % de humedad).

Las cifras en porcentaje de producciones de EERR y de la biomasa en particular, son pequeñas pero suponen consumos de miles de toneladas. Por tanto, se trata de importantes cantidades de biomasa necesarias para cubrir los consumos que tienen, y deben tener, un incremento sustancial en los próximos años si se quieren alcanzar los objetivos fijados legal y normativamente para las EERR. Cubrir esta notable y creciente demanda de biomasa con fines energéticos, requiere del desarrollo estratégico y sostenible de los diversos sectores que contribuyen a aportar los diferentes tipos de recursos biomásicos existentes en cada territorio y su potencial.

## 2.- INTRODUCCIÓN

### 2.1.- Concepto y definición de los Cultivos Energéticos Leñosos (CEL)

Dentro del sector de las EERR, la biomasa engloba toda materia orgánica susceptible de aprovechamiento energético, lo que implica que los recursos de biomasa provienen de fuentes muy diversas y heterogéneas. Estas características incrementan la complejidad para alcanzar un aprovechamiento optimizado del recurso. Por otro lado, las tecnologías existentes permiten que la valorización de la biomasa se pueda realizar sustituyendo a cualquier energía convencional, ya sea un combustible sólido, líquido o gaseoso, tanto en usos térmicos como en usos eléctricos.

De acuerdo con su procedencia se puede establecer diferentes tipologías o subsectores<sup>[4]</sup>:

- Forestal: sector productor de biomasa generada en los tratamientos y aprovechamientos de la vegetación forestal natural. Vinculado directamente con el sector forestal y sus actividades en los montes.
- Agrícola: sector productor de biomasa generada en las labores de cultivos agrícolas, leñosos y herbáceos, tanto en las labores de poda de árboles como en la cosecha y actividades de recogida de productos finales y sus subproductos relacionados. Vinculado directamente con el sector agrícola y sus actividades.
- Industrial forestal y agrícola: sector productor de biomasa a partir de los productos, subproductos y residuos generados en las actividades industriales forestales y agrícolas. Vinculado directamente con los sectores industriales mencionados. También puede considerarse en este apartado la biomasa de parte de la madera recuperada.
- Cultivos energéticos: sector productor de biomasa a partir de cultivos y/o aprovechamientos (árbol completo) de especies vegetales destinados específicamente a la producción energética. Vinculado tanto con el sector forestal como con el sector agrícola.

---

[3] PLAN ENERGÉTICO DE ARAGÓN 2013-2020, aprobado por Acuerdo de 15 de abril de 2014, del Gobierno de Aragón.

[4] Plan de Energías Renovables 2010-2020, aprobado por acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011.

Una definición más amplia y completa de lo que son los cultivos energéticos la encontramos en diversas publicaciones especializadas como en la correspondiente al Proyecto Europeo Interreg IIIB ECAS<sup>[5]</sup> o en Cuadros L. (2014): “Conjunto de actividades realizadas en terrenos agrícolas o forestales destinadas a la cosecha y producción de material vegetal que va a ser utilizado para la generación de energía como producto final. El término se emplea también para referirse al conjunto de especies vegetales ya sean herbáceas o leñosas de crecimiento rápido que se plantan con el objetivo de su recolección para obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles”.

Los cultivos energéticos están integrados por una serie de especies vegetales cuya cosecha (biomasa), a diferencia de los cultivos agrícolas tradicionales, se dedican a la producción de energía. Ya sean especies agrícolas o forestales, herbáceas o leñosas, las especies utilizadas como cultivos energéticos son aquellas susceptibles de ser cultivadas de forma expresa para la producción de biomasa como materia prima para la producción de energía.

Existen diferentes cultivos, principalmente oleaginosas (girasol, soja, colza, palma, etc.), los cereales, la caña de azúcar y la remolacha que se han dedicado indistintamente a la producción de energía o alimento, lo cual ha generado controversia en lo relativo a su uso para la producción de biocombustibles (biodiesel y bioetanol) a nivel internacional. Esto ha hecho que tanto la investigación como las políticas de apoyo a estos cultivos se orienten a especies no alimentarias, sobre todo a raíz de la aparición de tecnologías para producir biocarburantes de segunda generación. Por ello, algunas especies forestales utilizadas tradicionalmente para la producción de madera, están siendo empleadas como cultivos energéticos al objeto de ser valorizadas energéticamente mediante la producción de biomasa y biocombustibles sólidos (astillas, pellet, briquetas, etc.) con fines térmicos así como para la producción de electricidad o biocarburantes de segunda generación. Éstos se denominan cultivos energéticos leñosos (CEL) y son el objeto de este documento.

Es necesario señalar que hay especies herbáceas no destinadas a alimentación humana, empleadas como cultivos energéticos para la producción de biomasa. Por ello, es más común encontrar el término “Cultivos energéticos lignocelulósicos” que englobarían a los CEL y a especies no arbóreas como el miscanto (*Miscanthus sinensis*), el sorgo (*Sorghum spp.*), el cardo (*Cynara cardunculus*) o muy especialmente la caña común (*Arundo donax*), todas ellas, especies con alto contenido en celulosa. En relación a la caña, es pertinente mencionar que existe en Zaragoza una empresa que se dedica al desarrollo de este cultivo desde la producción de plántones hasta la cosecha de la biomasa producida a través de un clon específico (Arundo K-12)<sup>[6]</sup>.

## 2.2.- Características generales de los Cultivos Energéticos Leñosos (CEL)

Los cultivos energéticos leñosos (CEL), son cultivos a turno corto de especies leñosas, de crecimiento rápido y con un sistema de manejo intensivo al objeto de lograr altas producciones de madera para destino energético. Se clasifican en:

- SRC (*Short Rotation Coppice*): cultivos capaces de rebrotar de raíz o cepa que son objeto de cortas periódicas logrando la regeneración gracias a la capacidad de rebrote de las especies empleadas (Ver figura nº1). Se trata de plantaciones basadas en el método de beneficio de monte bajo con turnos cortos de 2 a 10 años.

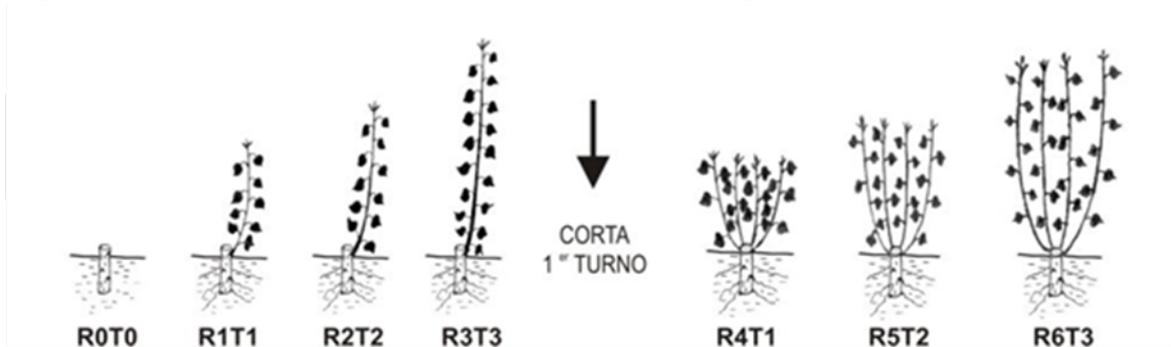
---

[5] ECAS Cultivos energéticos en el espacio atlántico, 2007. <http://www.enersilva.org/areasubir/libros/Folleto%20ECAS.pdf>  
[Consulta: 13 febrero 2017]

[6] Biothek Ecologic Fuel S.L. Zaragoza. <http://biothekecologic.com/>

- SRF (*Short Rotation Forestry*): Plantaciones de cultivos de fustes individuales, similares a las plantaciones forestales tradicionales pero con turnos de corta menores ya que el aprovechamiento de los mismos se produce cuando el diámetro del tronco alcanza entre 10 y 20 cm. de diámetro normal. De este tipo de plantaciones se desprende el concepto de “silvicultura de corta rotación”.

**Figura nº 1.** Esquema de cultivo de una chopera como cultivo energético leñoso (Sixto H., et. al., 2013)



Las especies potenciales a considerar para la producción de biomasa mediante el sistema SRC deben poseer una serie de características importantes (Sixto, H. et al; 2007):

- Poseer alto poder energético y calidad como combustible.
- Deben tener altas producciones de materia seca por hectárea o lo que es lo mismo alta densidad energética, valorándose el contenido energético de lo cosechado y su uso directo o tras un proceso de transformación, como combustible.
- Poseer alto y rápido crecimiento juvenil.
- Soportar altos niveles de competencia.
- Capacidad de rebrote vigorosos tras la corta.
- Tener copas estrechas, con fustes poco ramosos y hojas anchas en la parte superior de la copa.
- Presentar adaptabilidad a diferentes sitios y resistencia al estrés biótico y abiótico.

Características estas últimas que les confieren la capacidad, entre otras, de competir eficientemente por los recursos disponibles (agua, luz y nutrientes).

De entre todas las especies que cumplen con estos requisitos y que pueden ser utilizadas para la producción de biomasa en turnos cortos cabe destacar: *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Fraxinus* spp., *Acacia* spp., *Alnus* spp., *Paulownia* spp., *Platanus* spp., *Ulmus pumila*. Sin embargo, los géneros *Salix*, *Populus* y *Eucalyptus* son los que tienen un mayor potencial y un mayor uso en Europa y España, especialmente los chopos (*Populus* spp.) y sus diversos clones. Estos tres géneros son especies de crecimiento muy rápido, cuentan con una base genética amplia ya conocida, facilidad para la multiplicación vegetativa y gran capacidad de rebrote tras la corta (Sixto, H. et. al.; 2007).

## **2.3.- Ventajas e inconvenientes y otros condicionantes de las plantaciones con especies forestales en corta rotación (SRC)**

### 2.3.1.- Ventajas medioambientales:

- Las plantaciones de cultivos energéticos leñosos actúan como sumideros de carbono, liberando a la atmósfera el CO<sub>2</sub> fijado cuando se realiza la combustión de la biomasa obtenida de su cultivo. Por tanto, es un combustible neutro en relación al aporte de gases de efecto invernadero (al menos en su combustión ya que en su producción se emite CO<sub>2</sub> por el uso de fertilizantes, mecanización de procesos, etc. y por tanto hay que evaluar su ciclo de vida completo), contribuyendo a la lucha contra el cambio climático en la medida en la que sustituyen a los combustibles fósiles tradicionales cuyo aporte contaminante es netamente positivo.
- Resultan útiles como apantallamiento de otros cultivos por su efecto cortavientos.
- Son multifuncionales: Se pueden usar en la fitoremediación de suelos y como filtros verdes para la depuración de aguas residuales.
- Sirven de refugio a la fauna, albergando mayor biodiversidad que otros cultivos, especialmente respecto a los cultivos agrícolas anuales arables.
- Mejoran la diversidad paisajística en las áreas donde se introducen.
- Reducen el consumo de fitosanitarios (abonos, plaguicidas y herbicidas), y las necesidades de riego con respecto a los cultivos agrícolas tradicionales, siendo por tanto más sostenibles.
- Por su menor contenido en nitrógeno, azufre y cloro frente a la biomasa herbácea, la biomasa leñosa de los CEL tiene menor incidencia en las emisiones de óxidos de nitrógeno y de azufre y menor riesgo de corrosión y de sinterización<sup>[7]</sup>, fusión o vitrificación de las cenizas en las calderas de combustión.

### 2.3.2.- Ventajas económicas y sociales:

- La existencia de superficies agrícolas y forestales excedentarias o no rentables para la explotación tradicional en el contexto de una progresiva globalización del mercado alimentario permite una alta disponibilidad de terrenos para este tipo de cultivos.
- Diversifican la producción agraria y suponen un complemento a la renta agraria.
- Vinculados a un centro de consumo (industria de valorización energética de la biomasa producida), pueden suponer un elemento revitalizador de la actividad agrícola, de desarrollo rural, generando empleo y fijando población.
- Permiten una planificación del aprovisionamiento y suministro al consumidor de biomasa, lo que hace que se trate de una energía renovable más fácil de gestionar aprovechando todo su potencial, a diferencia de la energía eólica, solar o hidráulica que dependen del recurso para la producción de energía y su almacenamiento es más problemático.

---

[7] Proceso por el cual las partículas se funden pasando ha estado sólido a muy altas temperaturas, pero por debajo del punto de fusión o vitrificación. En el proceso, se produce difusión atómica entre las superficies de contacto de las partículas, lo que provoca que resulten químicamente unidas (<https://es.wikipedia.org>) [Consulta: 17 enero 2017]

- La producción, puede ser destinada tanto para usos térmicos como eléctricos.
- Permiten una rápida recuperación de la tierra y fácil adecuación para cambiar de cultivo.

### 2.3.3.- Inconvenientes y limitaciones:

- El balance energético del cultivo debe ser positivo, lo que significa que la energía obtenida de la producción debe ser superior a la energía que se deriva de su cultivo (implantación, laboreo, riego, abonos, etc.) y su posterior transporte hasta el centro de consumo. Esto exige, entre otras premisas, que dichas plantaciones se sitúen cerca de los centros de consumo al objeto de minimizar el transporte para cumplir con este requerimiento.
- Algunas especies, son alóctonas y están incluidas en el catálogo de especies invasoras<sup>[8]</sup> (*Alianthus altissima* o *Robinea pseudoacacia*, esta última incluida en el anterior catálogo), por lo que su uso está restringido.
- Para que este tipo de cultivos tenga éxito en el sector agrícola, deben tener un fácil manejo y requerir técnicas y maquinarias lo más conocidas y comunes entre los agricultores y potenciales productores.
- Económicamente, compiten con los cultivos agrarios intensivos alimentarios como la alfalfa o el maíz con alta rentabilidad, por lo que en algunas zonas la disponibilidad de terrenos queda restringida si no se alcanzan estos niveles de rentabilidad.
- En ocasiones, son especies o clones desconocidos o sin testar o bien con una agronomía poco conocida dado que no hay suficientes hectáreas plantadas en diferentes estaciones y de los que no se han completado ciclos productivos completos para disponer de datos promedio representativos.

### **3.- MARCO NORMATIVO PARA EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS LEÑOSOS.**

La regulación jurídica de la que es objeto el sector de la bioenergía es extensa y abarca la normativa de producción agraria, forestal, características de los productos energéticos obtenidos, y las medidas que incentivan su producción o consumo<sup>[9]</sup>.

En el punto 1, ya se ha hecho referencia a diversa normativa internacional y de la Unión Europea, así como nacional que permiten contextualizar el interés en los CEL, concretamente justificar el interés en su utilización como fuente de biomasa.

Sin embargo, es necesario conocer la normativa que afecta a los CEL desde el punto de vista administrativo y aclarar si este tipo de cultivos en los que se emplean especies forestales sobre terrenos agrícolas es de aplicación la normativa forestal o no. Se trata de una cuestión que conlleva importantes repercusiones dadas las potestades públicas (régimen de

---

[8] Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.

[9] Estudio para la determinación del potencial de producción de energía a partir de biomasa. Comunidad de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería. Instituto tecnológico Agrario de Castilla y León. 2011.

autorizaciones, policía, sancionador, etc.) y las obligaciones legales a las que los propietarios de los terrenos con CEL pueden verse sometidos.

Igualmente, el desarrollo y futuro de los CEL y sobre todo su auge en el periodo 2008 a 2011, no se entiende sin un análisis de la normativa del sector eléctrico.

### **3.1.- Normativa específica de aplicación**

#### **3.1.1.- Normativa sectorial, sector eléctrico.**

Para poder entender la evolución y desarrollo de los CEL en los últimos años, es necesario hacer referencia a la normativa específica del sector eléctrico que contempla su uso como biomasa para la producción de electricidad. En concreto, al Real Decreto (RD) 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Este RD ya derogado, establecía un marco retributivo específico a la producción eléctrica con cultivos energéticos (subgrupo b.6.1), distinguiendo entre un origen forestal y otro agrícola.

a) Cultivos energéticos agrícolas: biomasa, de origen agrícola, producida expresa y únicamente con fines energéticos, mediante las actividades de cultivo, cosecha y, en caso necesario, procesado de materias primas recolectadas. Según su origen se dividen en: herbáceos o leñosos.

b) Cultivos energéticos forestales: biomasa de origen forestal, procedente del aprovechamiento principal de masas forestales, originadas mediante actividades de cultivo, cosecha y en caso necesario, procesado de las materias primas recolectadas y cuyo destino final sea el energético.

En el primer grupo, agrícolas, es donde se enmarcan los CEL según la definición dada por el RD 661/2007, objeto de esta memoria. Sin embargo, es interesante profundizar en el segundo grupo ya que normativamente ha tenido mayor recorrido e impacto en el sector forestal y específicamente en los montes, en concreto en aquellos con superficie forestal arbolada de repoblación.

La definición del segundo grupo, los forestales, y el gran número de proyectos que se quisieron desarrollar al amparo de esta normativa debido a la mayor retribución al kW/h producido con las materias primas del subgrupo b.6.1., obligó al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a concretar y definir el concepto de “cultivo energético forestal”, y diferenciarlo del concepto “residuo forestal”, que tiene una retribución menor en el RD 661/2007. A través de APPA (Asociación de productores de Energías Renovables) se realizó una consulta al Ministerio de Industria (Consulta sobre interpretación del Real Decreto 661/2007, de 12 de marzo, en relación con los combustibles clasificados como biomasa), que tuvo como respuesta: “... se considera que es biomasa procedente de cultivos energéticos forestales tanto los pies obtenidos de cortas finales de regeneración realizadas al final del turno o de edad de madurez, como la obtenida en los tratamientos intermedios, en masas forestales cuya finalidad última declarada sea la producción energética”.

El RD 661/2007, habilita a las CCAA a legislar en el ámbito de sus competencias en relación a las biomásas forestales, por lo que a partir de esta aclaración y dadas las competencias sobre Montes transferidas a las CCAA (art. 148 de la Constitución Española y Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes), alguna de ellas, entre las que se encuentra la aragonesa, legisló en

este sentido a través de la ORDEN, de 18 de junio de 2012, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se regula el aprovechamiento de la biomasa forestal con destino energético en Aragón.

La crisis económica iniciada en 2008 y un creciente y descontrolado déficit de tarifa del sector eléctrico atribuido principalmente al apoyo y la subvención a las EERR, propiciaron la desregulación del sector iniciada con el Real Decreto-Ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procedió 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 y que derogó el RD 661/2007.

### 3.1.2.- Nueva normativa del sector eléctrico.

La aprobación del RD-Ley 1/2012 supuso la paralización y suspensión de la mayoría de los proyectos de producción de electricidad a partir de fuentes renovables dado que dejaba sin efecto las primas o ayudas a la producción.

A partir de este momento se fueron concatenando diferentes normativas y medidas legales que han supuesto el desmantelamiento y una verdadera desregulación del sector de las EERR, lo que durante estos años ha supuesto una indefinición e inseguridad jurídica que ha impedido que los proyectos de producción eléctrica con biomasa se desarrollen. Ejemplo de ello son:

- Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.
- Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.
- Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto 947/2015, de 16 de octubre, por el que se establece una convocatoria para el otorgamiento del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de biomasa en el sistema eléctrico peninsular y para instalaciones de tecnología eólica.

En relación al Real Decreto 413/2014, este RD sustituye la prima por el concepto de "rentabilidad razonable". Si antes las instalaciones iban a cobrar una cantidad determinada por kilovatio hora generado (RD 661/2007), a partir de este nuevo RD las instalaciones renovables cobraban una "rentabilidad razonable". Esta rentabilidad fue establecida discrecionalmente por el gobierno en función de una serie de criterios, cuantificando la inversión (cuánto ha invertido un promotor en montar su instalación renovable), el coste de la operación y el mantenimiento de esa instalación, aplicándole finalmente una rentabilidad razonable (para la biomasa se ha cuantificado en el 7,5 %).

Finalmente, el Real Decreto 947/2015, estableció un régimen de subastas con objeto de adjudicar cada 3-6 años un cupo de MW a aquellos proyectos con un menor coste para el sistema de subvención y apoyo a dichas instalaciones. A día de hoy solo se ha celebrado una subasta (el 17 de mayo se tiene previsto se celebre una segunda subasta de hasta 3.000 MW ).

### 3.1.3.- Normativa sectorial, sector forestal

La Ley 15/2006, de 28 de diciembre, de Montes de Aragón, define en su art. 6, el concepto de monte y por tanto el ámbito de aplicación de la Ley. En el punto 3.d. se establece que monte es: *“Las plantaciones de especies forestales que no sean objeto de labores agrícolas, destinadas a la producción de madera, de biomasa o de cualesquiera otros productos de uso industrial, cuyo periodo de crecimiento sea superior al plazo de un año...”*. Por tanto, los CEL a pesar de utilizarse mayoritariamente en terrenos agrícolas y aplicársele una serie de cuidados culturales específicos similares a los agrícolas, no tienen un manejo o laboreo agrícola puro, entre otras cuestiones porque la cosecha no se produce anualmente. De ello, se puede deducir que a efectos de la Ley de Montes de Aragón, se consideran monte al igual que las choperas para producción de madera y por tanto quedan sujetos por completo a la regulación que establece y desarrolla la Ley.

Como ya se ha comentado, el RD 661/2007, propició la aparición de una regulación específica asociada al concepto de cultivos energéticos. En concreto en Aragón, la ORDEN, de 18 de junio de 2012, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se regula el aprovechamiento de la biomasa forestal con destino energético en Aragón.

Esta Orden, por un lado, establece que se consideraran cultivos energéticos, aquellas zonas en las que el instrumento de gestión forestal en vigor disponga que su objetivo principal sea la producción energética (art. 3.2.). A nivel práctico, la forma de determinar si una biomasa procede de un cultivo energético forestal es la existencia de un documento de planificación técnico a largo plazo (proyecto de ordenación o plan técnico de gestión forestal) en el que, entre otras cosas, se determine que el objeto principal de la masa forestal es la producción energética, y que especifique de manera clara la vigencia y la planificación en el tiempo y en el espacio de las diversas operaciones a realizar sobre dicha masa forestal para la consecución de este objetivo.

También, establece que la forestación con especies forestales destinada al uso energético requerirá de autorización previa y expresa del departamento competente en materia de medio ambiente (excepto aquellas que ya estuvieran previstas en un instrumento de gestión forestal aprobado). En el caso de forestaciones sobre terrenos no forestales, se exige informe del órgano competente en relación con el uso anterior (art.9). Deduciéndose por tanto que cualquier agricultor o propietario de terrenos agrarios que quiera realizar plantaciones con CEL, está obligado a solicitar autorización al departamento que ostente las competencias en medio ambiente y que previamente se solicitará por parte de éste informe al departamento que ostente competencias en agricultura (actualmente ambas competencias se sitúan en el Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad<sup>[10]</sup>). Todo ello en sintonía con lo establecido en el art. 29 de la Ley de Montes de Aragón que establece que *“un terreno adquiere la condición de forestal por efecto de su forestación, modificándose su anterior destino y uso, mediante la previa autorización expresa del departamento competente en materia de medio ambiente para todas las actuaciones que superen la superficie de diez hectáreas, exigiéndose, en todo caso, el informe del órgano competente en relación con el uso anterior”*.

---

[10] DECRETO 108/2015, de 7 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica de la Administración de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Además, en todo caso, la realización de una forestación queda sometida a la legislación aplicable sobre evaluación de impacto ambiental. La ley 11/2014, de 4 de diciembre, de prevención y protección ambiental de Aragón, establece que cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 100 ha. requiere someterse a Evaluación Ambiental (EA), luego, cualquier plantación de CEL de 100 o más hectáreas requerirá de este trámite. Pero también requerirá de este trámite aquellos proyectos cuyo objeto es destinar áreas incultas o áreas seminaturales a la explotación agrícola o forestal que impliquen la ocupación de una superficie mayor de 10 ha. Esta especificación es relevante dado el potencial uso de los CEL en terrenos marginales y abandonados que pueden adquirir en pocos años el carácter seminatural.

Hay que tener en consideración que los proyectos de producción eléctrica con biomasa, especialmente aquellos de gran potencia (>15 MW), van a requerir la participación en un alto porcentaje, cuando no de forma mayoritaria, de biomasa producida con los CEL, lo que implica miles de hectáreas de forestación con especies de este cultivo (en el mejor de los casos unas 333 ha. por MW de potencia eléctrica, ver apartado 7).

En cualquier caso, cuando una plantación de CEL se efectúe en terreno forestal y tuviese más de 10 hectáreas, la administración forestal deberá dar previamente autorización conforme a lo establecido en el art. 93.2. de la Ley de Montes de Aragón: *“La repoblación de montes o de parte de ellos estará sujeta a la previa y expresa autorización del departamento competente en materia de medio ambiente, cuando supere la superficie de diez hectáreas”*.

Otra cuestión que se plantea con los CEL es la necesidad o no de disponer de un instrumento de planificación o gestión. En el art. 95 de Ley de Montes de Aragón, se establece que los montes de más de 10 hectáreas que se encuentren repobladas con especies de crecimiento rápido en una plantación de producción ya sean terrenos públicos o privados, deben contar para su gestión y explotación, con carácter necesario, con un instrumento de gestión. Es decir, que sí es necesario para plantaciones de más de 10 hectáreas.

### **3.2.- Consideraciones a la regulación actual sobre los CEL**

La actual regulación de los cultivos energéticos y su diferenciación en base al origen de la biomasa forestal que producen, según procedan de monte o procedan de cultivo, hace que no se utilice el concepto de “cultivos energéticos forestales” para referirse a las plantaciones con especies forestales en altas densidades, turnos cortos y método de beneficio en monte bajo (lo que se ha definido ya como Cultivos Energéticos Leñosos), a pesar de que estas plantaciones estarían consideraras como monte, tal y como se desprende de la normativa forestal sectorial (ver punto anterior 3.1.3.).

Los CEL tienen actualmente la consideración legal de monte y por tanto, las autorizaciones administrativas que establece la Orden correspondiente, deberán llevar aparejado el cambio de uso del suelo agrícola a forestal (de ahí la necesidad de solicitar informe previo al departamento competente en agricultura). Esta situación posibilita la supervisión de la actividad por el Órgano Forestal pero limita o desanima a los productores y agricultores a apostar por este tipo de cultivos, dado que por un lado se dificulta el cambio de uso posterior y por otro existen reticencias a admitir un mayor control por parte de la administración sobre la propiedad y la gestión de los terrenos con CEL.

Para aclarar conceptos, mantener la clasificación inicial del RD 661/2007, facilitar la implantación y desarrollo de los CEL y proyectos asociados a la valorización de la biomasa

producida, es necesario regular normativamente distinguiendo entre los diferentes orígenes de la biomasa forestal obtenida mediante cultivos energéticos.

A modo de propuesta para lograr clarificar cuando una plantación con CEL se considera monte o no, con las implicaciones legales que ello supone, se podrían establecer 3 posibles orígenes de la biomasa obtenida de cultivos energéticos leñosos<sup>[11]</sup>:

- Biomasa forestal obtenida de montes arbolados con instrumentos de planificación en vigor.
- Biomasa de plantaciones en terrenos agrícolas de especies arbóreas forestales en turnos de corta cortos y regeneración por rebrote (método de beneficio en monte bajo).
- Biomasa de plantaciones en terrenos agrícolas o forestales de especies forestales en turnos medios con aprovechamiento del árbol entero (similares a las plantaciones de chopos pero con turnos menores)<sup>[12]</sup>.

El primer tipo, se puede considerar como una biomasa de oportunidad y entrarían dentro de esta categoría los aprovechamientos intermedios (claras y clareos) de masas con Planes Técnicos de Gestión específicos y cuya finalidad última no tiene por qué ser la producción de energía (montes protectores y productores) en los que se suele realizar un aprovechamiento de árbol entero. Evidentemente se mantendría la condición de monte y quedarían sujetos a la normativa sectorial correspondiente (Ley de Montes).

El segundo grupo, lo constituirían las plantaciones de CEL habitualmente conocidas y desarrolladas en terrenos agrícolas, mecanizables y con riego. En este caso, se propone que el terreno mantenga la naturaleza legal de agrícola, quedando al margen de la normativa forestal.

El tercer grupo, abarcaría las plantaciones con especies forestales en terreno forestal o agrícola con turnos medios o incluso largos (10 a 15 años hasta 30 ó 35), mantendrían su condición de terrenos forestales, adquiriendo tal naturaleza las plantaciones efectuadas sobre terrenos agrícolas.

Otra cuestión que suscita la actual regulación, es que las plantaciones intensivas efectuadas sobre terrenos mayoritariamente agrícolas, además de adquirir la condición de terreno forestal, requieren de autorización previa cuando no de evaluación ambiental (más de 100 ha.) y necesitan disponer de un plan de gestión aunque sea básico<sup>[13]</sup>.

Por todo ello, cuando los CEL se desarrollan exclusivamente en terrenos agrícolas, se plantean las siguientes cuestiones: ¿Desde un punto de vista de la salvaguarda del interés público o la protección al medio ambiente, se justifica la intervención administrativa o es

---

[11] Comisión de la Biomasa. Documento de Integración para la presentación al Consejo Forestal. Gobierno del Principado de Asturias. [Consulta: 17 enero 2017]  
[https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF\\_TEMAS/Agricultura/Politica%20Forestal/doc\\_int\\_consejo\\_forestal\\_biomasa.pdf](https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF_TEMAS/Agricultura/Politica%20Forestal/doc_int_consejo_forestal_biomasa.pdf)

[12] Se trata de un sistema de cultivo poco desarrollado en España, pero mucho más implantado en EEUU y que ha dado origen al concepto de Selvicultura de corta rotación (SRF, Short Rotation Forestry).

[13] Orden de 21 de marzo de 2015, del Consejero de Agricultura, Ganadería y medio Ambiente, por la que se aprueba el Pliego General de Condiciones Técnicas para la redacción y presentación de resultados de Proyectos de Ordenación de montes en Aragón, y el Pliego General de Condiciones Técnicas para la redacción y presentación de resultados de Planes Básicos de Gestión Forestal de montes en Aragón. (BOA n°73 de 17 de abril de 2015).

innecesaria?; ¿No supone todo ello un freno al desarrollo de los proyectos vinculados directamente con la creación de empleo rural y el desarrollo de las EERR?.

Esta reflexión, debe llevar a la consideración de si no debería existir una regulación del sector de los CEL específica como ya existe en otras CCAA (por ejemplo en la Comunidad Valenciana<sup>[14]</sup>), que se adecue a la realidad de su desarrollo e impacto real sobre el territorio, en un contexto europeo y administrativo en clara tendencia a disminuir la intervención de la administración y a la simplificación administrativa. Ejemplo de ello son: la Directiva 2006/123/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a los servicios en el mercado interior y las posteriores leyes que la implementan; la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio; la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley 17/2009; la Ley 5/2014, de 20 de octubre, de administración electrónica y simplificación administrativa, así como la propia reforma de la Ley de Montes de Aragón (Ley 3/2014, de 29 de mayo) donde se simplifican algunos procedimientos o se incorpora a otros la comunicación previa.

### **3.3.- Los CEL en las políticas europeas**

La Comisión de la Unión Europea, a través de su propuesta detallada en el Libro Blanco de la Energías Renovables, considera la necesidad de dedicar a la actividad agroenergética del orden de 10 millones de hectáreas de tierras agrícolas comunitarias, para la consecución de los objetivos del Plan (Cuadros L., 2014), actividad, donde se incluyen los CEL y el cultivo de otras especies para biocombustibles líquidos o la producción de biogás.

El apoyo político a las EERR y a los CEL y su inclusión en las políticas de la Unión es incuestionable, sobre todo a raíz de la Estrategia 2020 (Plan de desarrollo de la UE cuyo objetivo es salir reforzados de la crisis y establecer el camino económico en los próximos 10 años, siendo la economía baja en carbono y el desarrollo sostenible uno de sus pilares). No es de extrañar por tanto, que las líneas financieras (Fondos Estructurales y de Cohesión) que permiten la aplicación de estas políticas incluyan una referencia explícita y una línea de apoyo a los Cultivos Energéticos.

El apoyo financiero a los CEL se ha materializado a través de la PAC (Política Agraria Comunitaria) y sus fondos financiadores: Pago directo (FEAGA y FEGA) y de desarrollo rural (FEADER).

#### **3.3.1.- Los Cultivos Energéticos Leñosos en la PAC**

En el anterior periodo de programación 2007-2013, las líneas financieras de la PAC contemplaban una ayuda de 45 euros por hectárea para un máximo de 2.000.000 de hectáreas (Reglamento CE Nº 1782/2003 del Consejo de 29 de septiembre de 2003) a los cultivos energéticos. Principalmente se utilizaron para desarrollar cultivos bioenergéticos, tanto para las siembras de cereales como para las de oleaginosas destinados a producir biocarburantes. No obstante, dada la evolución de los precios de ambos productos en el mercado mundial y una reducción en las ayudas de casi un 30 % por rebasar la superficie máxima establecida, el interés para este tipo de cultivos fue decreciendo.

---

[14] Orden 4/2015 de 9 de marzo, de la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, por la que se crea y regula el Registro de Plantaciones Forestales Temporales en Terrenos Agrícolas de la Comunitat Valenciana y se publica el Catálogo de especies alóctonas (Diari Oficial núm. 7489 de 20.03.2015). Con esta orden se quiere fomentar la compatibilidad de usos en los terrenos forestales, dinamizar el sector forestal y simplificar procedimientos administrativos para que los propietarios puedan diversificar rentas en los terrenos forestales.

En el actual periodo (2014-2020), los CEL son cultivos admisibles en el régimen de pago único (actualmente denominado pago básico) y por tanto subvencionables. En concreto, se incluyen en el pago, superficies plantadas con “árboles forestales de ciclo corto”, especies arbóreas que la normativa<sup>[15]</sup> limita a cinco (ver tabla nº 1) y que define como aquellas que componen cultivos leñosos perennes, cuyas raíces o tocones permanecen en el suelo después de la cosecha y de los cuales surgen nuevos vástagos en la estación siguiente con un ciclo máximo de cosecha concreto.

**Tabla nº 1.** Árboles forestales de ciclo corto admitidos en el pago básico de la PAC conforme a la normativa (Reglamento 1307/2013).

Árboles forestales de cultivo corto	Densidad mínima de plantación Plantas/hectárea	Ciclo máximo de cosecha
Eucalyptus (Eucalipto).....	5.000	18 años
Paulownia.....	1.500	5 años
Populus sp. (Chopo).....	1.100	15 años
Salix sp. (Sauces y Mimbrres).....	5.000	14 años
Robinea pseudoacacia L.....	5.000	14 años

Por otro lado, en la actual PAC y a nivel Europeo, se contempla el "pago verde o greening" (prácticas beneficiosas para el clima y el medio ambiente) que establece que cada agricultor ha de plantar en el 5% de su terreno agrícola algún cultivo que mejore las características ecológicas de los mismos, por ejemplo: plantar terrenos agrícolas fuera de producción, leguminosas, etc. Entre estos cultivos también cabrían las plantaciones de especies leñosas de corta rotación, dado que algunas de ellas son capaces de fijar N<sub>2</sub> en el suelo (Paulownia y Robinea) o simplemente, porque contribuyen a la lucha contra la erosión y a fomentar la captura de CO<sub>2</sub>, fijando al suelo una importante tasa de carbono por disponer de un sistema radicular profundo durante la vida útil del cultivo y como resultado de la descomposición de las hojas que aportan al suelo (Ramos J.J., 2014).

### 3.3.2.- Los CEL y el FEADER

En el art. 5 del Reglamento (UE) nº 1305/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de diciembre de 2013 relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), se establecen las prioridades del Desarrollo Rural de la Unión. Entre ellas, cabe destacar: i) facilitar el suministro y uso de fuentes renovables de energía; ii) fomentar la conservación y captura de carbono en los sectores agrícola y forestal. Ambas prioridades enmarcadas en el objetivo global de promover la eficiencia de los recursos y fomentar el paso a una economía baja en carbono y capaz de adaptarse al cambio climático en los sectores agrario y forestal. Bajo el paraguas de este objetivo, cabría esperar que España en el desarrollo del Plan de Desarrollo Rural (PDR) que hace cada país, hubiera introducido una línea de apoyo a la biomasa y en concreto a los CEL.

Sin embargo, ni en el PDR Nacional<sup>[16]</sup>, ni en el PDR aragonés<sup>[17]</sup>, se incluyen medidas concretas relacionadas con los cultivos energéticos. Es más, en el PDR aragonés, el término

[15] Reglamento (UE) nº 1307/2013 del Parlamento europeo y del Consejo, de 17 de diciembre de 2013, por el que se establecen normas aplicables a los pagos directos a los agricultores en virtud de los regímenes de ayuda incluidos en el marco de la Política Agrícola Común; y, Real Decreto 1076/2014, de 19 de diciembre, sobre asignación de derechos de régimen de pago básico de la Política Agrícola Común, modificado por el Real Decreto 1172/2015, de 29 de diciembre.

[16] [http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/programas-ue/programanacionaldesarrolloruraladoptadocedecision26-may-2015\\_tcm7-431723.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/programas-ue/programanacionaldesarrolloruraladoptadocedecision26-may-2015_tcm7-431723.pdf) [Consulta: 3 febrero 2017]

“cultivos energéticos”, solo aparece en una sola ocasión y es en el apartado de amenazas: A8 “Aumento de la demanda de tierras y del uso agrícola del suelo como consecuencia de la expansión de cultivos energéticos”.

Aunque existen medidas de apoyo indirectas en los que los CEL pueden tener cabida, en muchas ocasiones se excluyen bien porque su uso se relaciona con una competencia sobre los suelos destinados a la producción alimentaria, en concreto con los biocombustibles líquidos, o bien, porque se veta de forma directa la producción de electricidad con biomasa en sintonía con la política y la regulación del sector de las EERR tal y como se ha indicado en el apartado 3.1.2 de esta memoria.

A modo de ejemplo, se puede señalar para el PDR Nacional la siguiente medida: “Ayuda para suministro sostenible de biomasa para integración asociativa. Que tanto en la submedida 16.5 “apoyo para acciones conjuntas realizadas con vistas a la mitigación o la adaptación al cambio climático y para enfoques conjuntos con respecto a proyectos medioambientales y prácticas medioambientales en curso”, como en la submedida 16.6 “apoyo para la cooperación entre los agentes de la cadena de suministro para el abastecimiento sostenible de biomasa destinada al uso en alimentos, así como en la producción de energía y los procesos industriales”, se excluyen los CEL de un modo u otro.

En el caso de la submedida 16.5, en los criterios de admisibilidad, se exceptúa el uso de la biomasa y por tanto de los CEL (“Quedan excluidos los proyectos de cooperación para el suministro sostenible de biomasa en la industria agroalimentaria”). En el caso de la submedida 16.6, en la descripción del tipo de operación, se indica que no podrá fomentar nuevos cultivos energéticos para la producción de biomasa.

Algo parecido pasa con el DPR Aragonés, en algunas de las mediadas que cabría incluir la biomasa y los CEL como fuente de esta, queda excluida, impidiendo así el desarrollo de los CEL en el marco del PDR. Por ejemplo, para la media “Inversiones para la mejora y adaptación de regadíos”, submedida 4.3 “apoyo a las inversiones en infraestructura relacionada con el desarrollo, la modernización o la adaptación de la agricultura y la silvicultura”, en la descripción del tipo de operación, del listado de ayudas, a la ayuda “Dotación de instalaciones de generación de energías renovables en la propia zona de riego con fines de autoconsumo para el funcionamiento de la infraestructura, en sustitución de energía de fuentes convencionales”, financiada con un 50%, se exceptúa a la biomasa como EERR ... “Quedando excluidas las instalaciones para la generación de energía renovable a partir de biomasa”.

#### **4.- ESPECIES PRINCIPALES: CARACTERÍSTICAS, CULTIVO, USO Y PRODUCCIONES <sup>[18]</sup>**

Los principales factores a tener en cuenta en la elección de especies para su uso como cultivo energético son (ESCAN S.A.; 2008):

- Suelo: Profundidad, textura, pH, salinidad, fertilidad, etc.
- Clima: pluviometría (cantidad y distribución anual), temperaturas (máximas y mínimas), etc.

---

[17] RESOLUCIÓN de 2 de junio de 2015, del Director General de Desarrollo Rural, por la que se publica la aprobación del Programa de Desarrollo Rural de Aragón 2014-2020; BOA nº 116 de 19 de junio de 2015.

[18] Fuentes bibliográficas para elaborar este apartado: Padró A., 1992; Sixto H. et. al., 2007; Ciria M.P., 2009; Tolosana E., et. al., 2010; Sixto H., et. al., 2010; Fernández M., 2011a; Homar C.A., 2013; Cuadros L., 2014.

- Crecimiento: velocidad, distribución de la biomasa, densidad, genotipo, turno, etc.
- Propagación: semilla, vegetativa, capacidad de rebrote de cepa, etc.
- Ecología y Medio Ambiente: plagas, enfermedades, estrés biótico, carácter invasor, etc.
- Cultivo: Orografía, disponibilidad de agua de riego y aplicación, maquinaria (especialmente disponibilidad y existencia de cosechadoras específicas), mano de obra, etc.
- Destino de la biomasa: uso múltiple, quema directa, pellets, etc.
- Economía: costes de cultivo, costes de la tierra, logística requerida (procesado y transporte), etc.

Aunque existen multitud de especies de muy diverso origen y utilización, a continuación se describen de forma específica aquellas que tienen un mayor uso e interés en España y en Aragón en particular conforme a la bibliografía existente.

#### **4.1.- El chopo**

Se adapta a una gran diversidad de climas, pero siempre con agua y humedad edáfica. Es la especie más utilizada y ensayada junto con el eucalipto.

##### 4.1.1.- Consideraciones para su uso como CEL:

Densidades: entre 5.000 y 8.000 pies/ha. (3.000-15.000 pies/ha).

Producciones: 8-20 tms/ha/año (hasta 28-35 tms/ha/año con buena fertilización y riego).

Turnos: de 2-3 años. Buen rebrote.

Suelos: profundos, sueltos y frescos, con capa freática accesible o buena disponibilidad de riego. Exigentes en humedad edáfica, y nutrientes. Sensible a la salinidad, factor que limita las producciones.

pH: 5,5 – 8,0. En ensayos en el valle del Ebro se han desarrollado con éxito con suelos con valores superiores a 8,5.

Clima: Tolerante a frío invernal aunque como límite no debe utilizarse en altitudes superiores a 1.000 m.

Material de plantación: por estaquillas ( Ø 1-2 cm y longitud de 18-20 cm). Siempre material certificado conforme a la normativa de los Materiales Forestales de Reproducción<sup>[19]</sup>.

##### 4.1.2.- Clones.

El idiotipo de clon susceptible de ser utilizado en cultivo en turnos cortos (definido en la Comisión Internacional del Álamo en 1985), debe tener las siguientes características entre otras:

---

<sup>[19]</sup> Real Decreto 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción.

- Crecimiento juvenil rápido.
- Producción elevada y continua de brotes.
- Capacidad de crecer en altas densidades.
- Amplia utilización del periodo vegetativo.
- Respuesta positiva a los tratamientos culturales.

Actualmente, se han seleccionado a partir de los clones existentes para la producción de madera, aquellos que presentan estas características y aptitudes como CEL y aunque en España no existe un programa de mejora genética específico para el uso del chopo como CEL, si existe en otros países, dando como resultado una amplia oferta y disponibilidad de clones para el mercado de la biomasa a través de empresas especializadas en la producción y venta de estaquillas como BIOPOBLAR IBERICA, Viveros TIPLAN, etc.

Una recopilación de los clones usados como CEL recogidos de diversas publicaciones, proyectos y ensayos (ver bibliografía), son:

I-214: Clon muy plástico. Se utiliza como “testigo” en todos los ensayos.

AF2: Muy tolerante a las plagas y enfermedades. Muy plástico y productivo.

Oudenberg: Tolerante a plagas y enfermedades. Evitar pH por encima de 8.0. Buenos crecimientos.

Agathe F: Se adapta bien a zonas marginales (escasez de agua y suelos pobres).

NNDy: Resistente a insectos, pero sensible a la roya (*Melampsora* spp y *Marsonnina brunnea*). Soporta bien bajas temperaturas y vientos.

Lombardo leonés: Muy ramificado y rústico. Útil para zonas marginales, frías o con la capa freática no estable. Crecimientos intermedios. Es autóctono.

Viriato: Resistente a enfermedades. Muy buen crecimiento. Exigente en cuanto a humedad.

Raspalje: Tolerante a condiciones de pH bajos y suelos de escasa fertilidad. Comportamiento muy plástico, alta tolerancia condiciones de marginalidad.

Beaupré: Buenos crecimientos pero exigente en humedad.

Clones usados en Italia específicamente para la producción de biomasa son: Baldo, Muur, Vesten, Adige, Orion, AF2 y Monviso.

Clones utilizados en el proyecto PSE On-Cultivos<sup>[20]</sup> en las parcelas experimentales y demostrativas:

- Viriato
  - USA 49-117
  - Unal
- } Incluidos en el Catálogo Nacional de Materiales de Base.

<sup>[20]</sup> Proyecto Singular Estratégico On Cultivos “Desarrollo y evaluación de la viabilidad de la producción de energía en España a partir de la biomasa de cultivos energéticos” (Ver punto 8.1.)

- Monviso
  - Pegaso
  - AF2
- } Incluidos en el registro italiano mediante una vía provisional para la producción de biomasa

**Tabla nº 2.** Listado de clones incluidos en el CNMB

<b>LISTADO DE CLONES INCLUIDOS EN EL CATÁLOGO NACIONAL DE MATERIALES DE BASE (CNMB)</b>				
Excluidos por RESOLUCIÓN de 7 de noviembre de 2011 de la Dirección General de Recursos agrícolas y ganaderos (BOE nº 296, 09-12-2011) los clones: I488, NNDv y BI Constanzo.				
ESPECIE	CLON	PAÍS	SEXO	Norma: Orden Ministerial O.M.
<i>Populus x euramericana</i> ( <i>Populus deltoides</i> x <i>Populus nigra</i> )	2000 Verde	Italia	M	O.M. 6-3-03
	Agathe F	EE.UU.	F	O.M. 24-6-92
	B-1M	Italia	M	O.M. 6-3-03
	Branagesi	Italia	F	O.M. 6-3-03
	Campeador (*)	España	F	O.M. 6-3-03
	Canadá Blanco	España	F	O.M. 24-6-92
	Dorskamp	Holanda	M	O.M. 6-3-03
	Flevo	Holanda	M	O.M. 24-6-92
	Guardi	Italia	F	O.M. 6-3-03
	MC	Italia	F	O.M. 24-6-92
	I-214	Italia	F	O.M. 24-6-92
	I-454/40	Italia	F	O.M. 6-3-03
	Luisa Avanzo	Italia	F	O.M. 24-6-92
	Triplo	Italia	M	O.M. 24-6-92
CL-Q-581/E-298			Res. 7-7-06	
<i>Populus deltoides</i>	Lux	Italia	F	O.M. 24-6-92
	Viriato	Portugal	M	O.M. 6-3-03
<i>Populus deltoides</i> x <i>Populus alba</i>	114/69	Italia	M	O.M. 24-6-92
<i>Populus nigra</i>	Bordils	España	M	O.M. 6-3-03
	Lombardo Leonés	España	M	O.M. 6-3-03
	Tr-56/75 (**)	Turquía	M	O.M. 24-6-92
<i>Populus x interamericana</i> ( <i>Populus trichocarpa</i> x <i>Populus deltoides</i> )	Beaupré	Bélgica	F	O.M. 24-6-92
	Boelare	Bélgica	F	O.M. 6-3-03
	Raspalje	Bélgica	F	O.M. 24-6-92
	Unal	Bélgica	M	O.M. 6-3-03
	USA 49-177	USA	F	O.M. 6-3-03

(\*) Según algunas publicaciones de la Junta de Castilla y León (<http://www.populuscyl.es/clones>), este clon es en realidad igual que el clon I-214

(\*\*) Tr-56/75 = Anadolu

Dado que legalmente la reproducción y comercialización de clones de chopo debe hacerse de entre aquellas especies, híbridos y clones incluidos en el Catálogo de Materiales de Base, para el género *Populus*, que a escala europea, resultan del conjunto de los Catálogos Nacionales de los países miembros, es necesario indicar cuáles son actualmente en España, los clones incluidos en dicho catálogo. Ver tabla nº 2.

#### **4.2.- Sauce**

Muy utilizado en Suecia. Se desarrolla muy bien en climas fríos y húmedos. De agronomía conocida y usada en España por las plantaciones de salgueras para cestería (*Salix fragilis*).

##### 4.2.1.- Consideraciones para su uso como CEL:

Densidades: entre 3.000 y 15.000 pies/ha.

Producciones: 8-15 tms/ha/año (hasta 23-30 tms/ha/año con buena fertilización y riego).

Turnos: de 2-4 años. Buen rebrote.

Suelos: profundos (>45 cm), permeables y aireados, franco arenosos a franco arcillosos. Exigentes en humedad edáfica, y nutrientes.

pH: 5,5 – 8,0.

Clima: Tolerantes a frío invernal. Precipitación anual requerida 600-1.000 mm.

Material de plantación: por estaquillas (Ø 1-2 cm y longitud de 18-20 cm) o bien varas de 1,5 a 3 metros según la maquinaria de plantación a usar.

##### 4.2.2.- Clones:

En el Norte de Europa se usan clones de *Salix ciminalis*, en Italia de *Salix marsudana*.

Otros clones:

- SA2 (*Salix alba*);
- 131-25 (*Salix babylonica x alba*);
- Fish Creek (*Salix purpurea*);
- S25 (*Salix eriocephala*);
- S365 (*Salix discolor*);

#### **4.3.- Paulownia**

La Paulownia es un árbol originario de china, una especie caducifolia que presenta una copa ancha y ramas de crecimiento horizontal con hojas de gran tamaño (hasta 50 cm. el primer año), color verde oscuro en forma ovalada y acorazonada.

En España es de reciente implantación, por lo que no existen datos contrastados a largo plazo sobre su productividad. Esta siendo usado por empresas productoras y comercializadoras en ensayos y estudios que muestran crecimientos rápidos y en algunos casos excepcionales (4 metros de altura el primer año y hasta 12 m. a los 5; 30-40 cm Ø a los 10 años) que junto con su capacidad de rebrote, permiten su uso con fines energéticos.

#### 4.3.1.- Consideraciones para su uso como CEL:

Densidades: entre 1.500 y 2.500 pies/ha (hasta 5.000 pies/ha).

Producciones: 5-17 tms/ha/año (hasta 36 tms/ha/año en buenas condiciones con clones mejorados).

Turnos: de 3 años (2-5 años).

Suelos: tolera suelos de diversa naturaleza pero prefiere suelos profundos, permeables y con humedad y poca arcilla. No tolera el encharcamiento. Los grandes crecimientos se vinculan a presencia de altas concentraciones de nitrógeno en el suelo.

pH: 5,5 – 8,0.

Clima: Se adapta a una gran diversidad climática. Tolerante a sequía y heladas invernales a costa de reducir productividad. Sensible a heladas tardías. Requiere al menos 800 mm de precipitaciones, parte de ellas en el periodo seco, requiriendo riegos en los primeros años.

Propagación: por brinzales. Aunque se pueden usar semillas y estaquillas, lo habitual para evitar la variabilidad genética (pérdida de caracteres de interés para la producción de biomasa) y la transmisión de enfermedades y virosis, es la utilización de planta de un año de edad proveniente del cultivo in-vitro. Ello tiene un alto coste por plantón, lo que incrementa los costes de implantación del cultivo.

Riegos: El riego mínimo una vez a la semana, sobre todo durante el primer y segundo año de crecimiento. Dosis de riego, menores que para otros cultivos de otras especies, son del orden de 2.500-4.000 m<sup>3</sup>/ha en función de la evapotranspiración y del tipo de suelo utilizándose como medio idóneo, el riego por goteo.

Fertilización: Requerimientos nutricionales medios anuales de *Paulownia tomentosa*, para planta de no más de dos años en plantación son: 100 N, 75 K<sub>2</sub>O, 20 P<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Kg/ha, recomendándose aplicación de 400 g por árbol de complejo fertilizante NPK 15-15-15.

Observaciones: Sensible a gran cantidad de plagas y enfermedades. Baja densidad de la madera que eleva los costes de transporte. Fijadora de nitrógeno.

#### 4.3.2.- Clones:

Dentro del género *Paulownia* existen diversas especies e híbridos dentro de ellas las más usadas para la producción de biomasa son: *P. elongata*; *P. elongata x fortunei*; *P. tomentosa*; *P. kawakamii*.

En España la empresa COTEVISA ([www.cotevisa.com/catalogo-Paulownia](http://www.cotevisa.com/catalogo-Paulownia)) comercializa clones de *P. elongata* (cotevisa 1 y cotevisa 2) adaptados a las condiciones de la Península Ibérica.

Otros clones ensayados en España (Homar C.A., 2013) son: Sun Tzu 105 (*P. tomentosa*); Sun Tzu 104 y 33 (*P. fortunei*); Sun Tzu 11 (*P. elongata*).

#### **4.4.- Eucalipto**

Especie perennifolia por lo que a diferencia del resto de especies, no retorna parte de los nutrientes con la caída de la hoja. Muy utilizada como CEL en zonas donde ya se usa para producción de celulosa (Galicia y Huelva), sin embargo es una alternativa para zonas con temperaturas altas y suelos pobres de regadío.

##### 4.4.1.- Consideraciones para su uso como CEL:

Densidades: entre 2.500 y 5.500 pies/ha (2.500 a 10.000 pies/ha). Las densidades bajas son usadas en plantaciones en secano sin riego.

Producciones: 8-15 tms/ha/año (de 20 a 40 tms/ha/año según especie, clon y estación). En España se alcanzan producciones de entre 15 a 20 tms/ha/año.

Turnos: de 1-3 años, buen rebrote. Turnos de hasta 3-5 años en plantaciones con clones resistentes a la sequía en secano.

Suelo: Profundos y bien drenados, no encharcados. No tolera la arcilla. Exigente en humedad edáfica y nutrientes.

Clima: no tolera los fríos invernales por debajo de -5 a -8 °C, aunque depende de la especie. Soportan la sequía estival (hasta 4 meses).

Propagación: por brinzales y estaquillas (clones). Suele utilizarse plantones de una savia a raíz desnuda en cuyo caso, requiere de un riego de establecimiento tras la plantación. También cultivo in vitro (ENCE).

Especies: *E. globulus* spp. *globulus*; *E. globulus* ssp. *maidenii*; *E. globulus* ssp. *dunii* (en regadío); *E. saligna* (en regadío); *E. camandulensis*; *E. x trabutti*; *E. x urograndis*; *E. gomphocephala*; *E. nitens* (en climas de influencia oceánica sin heladas ni veranos secos).

Observaciones: ENCE gestiona actualmente más de 7.000 ha. de cultivos energéticos leñosos con esta especie. La producción va destinada a la planta bioeléctrica construida en el entorno de la papelería de ENCE en Huelva (potencia nominal: 50 MW eléctricos).

#### **4.5.- Robinea pseudoacacia.**

Especie que ya no se encuentra en el catálogo de especies invasoras (R.D. 630/2013). Como leguminosa es usada para la recuperación de suelos al fijar N<sub>2</sub> atmosférico y por su potente sistema radical para la estabilización de suelos.

##### 4.5.1.- Consideraciones para su uso como CEL:

Densidades: entre 5.000 y 7.000 pies/ha (3.500 a 10.000 pies/ha).

Producciones: 6-12 tms/ha/año (hasta 25 tms/ha/año), en función de la humedad disponible en el suelo, la aireación y profundidad del enraizamiento. En secano, en España, alcanza valores muy interesantes de 4-6 tms/ha/año.

Turnos: de 2-3 años (hasta 5 años).

Suelo y clima: muy plástica en cuanto a suelo y clima. No tolera encharcamiento, pero sí heladas y sequías.

Propagación: por estaquillas.

Observaciones: carácter invasor aunque actualmente no considerada legalmente como tal.

#### **4.6.- *Ulmus pumila***

##### **4.6.1.- Consideraciones para su uso como CEL:**

Densidades: entre 5.000 y 7.000 pies/ha (3.500 a 10.000 pies/ha).

Producciones: 4-17 tms/ha/año.

Turnos: de 2-3 años (hasta 5 años).

Suelo y clima: muy plástica en cuanto a suelos y clima. Tolera sequías, helada y suelos marginales de escasa fertilidad.

Propagación: por brinzales.

Observaciones: poco estudiado su potencial para la producción de biomasa.

#### **4.7.- Elección de especie en Aragón**

Considerando los aspectos enumerados sobre las características y requerimientos ecológicos, parece lógico pensar que para el caso de Aragón y especialmente la zona con cultivo tradicional de chopo, la especie que puede ser usada de forma más masiva es el *Populus*, pudiendo obtenerse en su óptimo ecológico (zonas de vega de los valles del Ebro y Cinca) grandes producciones. Se trata de una especie de conocida agronomía cuyos cuidados culturales son fáciles de adaptar por los productores de chopo tradicionales. Sin embargo, la gran disponibilidad de clones y su diversidad genética, obliga a la búsqueda, ensayo y cultivo en parcelas demostrativas de aquellos clones que mejor se adapten a las condiciones del agro aragonés (pH elevados, presencia de caliza activa, sequía, salinidad, viento, etc.) que permitan maximizar producciones.

Por otro lado, y a pesar de la inexistencia hasta ahora de plantaciones o ensayos importantes, la paulownia y el eucalipto (sobre todo este último con nuevas variedades y especies capaces de adaptarse al frío), pueden ser una opción de gran interés, especialmente en los terrenos de nuevos regadíos mediante el riego por goteo que permitan desarrollar su alto potencial mediante adecuadas fertirrigaciones que compensen los suelos pobres de muchos de los secanos transformados a regadío de la CCAA de Aragón.

Finalmente, tanto la *Robinea pseudoacacia* como el *Ulmus pumila*, son especies que pueden ser utilizadas en terrenos de secano o con limitaciones en la disponibilidad de agua, aún sabiendo de su menor productividad, ya que pueden suponer una alternativa para terrenos marginales y en fase de abandono.

## 5.- CULTIVO Y MANEJO DE LOS CEL<sup>[21]</sup>.

### 5.1.- Implantación

Uno de los factores iniciales a tener en cuenta, es la elección del sitio o ubicación de la plantación, dado que esta condicionará los costes (distancias a centros de consumo y red de carreteras), la logística (facilidad de accesos), la producción (pendiente, suelo, clima, etc.), replanteo de la plantación (según vientos, riegos, longitudes de hileras de al menos 100-150 m y espacios para la movilidad de la maquinaria en cabeceras y fondos), o la existencia de elementos ajenos a la plantación que pueden condicionarla como líneas eléctricas, infraestructuras, etc. Así mismo, es necesario tener en consideración aspectos medioambientales o paisajísticos que pudieran suponer restricciones.

Elegida la ubicación, es necesario atender a diversos factores para lograr el éxito de la plantación y las mayores producciones de biomasa posible que rentabilicen la potente inversión inicial que supone la implantación del cultivo.

#### 5.1.1.- Preparación del terreno

Todos los cultivos requieren de una preparación previa del terreno, que en el caso de los CEL y del chopo en particular, implica un nivelado previo de la parcela en caso de riego a manta. Actualmente la tendencia es realizar plantaciones con riego por goteo, entre otras ventajas por la posibilidad de realizar de forma fácil y eficaz una fertilización mediante fertirrigación, no siendo importante en este caso el nivelado previo del terreno (ver punto 5.2.2.).

El laboreo habitual es un alzado y/o subsolado de al menos 60-80 cm y un posterior gradeo con un esponjamiento mediante cultivador chisel y/o fresadora para facilitar el estaquillado o plantación de los plántones (como es el caso del eucalipto, *Ulmus pumila* o paulownia).

#### 5.1.2.- Plantación y/o estaquillado

El estaquillado y la plantación puede hacerse manualmente, sin embargo en las grandes plantaciones se usan plantadoras o estaquilladoras que incrementan enormemente los rendimientos (268 estaquillas/h sistema manual frente a 1.000-1.300/h para el sistema mecanizado), disminuyendo así los costes.

Es habitual la realización de tratamientos con herbicidas de preemergencia (Oxifluorfen 24 %, Orizalina 49 %, etc.) al objeto de controlar las malas hierbas durante las primeras semanas y asegurar el enraizamiento de estaquillas y brinzales.

La época de implantación idónea es la primavera, concretamente los meses de marzo a mayo, pudiendo retrasarse hasta junio en caso de plántones con cepellón o de especies sensibles a las heladas tardías como la Paulownia. En el caso del eucalipto y en función del clima de la zona, también puede hacerse la plantación en otoño, aunque en este caso se pierde un año de crecimiento vegetativo.

A parte de las empresas ya mencionadas, capaces de suministrar grandes cantidades de estaquilla de diversos clones de chopo (Viveros Tiplan, Biopoplar Ibérica), existen igualmente empresas especializadas en el suministro de plántones de Paulownia (Cotevisa) o eucalipto

---

[21] Fuentes bibliográficas para elaborar este apartado: Ciria M.P., 2009; Tolosana E., et. al., 2010; Sixto H., et. al., 2010; Fernández M., 2011b; Sixto H., et. Al., 2013; Dauden A. y C. Baraza, 2014.

(viveros gallegos y del suroeste de Andalucía) capaces de suministrar grandes cantidades de estacilla o planta que requieren los CEL. En muchos casos, las grandes empresas, con proyectos propios que requieren grandes cantidades de planta, desarrollan sus propios clones y variedades, incluyendo entre sus líneas de actividad el auto suministro de planta con objeto de lograr la independencia de terceros, mantener la ventaja competencial adquirida en la fase de I+D+i que requiere la obtención del clon o variedad, asegurándose así el uso exclusivo de los mismos.

### 5.1.3.- Marco de plantación

Los marcos de plantación utilizados son muy variables según especies, objetivos, maquinaria disponible para el laboreo y la recolección o cosechado.

Sin embargo, es un factor clave que va a influir en la producción del cultivo, dado que ésta va a depender del diseño del cultivo, de los espaciamientos y los turnos de cosecha, condicionando además la logística de la recogida (hileras, diámetros de los pies, anchura de las calles, etc.). El marco de plantación por tanto condiciona la eficiencia del cultivo.

Algunos aspectos y cuestiones a tener en cuenta para decidir sobre el marco de plantación son las siguientes: A mayor marco de plantación:

- Disminuye la producción de biomasa (tms/ha/año).
- Disminuye el coste de implantación (menor nº de estaquillas, plantones, etc.).
- Los costes de las tareas culturales son similares.
- Se facilita el manejo de la plantación al haber mayor espaciamiento (por ejemplo en la mecanización de determinadas operaciones).
- Se facilitan las tareas de corta.
- Al tener mayor diámetro las plantas, la biomasa es de mayor calidad (menor % de corteza, menor humedad).

La elección del marco de plantación juega un papel fundamental en la rentabilidad futura de la plantación dado que a menor marco de plantación se obtienen mayores producciones pero en general los turnos se acortan y los costes se incrementan (ver figura nº 2).

**Figura nº 2.** Esquema con tres tipos de marco de plantación (Fuente: Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas". Universidad de Córdoba).



## **5.2.- Trabajos culturales**

### 5.2.1.- Control de malas hierbas

Su finalidad es la eliminación de la competencia por el agua, la luz y los nutrientes en las primeras fases de crecimiento del cultivo. Resulta imprescindible para lograr el arraigo en el primer año de la plantación, especialmente en el caso de las estaquillas. Como ya se ha mencionado, la aplicación de herbicidas de preemergencia previamente al estaquillado es una práctica habitual. Una vez que la planta ha ganado altura, esta competencia se verá disminuida, no siendo necesario su control a partir del segundo año, aunque dependerá del marco de plantación (a menor mayor marco, más espacio entre plantas, más luz y mayor presencia de plantas herbáceas competidoras).

Los tratamientos pueden ser:

- Mecánicos: escarda mecánica mediante arado de discos o de vertedera o con rotovator.
- Químicos: aplicación de herbicida de post-emergencia (glifosatos y MCPA) o de pre-emergencia ya mencionados (Oxifluorfen y Orizolina).

### 5.2.2.- Riego

Se plantean dos posibilidades en este tipo de plantaciones, o bien se realizan riegos por goteo o bien a manta. Los riesgos por aspersión están contraindicados por favorecer las enfermedades foliares (oidium, roya, etc.) Las ventajas e inconvenientes del riego a manta versus goteo, son:

#### Goteo:

- Reduce la evaporación y por tanto el consumo de agua.
- Reduce la proliferación de malas hierbas.
- Se adapta mejor a los terrenos irregulares.
- Ahorra mano de obra. Se automatiza.
- Mayor control en la dosis de riego.
- Mayor eficiencia en el uso del agua.
- Permite la fertirrigación.
- Elevado coste de inversión inicial.
- Riesgo de obturación de los goteros.
- Condiciona las labores de mantenimiento del cultivo.

#### Manta:

- Menor coste de inversión.
- Mayor consumo de agua.
- Aporte de semillas de mala hierbas.
- Mayor coste en mano de obra.
- Lixiviado de nutrientes.
- Posible presencia de acuíferos superficiales.

### 5.2.3.- Necesidades hídricas

Considerando que un cultivo de regadío tradicional del Valle del Ebro (alfalfa o maíz) viene a consumir del orden de 9.000 m<sup>3</sup>/ha/año (equivalente a 900 mm/año), los cultivos energéticos leñosos son en general cultivos menos exigentes y menos consumidores de agua que éstos.

Los datos en valores mm (litros/m<sup>2</sup>) que a continuación se muestran, no son datos pluviométricos, sino datos de consumos anuales de riego, bajo la premisa del sabio refrán agrícola de que “agua de cielo no quita riego”. Sin embargo la pluviometría, T<sup>a</sup> medias máximas y ETP (evapotranspiración potencial), son variables climáticas a tener en cuenta que influyen en las dosis de riego. Las dosis anuales varían según la ubicación de las plantaciones, el año y su meteorología anual, mensual e incluso semanal aumentando en el periodo más restrictivo y exigente, el verano.

A continuación se muestran valores de requerimientos hídricos anuales orientativos según bibliográfica consultada que sirven de referencia cuando no existe un estudio previo o control intenso del cultivo (ver tabla nº 3).

**Tabla nº 3.** Necesidades hídricas para las especies utilizadas como CEL

<b>Especie</b>	<b>Requerimientos hídricos</b>	<b>Observaciones</b>
<b><i>Populus sp. (Chopo)</i></b>	> 500 mm, preferentemente 1.000 m.	Consumos reales en red de parcelas nacional: de 500 a 6.000 m <sup>3</sup> /ha/año (Sixto H. et.al., 2013).
<b><i>Salix sp. (Sauces)</i></b>	800-1.100 mm	
<b><i>Paulownia</i></b>	500-1.500 mm preferentemente en verano	El riego mínimo una vez a la semana, sobre todo durante el 1 <sup>er</sup> y 2 <sup>o</sup> año de crecimiento. Dosis de riego del orden de 1.500-2.000 m <sup>3</sup> /ha/año, para obtener buenos rendimientos.
<b><i>Eucalyptus sp. (Eucalipto)</i></b>	>400 mm. 600-900 mm.	En España, las dosis de riego varían de un mínimo de 1.600 m <sup>3</sup> /ha/año para <i>E. maidenii</i> , hasta no tener límite superior para <i>E. dunii</i> , cuyo rendimiento de biomasa sigue creciendo con el aumento del riego.
<b><i>Robinea pseudoacacia</i></b>	800-1.200 mm	100 mm en verano.
<b><i>Ulmus pumila</i></b>	400 – 1.000 mm.	

### 5.2.4.- Fertilización. Requerimientos minerales anuales.

Como regla general para este tipo de cultivos, las dosis de aplicación son del orden de 100-200 kg/ha de fertilizante terciario (ej: 15-15-15), excepto para las fijadoras de N<sub>2</sub> que podrá ser solo N-K.

Tras las cortas, las dosis de aplicación serían de 6 a 8 kg/ha para reponer fertilidad.

Los datos orientativos de requerimientos minerales anuales por especies cuando no se dispone de un estudio o control intenso del cultivo se presentan en la tabla nº 4.

**Tabla nº 4.** Requerimientos minerales anuales para las especies utilizadas como CEL

<b>Especie</b>	<b>Requerimientos minerales</b>	<b>Observaciones</b>
<b><i>Populus sp. (Chopo)</i></b>	150-200 kg N/ha, 120 kg P*/ha y 250 kg K*/ha	
<b><i>Salix sp. (Sauces)</i></b>	100-250 kgN/ha.	
<b><i>Paulownia</i></b>	100-50-50 kg/ha N-P-K.	
<b><i>Eucalyptus sp. (Eucalipto)</i></b>	70-200 kg/ha N-P-K.	El abonado inicial de la plantación es fundamental para la mejora de su desarrollo y crecimiento posterior, reduce la edad de corta e implica mayor producción de biomasa
<b><i>Robinea pseudoacacia</i></b>	Sin datos	
<b><i>Ulmus pumila</i></b>	100-60 kg/ha N-P.	

#### 5.2.5.- Enmiendas orgánicas.

La dosis promedio de aplicación de estiércol es de entre 25-30 tn/ha. Proporcionará 100 kg<sub>Humus</sub> / t<sub>estiércol</sub> y liberará los fertilizantes a razón del 50 %-35 %-15 % el 1º, 2º y 3er años respectivamente, en función del tipo de estiércol y su analítica.

Se suelen recomendar enmiendas al inicio de los cultivos de hasta 40 tn/ha para el caso de los *Salix* y los *Populus*.

Hay que tener en cuenta que el estiércol es fuente de malas hierbas al llevar siempre un banco de semillas arvenses y ruderales.

#### 5.2.6.- Tratamientos fitosanitarios

La selección de especies y clones que se realiza para uso en los CEL, contempla una alta resistencia a enfermedades y plagas, sin embargo, en los primeros años del cultivo y especialmente el primero, es necesario vigilar y en todo caso tratar determinadas plagas y enfermedades.

Debido a la dificultad técnica y a los elevados costes, tan solo en caso de daños que puedan comprometer la rentabilidad del cultivo se acudiría a la aplicación de fitosanitarios.

En las diferentes experiencias realizadas en Aragón con chopo, se han detectado y aplicado tratamientos contra *Melasma populi* (crisomélido del chopo) y *Paranthrene tabaniformis* (oruga perforadora) este último el más problemático, siendo aconsejable realizar un seguimiento de las poblaciones mediante la captura con trampas de feromonas.

En relación a las enfermedades, en los cultivos de chopo siempre está presente la roya (*Melampsora spp* y *Marsonnina brunnea*), sin embargo no se suelen aplicar tratamientos específicos de lucha, constatando la mayor sensibilidad de algunos clones que hace que queden inhabilitados para su uso como CEL (Ejemplo: Adige).

### 5.3.- Cosechado y logística del aprovechamiento

El proceso de corta y recolección de la biomasa es un proceso estacional y periódico (cada 2-3 años o más) y crítico, al suponer junto con el almacenamiento hasta un 70% del coste del producto (Picchi G., 2007).

La corta debe hacerse en el periodo de parada vegetativa de la planta, es decir, en el invierno, cuando el árbol ya no tiene hojas y la sabia se encuentra parada. Si se retrasa mucho, se podría originar un retraso en la brotación y por tanto un acortamiento del periodo vegetativo que conllevaría una menor producción.

Es importante tener en cuenta la humedad del suelo en el momento de realizar la cosecha para evitar la compactación del terreno por el paso de la maquinaria.

El escaso desarrollo de maquinaria específica para este tipo de cultivo, hace que no exista una gran disponibilidad y que su coste sea muy elevado (ver siguiente apartado 5.3.1). Por ello, la reducción de los tiempos muertos de la maquinaria y medios de transporte con una adecuada logística se hace precisa para aumentar la rentabilidad de la plantación. Además, el método de recolección puede venir condicionado por la logística de entrega y tipo de producto del centro de consumo de la biomasa.

Al final del ciclo de vida de la plantación, se debe realizar el destocoado, para dejar la parcela en condiciones perfectas para plantar de nuevo cultivo energético o cualquier otro cultivo.

#### 5.3.1.- Sistemas de trabajo mecanizados para el aprovechamiento de la biomasa producida por los CEL (Picchi G., 2007)

Apeo y desembosque por separado: desembosque de árboles completos a cargadero, seguido de secado y transporte a planta o bien astillado en cargadero y transporte de la astilla a planta.

La corta se puede hacer con motosierra o con cabezales específicos de corte para cultivos de turno corto (el cabezal de corte que se acopla a un tractor y va cortando los pies por la base, depositándolos a lo largo de la parcela). Para cultivos de turno medio (5 años) con diámetros mayores, se pueden utilizar con cabezales cosechadores forestales de cizalla, sierra de cadena o circular.

En estos casos es necesario realizar un desembosque que puede llevarse a cabo, con autocargador o con maquinaria agrícola con grapa.

Finalmente, tras el acopio de los fustes, estos pueden astillarse in situ o directamente sobre camión (tráiler) o contenedores, para su transporte hasta planta.

Este sistema requiere de una potente logística e intervienen diferentes tipos de maquinaria, que lo hacen más costoso. También se ha comprobado (Baraza C., 2013) que un pequeño pero significativo % de biomasa (hasta el 2-3 %) no es aprovechado, quedando en el campo de cultivo.

Apeo y desembosque integrados: de árboles completos, seguido de secado en cargadero y astillado o transporte a planta donde se astillan.

Para este caso, como el siguiente, se realiza mediante maquinaria específica (muchos de ellos prototipos como el Nicholson, AUSTOFT 7700, LFW o Spapperi) diseñada en Italia y

Finlandia y que no ha sido ensayada ni probada en España por su alto coste. Se trata de cortadoras y empacadoras (ver figura nº 3) que se basan en un elemento de corte con un posterior empacado de los pies en fardos cilíndricos. Estos fardos se irán depositando a lo largo de la parcela para posteriormente juntarlos en un único punto.

**Figura nº 3.** Imagen del prototipo de cortadora empacadora Nicholson (Fuente: “Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas”. Universidad de Córdoba).



Apeo y empacado: desembosque y transporte de pacas a planta y astillado en planta.

A diferencia del anterior grupo de maquinaria, en España si se ha llegado a ensayar y a utilizar una maquina desarrollada específicamente para la cosecha de CEL. Se trata de la BIOBALER WB-55 de la marca ANDERSON (cuyo rendimiento alcanza las 30 balas por hora, con un peso de entre 400-600 kg), utilizada por la empresa Valoriza Energía en 2011 para cosechar chopos de 3 años en Granada (Espejo J., 2011).

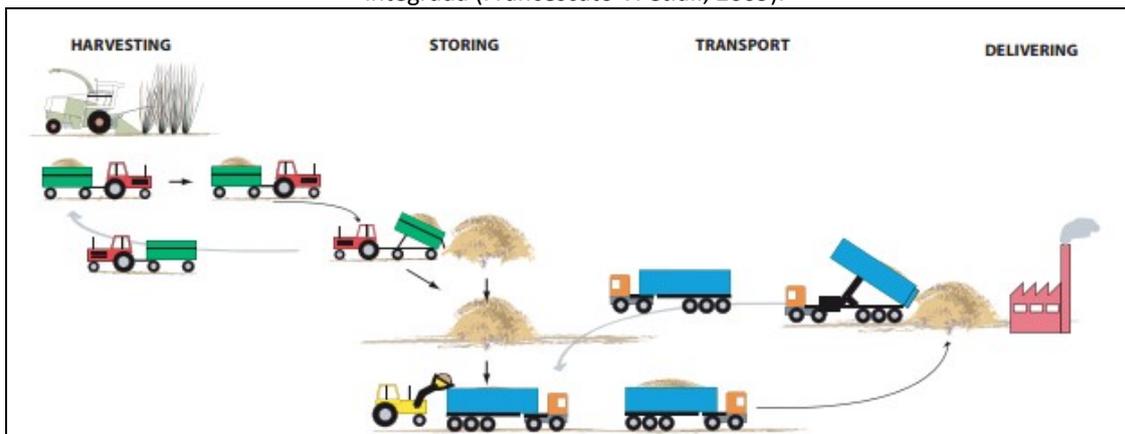
**Figura nº 4.** Imagen de la empacadora BIOBALER (Fuente: Espejo J., 2011).



Apeo y astillado integrados: con cosechadora-astilladora, seguido del transporte de las astillas a planta.

Se trata de cortadoras trituradoras y son la opción más económica para la recolección dado que suponen la logística de aprovechamiento más sencilla de todas (ver figura nº5).

**Figura nº 5.** Proceso logístico del aprovechamiento de la biomasa de un CEL con cosechadora-astilladora integrada (Francescato V. et.al., 2009).



Existen dos tipos de maquinaria de este tipo:

- Cosechadoras de forraje con cabezal adaptado para la recolección de biomasa leñosa.
- Máquinas portadas por tractor con funcionamiento marcha atrás. Por ejemplo el modelo "Spapperi".

Ambos tipos de maquinaria trabajan cortando y astillando, evacuando directamente la biomasa astillada sobre un remolque que circula en paralelo a la máquina.

Las primeras presentan mejores rendimientos que las segundas (35 t/h frente a 7 t/h), sin embargo, el coste de inversión de las segundas para su desarrollo, es mucho menor.

En España existen varios modelos del tipo cosechadoras de forraje (Ej: CLASS JAGUAR, modelo HS-2 capaz de cortar  $\varnothing$  hasta 7-8 cm. o el modelo GBE, capaz de cortar  $\varnothing$  hasta 12-14 cm.), que están disponibles a través de empresas del sector como BIOPOBLAR IBERICA S.L. pero con importantes déficits (limitación de diámetros, requerimientos importantes de espacio y accesibilidad, etc.) por lo que es necesario seguir desarrollando nuevas tecnologías y sistemas tomando como base la maquinaria agrícola y forestal existente en el mercado.

### 5.3.2.- Transporte, secado y almacenado de la biomasa.

Conforme a lo expuesto anteriormente, existen tres casuísticas diferentes para el transporte, secado y almacenado de la biomasa pero todos los casos presentan un factor común: el material a manejar presenta humedades de entorno al 50% y una densidad baja, especialmente en el caso del chopo (de 290 a 470 kg/m<sup>3</sup>) y de la paulownia (de 245 a 319 kg/m<sup>3</sup>) comparada con el pino (de 550 a 650 kg/m<sup>3</sup>)<sup>[22]</sup>.

Material astillado proveniente de las cortadoras trituradoras: este material, se transporta hasta la planta o a almacenes intermedios directamente. Acopiar grandes cantidades puede ser costoso y puede tener problemas en su almacenamiento, debido a que se puede producir la pérdida de material por descomposición pudiendo llegar a la autocombustión de las pilas de astillas debido al proceso natural de fermentación.

Para su uso como biocombustible en forma de astillas o como materia prima para pellet, el material cosechado debe someterse a un secado previo, ya sea natural en las pilas de astillas

[22] Datos de densidad al 20% de humedad, recogidos en HOMAR C.A., 2013.

(con los riesgos mencionados anteriormente) o un secado forzado (con el coste energético que ello conlleva). Sin embargo, puede perfectamente ser usado directamente como combustible en calderas de gran potencia que suelen admitir biomasa con altos porcentajes de humedad.

Material empacado, proveniente de la cortadora empacadora: este material se puede dejar empacado en el campo o en un almacén favoreciendo el secado natural de la madera.

Material en bruto proveniente de las cortadoras apiladoras y procesadoras: este material se tendrá que dejar apilado en la parcela durante un periodo de tiempo corto, favoreciendo el secado natural. La diferencia con el anterior es que los árboles están simplemente apilados y no en pacas.

Estos dos últimos sistemas tienen un menor coste de almacenamiento a pesar de su mayor volumen aparente respecto a las astillas y no tienen especiales riesgos en su almacenamiento. Los dos favorecen el secado natural, pero se aumenta la logística al tener que realizar dos operaciones más, el apilado y el astillado. Una vez que se ha perdido la humedad suficiente (se estima que la madera pierde el 15 % de su humedad en menos de un mes), se puede proceder a su astillado, más eficiente y con menor coste, pudiendo hacerse directamente en campo o en almacenes intermedios y en el caso de las pacas en planta directamente.

### 5.3.3.- Diseño de acopios

Acopios en zona industrial: los acopios continuos de astillas en zona industrial, según la normativa, pueden tener una dimensión máxima de ocupación de superficie de 500 m<sup>2</sup>, con volúmenes máximos de 3.500 m<sup>3</sup> (alturas máximas de 15 m; longitud máxima de 45 m. con calles de separación de mínimo 2,5 m.)<sup>[23]</sup>. Por la misma normativa de referencia, este tipo de instalaciones requieren de un sistema de extinción de incendios consistente en una red de hidrantes en cuya boca se ha de poder disponer de un caudal mínimo de 3 m<sup>3</sup>/min durante 90 minutos.

Generalmente cuando no hay limitación de espacio, las pilas de astilla adquieren forma trapezoidal (prisma rematados por conos) con dimensiones de 30 x 12 y 5 metros de alto y volúmenes de 745 m<sup>3</sup>.

Acopios intermedios en monte o campo: implica un astillado en verde y por tanto un inicio rápido de la actividad biológica (fermentación) que se ve favorecida por granulometrías finas y humedades superiores al 30 %, apareciendo el riesgo de la auto ignición de las pilas de astilla.

Para evitarlo, se recomienda no hacer pilas superiores 50-100 m<sup>3</sup> y alturas 3-4 m. (Rodríguez, J.; 2006). En algunos casos, las pilas se pueden cubrir con algún tipo de textil (filamento de polipropileno) con objeto de proteger de la lluvia y la nieve (época invernal). Estas coberturas protectoras permiten la salida del vapor de agua de la actividad biológica, favoreciendo que el agua escurra por ellas e impidiendo la percolación del agua de lluvia por dentro del montón de astilla.

---

[23] Ley 21/1992 de 16 de Julio de Industria en la que se considera como industria (art.3) “*las actividades dirigidas a la obtención, reparación, mantenimiento, transformación o reutilización de productos industriales, el envasado y embalaje, así como el aprovechamiento, recuperación y eliminación de residuos o subproductos, cualquiera que sea su naturaleza de los recursos y procesos técnicos utilizados*” incluyéndose en el epígrafe 4.e del citado artículo, específicamente, “*Las industrias alimentarias, agrarias, pecuarias, forestales y pesqueras*”.

Reglamento de seguridad para instalaciones industriales (RD 2267/2004, de 3 de diciembre), en el que se establecen según la configuración de las instalaciones y su ubicación con relación a su entorno y su nivel de riesgo intrínseco, las condiciones y requisitos que deben satisfacer, en relación con su seguridad contra incendios.

Se estima en un 10% de merma en materia seca durante el proceso de transformación y secado (Rodríguez, J.; 2006), aunque algunas fuentes las cifran del entorno del 10 al 30 % y hasta el 40 % en zonas de las pilas con elevada actividad descomponedora (López I. y M. Codina, 2010). En volumen, el valor habitual de las mermas debido a procesos de fermentado es del 3-4%, alcanzando valores máximos del 8 % (Miviere J.M., 2006).

#### **5.4.- Eficiencia en el manejo**

La eficiencia en el manejo del cultivo de los CEL, está ligada a los siguientes aspectos (ESCAN S.A., 2008):

- Elección del sitio de plantación, tanto relativa a la ubicación que permita el desarrollo y la mecanización del cultivo como aquella relativa a las exigencias propias de las especies.
- Preparación del terreno, atendiendo al acondicionamiento del suelo, el control de la vegetación competidora y el estado de fertilidad del mismo.
- Adquisición y conservación adecuada del material a plantar, de tal forma que se garantice el éxito en la instalación.
- Instalación de la plantación a la densidad óptima y con el diseño apropiado, procediendo a un replanteo previo de la parcela y realizado preferentemente de forma mecanizada.
- Aplicación de los tratamientos culturales necesarios tales como:
  - Control de la vegetación, a realizar en preemergencia de las malas hierbas y antes de la brotación del cultivo.
  - Riego, aplicado preferentemente mediante sistemas de alta eficiencia y adecuado a las características del sitio y del material vegetal utilizado.
  - Fertilización, realizada de manera preferente en base a análisis de suelo y hoja.
  - Control de plagas y enfermedades, realizando tratamientos cuando el umbral de daño así lo aconseje y procurando en cualquier caso, elegir material genético resistente.

En relación al cosechado no existe mucha experiencia en recolección de plantaciones de cultivo energético y a día de hoy no se ha generalizado el uso de maquinaria específica como las cosechadoras-astilladoras. Ésta, además, puede estar condicionada por la logística del aprovisionamiento del cliente final, lo que hace que no exista un método único y exclusivo para el cosechado y la logística de la biomasa producida por los CEL. Sin embargo es crucial en el logro de la rentabilidad debido a los costes que suponen en el conjunto del cultivo.

#### **6.- COSTES Y VIABILIDAD ECONÓMICA**

La viabilidad del cultivo desde el punto de vista económico está condicionada por el binomio costes/beneficios. En este sentido, las producciones esperadas, fundamentalmente dependientes del material vegetal utilizado (especie, clon o variedad), del manejo y de las características de estación, abarcan un rango muy amplio si se revisa la bibliografía existente (Sixto et al, 2007), estando comprendidas en una horquilla entre 5 y 45 tms/ha/año. Igualmente los costes de producción están sujetos a factores locales, como el precio del suelo

o del agua, el empleo de mecanización en el desarrollo del cultivo así como a las ayudas para su fomento a nivel europeo, nacional o local.

## **6.1.- Costes<sup>[24]</sup>**

### 6.1.1.- Costes iniciales.

Uno de los mayores costes de los CEL, corresponde a la fase inicial de implantación, en la que se realizan operaciones e inversiones que no se repiten a lo largo del ciclo completo del cultivo como son la preparación del terreno, la compra del material vegetal, la realización de enmiendas sobre el suelo o el sistema de riego por goteo. Un valor de referencia sobre estos costes estaría entre los 3.500 a 5.000 €/ha (Cuadros L., 2014), aunque varían según especie, estudios y zonas.

Por ejemplo, para el eucalipto en Tolosana E., et. al. 2010, se indica un coste de instalación de 2.000 €/ha incluida la fertilización y el sistema de riego. Con un orden de magnitud semejante, otros ensayos<sup>[25]</sup> cifran los costes de instalación para este cultivo entre los 1.000 y 1.400 €/ha (desbroce, preparación del suelo, abonado localizado y plantación) para la especie *Eucalyptus nitens* en bajas densidades (marcos de plantación de 3x3 m.) y de 3.400 a 4.000 €/ha en muy altas densidades (Marcos de plantación de 1x0,5 m.).

Para la Paulownia, donde el coste del material vegetal es elevadísimo (plantones producidos in vitro y mejorados genéticamente), se estiman constes de instalación que varían entre 4.000 y 7.000 €/ha (Irujo P., 2011) incluyendo en este caso los siguientes conceptos: terreno, material vegetal, preparación del terreno, plantación, sistema de riego por goteo y redacción de proyecto.

Para el chopo, según ensayos realizados en Granada, los costes son del mismo orden de magnitud que los señalados por Irujo P., (2011), alcanzando valores 5.190 €/ha (Ramos J.J., 2011).

En porcentaje, el coste que supone esta fase del cultivo con respecto al total, puede llegar a suponer un 27 % para un ciclo de 6 años y del 16 % para un ciclo del doble, 12 años (Otero J.M. y J.A. Arrieta, 2011).

### 6.1.2.- Costes del cultivo

Se trata de los costes asociados al mantenimiento anual del cultivo. El coste de mayor impacto es el del alquiler del terreno y/o el riego, dado que el resto de inputs como los abonos, fitosanitarios o control de malas hierbas se reducen conforme el cultivo se desarrolla. Un valor de referencia sobre estos costes estaría entre los 400 a 450 €/ha (Cuadros L., 2014), aunque de nuevo varían según especies, estudios y zonas.

Según diferentes fuentes, los costes oscilan entre los 350 a 1.150 €/ha/año para Paulownia (Irujo P., 2011), hasta los 1.340 €/ha/año para el chopo (Ramos J.J., 2011). Estos costes suponen del orden del 16-18 % sin contar con el coste de alquiler del terreno (Otero J.M. y J.A. Arrieta, 2011) aunque otros ensayos lo cifran en torno a 30 o hasta el 50 % (Irujo P., 2011).

---

[24] Los importes en € corresponden al año de referencia bibliográfica y no se han actualizado con el IPC.

[25] ECAS Cultivos energéticos en el espacio atlántico, 2007. <http://www.enersilva.org/areasubir/libros/Folleto%20ECAS.pdf>  
[Consulta: 13 febrero 2017]

En relación al coste del terreno, cuando éste es alquilado, los costes se sitúan en una horquilla entre 300 a 700 €/ha/año lo que suponen un alto porcentaje sobre los costes globales del cultivo, cifrados por Irujo P. (2011) en un porcentaje que varía entre el 25 al 45 % y por Otero J.M. y J.A Arrieta (2011) en valores que oscilan del 40 al 46 %.

Como referencia sobre costes por tonelada, se estima un coste de 20 €/tonelada verde para el establecimiento y cultivo con producciones de 30 a 35 t verde/año (Spinelli & Nati, 2007 y Spinelli et. al., 2008 en Tolosana E., 2012).

Algunos ensayos ofrecen datos de costes medios (implantación+cultivo) en los que se aprecia que estos varían según la especie. Es el caso de los ensayos realizados por la Junta de Andalucía en el periodo 2005-2010<sup>[26]</sup>, en cuyas conclusiones aportan los siguientes costes medios anuales para los dos primeros años de cultivo por hectárea: eucalipto 1.917 €; paulownia 2.853 € y chopo 3.450 €.

### 6.1.3.- Costes del cosechado

De los datos obtenidos en los ensayos de referencia utilizados en los anteriores apartados, se estima que el coste de cosechado para los ensayos de paulownia suponen del orden de unos 400 a 600 €/ha, lo que supone del 30 al 50 % de los costes totales (Irujo P., 2011).

Para el chopo (Ramos J.J., 2011), estos valores alcanzan los 350 €/ha y el porcentaje sobre el coste total está entre el 17 y el 20 % (Otero J.M. y J.A. Arrieta, 2011).

Como referencia sobre costes de cosechado por tonelada, se estima un coste de 15 a 20 €/tonelada verde con producciones de 30 a 35 t verde/año (Spinelli & Nati, 2007 y Spinelli et. al., 2008 en Tolosana E., 2012).

### 6.1.4.- Consideraciones sobre los costes de cultivo.

Como se desprende de los valores expuestos en los anteriores apartados, existe una gran variabilidad de importes en los diferentes conceptos y fases del cultivo, pudiendo establecer las siguientes consideraciones:

- La inversión inicial es muy elevada por lo que el sistema de riego por goteo solo se justifica cuando hay seguridad en la obtención de altos rendimientos. En zonas con abundante agua donde es habitual el riego por inundación, este sistema puede contribuir a la rentabilidad del cultivo.
- Determinados costes tienen un importe reducido en comparación con el total de los costes de la plantación, y sin embargo pueden ser decisivos para la productividad del cultivo como pueden ser la realización de una analítica completa del suelo que permita evaluar en primera instancia la adecuación de la estación a la especie en concreto o una buena preparación del suelo.
- El coste del suelo (alquiler), puede suponer un coste muy elevado, lo que puede condicionar la viabilidad de los CEL, fundamentalmente si se comparan costes/beneficios con otros cultivos agrícolas de regadío.

---

[26] Ensayos con cultivos energéticos. Periodo 2005-2010. Síntesis de resultados y principales conclusiones. Agencia de gestión agraria y pesquera de Andalucía. Noviembre de 2012.  
[https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/servicio-estadisticas/Estudios-e-informes/desarrollo-rural-sost/InformePlan\\_Resumen\\_dic\\_2012\\_refSAVB\\_E.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/servicio-estadisticas/Estudios-e-informes/desarrollo-rural-sost/InformePlan_Resumen_dic_2012_refSAVB_E.pdf) [Consulta: 9 febrero 2017]

- La especie elegida y sus requerimientos de cultivo influyen en los costes, por lo que la selección de una especie y clon que se adapten en mayor medida a las condiciones de los terrenos disponibles, es fundamental para optimizar costes.

## 6.2.- Viabilidad económica

Es obvio que la viabilidad económica va a depender de la producción por hectárea, es decir, del rendimiento que se obtenga y del precio de mercado del producto obtenido ósea, de la biomasa.

Sin embargo, hay otros factores al margen de las consideraciones que se puedan hacer en relación a una buena selección de especies y del terreno o de un adecuado manejo del cultivo, como son el sistema de cosechado, la logística y los costes de transporte o distancias a los centros de consumo que tienen un impacto directo y significativo sobre el balance económico del cultivo.

Así, por ejemplo en función de la producción y del sistema de aprovechamiento, para distancias de 30 km. al centro de consumo, los costes de la biomasa producida por un CEL de chopo, varía entre los 9,44 €/t.verde<sup>[27]</sup> (producciones de 20 tms/ha/año y aprovechamiento en astillas), hasta los 16,09 €/t.verde (producciones de 9 tms/ha/año y aprovechamiento árbol entero) (Dopazo R., et.al., 2009).

El sistema de árbol entero permite un secado en campo que se traduce en unos menores costes de transporte, debiendo realizar el astillado en planta, mientras que cuando la biomasa se astilla directamente en campo, el transporte de astillas se realiza con un alto porcentaje de humedad (≈50 %), debiendo efectuar el secado en planta.

Uno de los problemas que plantea la manipulación y uso energético de la biomasa producida por los CEL es su elevado contenido de humedad y su baja densidad aparente, lo que dificulta y encarece el transporte y por tanto condiciona la viabilidad económica del cultivo.

### 6.2.1.- Análisis de viabilidad

Comparando un cultivo de chopo en corta rotación y altas densidades (cortas cada 2 años para un ciclo de 8 años), con un cultivo tradicional de chopera para madera (turnos de 12 años), se observan rentabilidades económicas en el CEL a partir de producciones de 21 tms/ha/año, aunque el rendimiento económico de la chopera para madera es superior, hay que tener en cuenta que la recuperación de la inversión es a mayor plazo (Marcos et al., 2004 en Dopazo R. et. al., 2009).

La renta en €/ha/año de una plantación de chopos para madera, varía entre los 1.100 € a los 287,5 € (Fernández A. y E. Hernanz, 2004) en función de la calidad del terreno, densidad de plantación, turno y precio de la madera. Este dato da un orden de magnitud sobre la rentabilidad del cultivo de chopo como CEL que debe alcanzar para competir con choperas para madera.

Con precios por tonelada de astilla en verde (55 % de humedad) a partir de 34 € (75 €/tms) y producciones por ha. de 14 t.ms/ha/año, las plantaciones empiezan a ser rentables (AEBIOM

---

<sup>[27]</sup> Tonelada verde de biomasa, se considera con valores de humedad recién cosechada que suele oscilar entre los 45 y 50% del contenido de humedad.

2009 en Tolosona E., 2012). Sin embargo, no son competitivas frente a plantaciones de chopo para madera o frente a otros cultivos agrícolas, dado que compiten por el mismo suelo.

Con producciones de 18 tms/ha/año y precios de 45 €/t astilla en verde (55 % de humedad), los retornos por hectárea y año alcanzan valores de 752 € (AEBIOM 2009 en Tolosona E., 2012), siendo ya un valor interesante siempre y cuando la disponibilidad de los terrenos no supongan coste.

En otros trabajos y recopilaciones bibliográficas como en Cuadros L. (2014), los valores se vuelven a repetir y son para el chopo del mismo orden de magnitud que los comentados anteriormente. Se establece un límite de rentabilidad para el cultivo del chopo como CEL a partir de valores de producción de 14-15 tms/ha/año, siendo el valor de 20 tms/ha/año el valor a partir del cual las producciones se consideran óptimas con rentabilidades del 9 % y VAN (valor actual neto) de 5.000 €/ha (precios de venta de la biomasa de 50 €/t).

Es interesante destacar que entre las hipótesis analizadas para el estudio de viabilidad del chopo en Cuadros L. (2014), se diferencia entre un modelo de arrendamiento de tierras o la producción propia por parte del agricultor bajo un modelo de negocio similar al de la integración de los cerdos, que se caracteriza por: *“El agricultor es el que produce la biomasa por sus medios y un operador se la compra a un precio determinado, pactado. El agricultor, por tanto, realiza la plantación, el cultivo y el aprovechamiento recibiendo anualmente el 50 % del valor acordado para la cantidad de biomasa correspondiente al crecimiento producido (o esperado). El resto del valor acordado lo recibe en los años de aprovechamiento en los que le entrega la biomasa al operador”* (Cuadros L., 2014).

En los dos modelos, la rentabilidad para la hipótesis de partida tiene idénticos resultados para el operador con un porcentaje de rentabilidad del 9% para producciones teóricas del 20 tms/ha/año. La diferencia reside en que *la opción arrendamiento de tierras favorece más al agricultor, que recibe una renta sin arriesgar esfuerzo ni dinero. Por el contrario, si el agricultor asume el riesgo de realizar una explotación de la chopera, obtiene un VAN un 50 % superior que el que se obtiene con el arrendamiento de fincas* (Cuadros L., 2014).

### **6.3.- Rentabilidad del transporte.**

Ya se ha mencionado que uno de los condicionantes de la biomasa producida con los CEL es su baja densidad y alta humedad en el momento de la cosecha. En general, el transporte a larga distancia de biomasa leñosa puede realizarse por carretera, ferrocarril o barco cuando el contenido de humedad es relativamente bajo, pero en el caso de los cultivos energéticos, este se sitúan en localizaciones próximas a los centros de consumo y en general a distancias menores de 40-50 Km. con el fin de reducir los costes de transporte, siendo el medio de transporte utilizado normalmente el camión.

Factores importantes a tener en cuenta para la rentabilidad final del cultivo, son aquellos que tienen que ver con la eficiencia en el transporte: tipo de vehículo, distancia a recorrer (Km.), capacidad de carga (m<sup>3</sup>/viaje, t/viaje, kWh/viaje), tiempos de carga y descarga, tipo de infraestructuras (velocidad km/h) y accesos a los cultivos (uso de campos de acopio intermedias).

### **6.4.- Almacenamiento.**

Los cultivos energéticos leñosos presentan patrones estacionales de producción, es decir, las fechas de cosecha son durante un periodo fijo, mientras que el consumo de una planta eléctrica o de pellet se realiza durante todo el año (demanda constante). Esta es la principal

razón por lo que es necesario almacenar la producción entre 0 y 12 meses. El almacenamiento es relevante desde el punto de vista de la rentabilidad, sobre todo cuando es por un largo periodo de tiempo, pues afectará a los costes, a la calidad (poder calorífico, humedad, mohos, cenizas) pudiendo generarse pérdidas de materia seca (Cuadros, 2014), tal y como se ha visto en el punto 5.3.3.

## 6.5.- Conclusiones sobre la viabilidad de los CEL

Producciones de 20 tms/ha/año hacen viables los cultivos energéticos leñosos, en concreto para el chopo, especialmente cuando se vincula a proyectos cercanos que aseguren el consumo y paguen por la biomasa precios entre 40-50 €/t.verde (humedad sobre el 50 %).

Las densidades bajas aunque merman la producción, suponen menores costes de implantación y cosechado siendo primordial realizar un adecuado seguimiento y aplicación de los cuidados culturales para asegurar que se alcanza el máximo rendimiento de la especie en la ubicación concreta (calidad de estación).

El eucalipto implantado como CEL en terrenos forestales tiene costes significativamente más bajos especialmente durante el cultivo, probablemente debido a que su cultivo se realiza en seco (sin riego) y a que ya existe un conocimiento previo debido a que ya venía siendo explotado para celulosa y con turnos medios-bajos en Galicia y Huelva.

La logística ha de minimizarse mediante sistemas de recogida que reduzcan el número de operaciones y maquinaria a emplear, debiendo desarrollarse todavía a día de hoy sistemas de cosechado más flexibles y asequibles.

## 7. USO Y APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA PRODUCIDA POR LOS CEL

La biomasa leñosa, independientemente de su origen, tiene una extensa cadena de valor en la que intervienen diversos sectores y actores (Ver figura nº 6).

Figura nº 6. Esquema que representa la cadena de valor de la biomasa leñosa (elaboración propia).



### 7.1.- Transformación en biocombustibles

La biomasa producida por los CEL es transformada fundamentalmente en dos tipos de biocombustibles: astillas, de uso directo en calderas y que pueden ser obtenidas directamente en el proceso de cosechado (ver punto 5.3.), o pasar a formar parte de la materia prima que se utiliza para la producción de pellet.

#### 7.1.1.- Astillas

La naturaleza y características de la astilla (es decir su calidad), se verán afectadas principalmente por la especie, turno y marco de plantación (lo que influye sobre las

dimensiones de los fustes cosechados<sup>[28]</sup>), el proceso de cosechado y logística así como de su contenido en humedad.

En general, la astilla producida a partir de los CEL, se caracteriza por su elevado contenido de humedad, su baja densidad, escasa homogeneidad y presentar cantidades significativas de impurezas (presencia de arena, tierra, piedras, hojas secas, etc.) aunque esto último depende del sistema de cosechado realizado y la logística asociada.

Por ello, y a pesar de alcanzar valores importantes de PCI (poder calorífico inferior), incluso superiores a las astillas de pino, esta biomasa no pueden ser usada directamente en calderas pequeñas de uso domestico, destinándose preferente a calderas grandes (de más de 500 kW) en las que este tipo de biocombustible genera menos problemas por la robustez de los equipos.

Valores de PCI de las especies de CEL son:

- Álamo en corta rotación: 18,5 MJ/kg – 5,14 kW/h en base seca. (Francescato V., et al., 2008).
- Sauce en corta rotación: 18,4 Mj/kg – 5,11 kW/h en base seca. (Francescato V., et al., 2008).
- *Populus sp.* (Clon I-214): 17,47 MJ/kg – 4,85 kW/h en base seca. (Del Cerro A., 2009).
- Paulownia: 19,52 MJ/kg – 5,42 kW/h en base seca. (Del Cerro A., 2009).
- Eucalipto: 14,18 MJ/kg – 3,94 kW/h en base húmeda 20 % para *E. globulus* y 15,41 MJ/kg – 4,28 kW/h en base húmeda 20 % para *E. camandulensis*. (Del Cerro A., 2009).
- *Robinea pseudoacacia*: 19,50 MJ/kg – 5,42 kW/h en base seca. (Biomasa: Experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético. IDAE. 2008).
- *Ulmus pumila*: 17,55 MJ/kg – 4,88 kW/h en base seca. (Fernández J., 2009).

En general, los valores medios de PCI para frondosas, suelen incluirse en el rango de 18,5 a 19,2 MJ/kg. A efectos prácticos se usa el valor de 18,5 MJ/kg como valor de referencia para madera de frondosas totalmente seca. Para astillas de madera con humedad al 30 % el valor de PCI de referencia es de 12,2 MJ/Kg (Francescato V., et al., 2008).

La influencia de la humedad en el PCI de cualquier material biomásico y en especial en las astillas de madera, hay que tenerlo muy en cuenta ya que influye en el contenido energético neto de ésta. Durante el proceso de secado de la madera, una reducción de un 10 % de humedad supone aproximadamente un aumento de 0,6 kWh/kg (2,16 MJ/kg) en el PCI.

Para entender lo que supone desde el punto de vista energético estos datos (valores de PCI y la influencia de la humedad en los biocombustibles de madera), se presentan en la tabla nº 5 datos de PCI (valores medios) de los combustibles fósiles usados en calefacción y plantas de energía en comparación con valores correspondientes a la madera y a los biocombustibles lignocelulósicos (pellet y astillas).

---

<sup>[28]</sup> A menor diámetro, mayor proporción de corteza y menor de madera (celulosa), lo que confiere peores propiedades a la astilla al incrementar el % de cenizas, aumentar la presencia de cloro y otros componentes que pueden dar problemas durante la combustión.

**Tabla nº 5.** Valores medios de PCI para combustibles fósiles comparados con valores medios de PCI para biocombustibles de madera (Francescato V., et al., 2008).

COMBUSTIBLE	MJ	kWh	Equivalencia kg madera seca
Fueloil de uso domestico ligero	41,5 MJ/Kg 38,60 MJ/l	11,5 kWh/kg 10,70 kWh/l	2,24 2,08
Gas Natural	36 MJ/m <sup>3</sup>	10 kWh/ m <sup>3</sup>	1,95
Carbón	27,60 MJ/kg	7,67 kWh/kg	1,49
1 kg de madera seca (H=0 %)	18,50 MJ/kg	5,14 kWh/kg	1
1 kg de pellet (H=10 %)	16,9 MJ/kg	4,6 kWh/kg	0,89
1 kg de madera húmeda (H=20 %)	14,4 MJ/kg	4 kWh/kg	0,77
1 kg de astilla húmeda (H=30 %)	12,2 MJ/kg	3,4 kWh/kg	0,66

Una equivalencia de referencia que suele usarse es que  $\approx 2,5$  Kg de madera húmeda (H=20 %) y  $\approx 2$  Kg de pellet, sustituyen a 1 litro de gasoil, a igual rendimiento de las calderas.

#### 7.1.2.- Pellet

El pelletizado es un proceso industrial, mediante el cual se obtiene un biocombustible sólido estandarizado, cilíndrico (de entre 6 a 16 mm) por la compresión de virutas, serrines y astillas molturadas y en general madera triturada, denominado pellet. El pellet es por tanto, un biocombustible sólido producto de la compactación de biomasa molida.

El densificado de la biomasa hace frente a unas de las grandes limitaciones de ésta, la baja densidad aparente y añade otras ventajas como puede ser la homogeneidad del combustible, su almacenamiento, transporte y manejo o una combustión más eficiente (Ortiz L., et. al. 2003).

Las principales etapas de transformación acometidas para el tratamiento de la biomasa son:

- La preparación de la biomasa.
- El secado.
- La molienda (molturación)
- El pelletizado (compactación).
- Enfriamiento.
- Almacenamiento-ensacado.

Una descripción completa del proceso y sus fases se encuentra en Ortiz l. et. al., 2003 y en el documento: *Plan estratégico de implantación de la biomasa como energía renovable en la comarca del Maestrazgo*. SODEMASA. Departamento de Biomasa. Agosto de 2010.

Entre las ventajas del pellet frente a la astilla se pueden enumerar:

- Densidad: la producción de pellets a partir de astilla supone una densificación de la materia prima. La astilla tiene una densidad específica de 200 Kg/m<sup>3</sup> mientras que la de los pellets asciende a 700-750 Kg/m<sup>3</sup>. Lo cual supone un aumento de eficiencia en el transporte y en el almacenamiento del producto.

- Poder Calorífico: durante el proceso de pelletización el poder calorífico aumenta aproximadamente de 4 kWh/kg de las astillas hasta aproximadamente 5 kWh/kg para el pellet (en base seca). El proceso de pelletización consume 150 kWh por tonelada (0,15 kWh/kg), con lo cual se trata de una mejora respecto al balance energético total.
- Humedad: relacionado directamente con el anterior punto, la astilla si no es secada de forma forzada, suele tener valores de humedad por encima del 30-35%. El pellet tiene y conserva valores de humedad bajos (< 10 %).
- Calidad: la astilla, en términos generales, es un material heterogéneo y suele llevar consigo arenas (fuente de sílice que puede fusionar y vitrificar en la caldera) y otros materiales indeseados (impurezas) incorporados en origen o bien por el sistema productivo, logístico y especialmente en la fase de cosechado.

El pellet es un producto que puede fabricarse atendiendo a unos estándares de calidad, ya que está normalizado (tiene su propio sistema de certificación, *EN Plus*). Es un producto del que se conoce su poder calorífico, humedad, porcentaje de cenizas, etc. Es seguro, limpio y cómodo.

La calidad del pellet dependerá de la materia prima inicial, siendo la madera de pino la más utilizada y apreciada para producir pellet. Gracias a su contenido en lignina que hace de pegamento natural, se favorece el proceso de pelletizado, y por su naturaleza y composición, se asegura que los pellet producidos cumplan con los valores mínimos requeridos para aquellos parámetros que determinan la calidad en la norma y permiten la certificación del pellet en las diferentes categorías de la certificación (Ejemplo: *EN Plus clase A1* representa pellets de madera virgen y residuos madera sin tratar químicamente, con bajos contenidos en cenizas, nitrógeno y cloro; *EN Plus clase A2* son aquellos con un contenido ligeramente más alto en cenizas, nitrógeno y/o cloro).

En general, no es fácil producir pellet de calidad únicamente con biomasa de origen CEL, por lo que suele emplearse una mezcla con otras biomásas, especialmente con coníferas. Ello implica un proceso de I+D+i para lograr desarrollar mezclas con la calidad requerida para los diferentes mercados objetivo.

Los valores de PCI para pellet varían según composición y calidad (desde 4,5 a 4,9 kWh/Kg para los de máxima calidad con humedades inferiores al 10 %), aunque como referencia se puede utilizar el valor que figura en la tabla nº 5.

### 7.1.3.- Mercado del Pellet<sup>[29]</sup>

Merece la pena, comentar la actual situación del mercado del pellet en España y en Europa, para evaluar la viabilidad de nuevas plantas. En el año 2015 en España había 79 plantas de pellet con una capacidad de producción de 1,25 M t, pero con una producción real de 475.000 t., es decir un 38 %. El 85 % de las plantas se encuentran certificadas por el sistema EN Plus.

La UE produce el 70 % del pellet que consume, importando el resto fundamentalmente de EEUU y Canadá.

---

<sup>[29]</sup> Fuente: AVEBIOM. Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa.

El 36,1 % del pellet que se consume en Europa se destina a producir electricidad, el resto (63,9 %) es para cubrir demandas térmicas, del cual el 42,2 % se consume en el sector residencial.

#### 7.1.4.- Otro tipo de transformaciones. El torrefactado.

El torrefactado, es un proceso térmico, por el que se somete a la biomasa a un calentamiento lento y prolongado en ausencia de oxígeno hasta una temperatura final de 230 a 300 °C. Con este proceso se generan cambios en la estructura de la biomasa, reduciéndose su contenido en fibra y humedad. Se trata de un tratamiento que incrementa el coste del producto, pero que presenta ventajas que pueden hacerlo competitivo:

- El producto final tiene bajo contenido en humedad y es hidrófobo. Esto favorece que se mantenga estable en el tiempo, no se pudra y se almacene más fácilmente.
- La biomasa torrefactada es un material friable y menos fibroso que el original, lo que reduce el trabajo en molienda, los costes totales de acondicionamiento y facilita su manejo.
- La mayor densidad energética del sólido torrefactado puede suponer una reducción en los costes de transporte.
- El material torrefactado mejora sus propiedades como biocombustibles para cocombustión y gasificación.
- En comparación con el carbón, la biomasa torrefactada tiene un contenido en azufre despreciable y genera menos ceniza.

Como consecuencia del tratamiento, el producto final presenta ventajas en su logística y utilización que pueden compensar el coste de transformación en casos de grandes consumos de biomasa que precisan largas distancias de transporte. También son más rentables en aplicaciones que requieren la pulverización fina de la biomasa, como la cocombustión en centrales térmicas de carbón, la producción de biocarburantes de segunda generación y la fabricación de pellets para exportación.

### **7.2.- Valorización**

Desarrolladas a nivel industrial, existen básicamente dos posibilidades de valorización energética: combustión para la producción eléctrica y combustión para la obtención de calor.

#### 7.2.1.- Valorización eléctrica

Esta se produce con diversas tecnologías:

- Ciclo rankine de vapor: turbinas de vapor a alta presión. Tecnología contrastada de rendimientos muy bajos 20-25 % que requiere de altas potencias (>15 MW) lo que conlleva grandes consumos (del entorno de 10.000 t por MW) y supone altos costes de inversión (entre 1 y 1,5 MM € por MW) además su ubicación, se ve limitada por el requerimiento de un punto de evacuación eléctrico. Ejemplo: Planta de biomasa de Corduente (Guadalajara) de 2 MW y de ciclo combinado (Gas natural + caldera de vapor).

- Gasificación: proceso termoquímico en el que la biomasa es transformada a un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno). Se trata de una tecnología recientemente probada a nivel industrial poco contrastada pero que permite alcanzar mayores

rendimientos (> 25%), requiere que exista aprovechamiento de calor (cogeneración) para su rentabilidad. Se trata de tecnología disponible con potencias pequeñas (< 2 MW). Tecnología aragonesa (TAIMWISER) disponible. Ejemplo: Planta de biomasa de IDERMA (Ejea de los Caballeros, Zaragoza).

- ORC, Ciclo Orgánico Rankine: tecnología para un aprovechamiento eléctrico (rendimientos menores del 20 %) y de calor (cogeneración) mediante un doble sistema caldera y turbina accionada por un fluido orgánico (aceite) que en su proceso de refrigeración permite la obtención de agua caliente a baja temperatura (65-95 °C) que suele ser aprovechada para un segundo proceso industrial (por ejemplo para secar la propia biomasa de la planta o la biomasa de una planta de pellet). Ejemplo: Planta de pellet de Asturias de Pelletasturias (Tineo).

- Cocombustión: introducción de dos combustibles distintos en la caldera de una central de producción de energía. Aunque estudiada por ENDESA para la planta de Andorra, no ha sido implementada por los altos costes de la biomasa en comparación con el carbón así como por la incertidumbre del suministro y las grandes necesidades que supondrían en el caso de la planta de Andorra.

### 7.2.2.- Valorización térmica

La biomasa producida con cultivos energéticos leñosos, tienen una salida clara y competitiva en proyectos de demanda de calor de mediana y gran potencia, como calefacción de comunidades de vecinos, redes de calefacción centralizada<sup>[30]</sup>, o para procesos industriales y/o agrícolas con necesidades de calor como los secaderos de alfalfa, fábricas de piensos, elaboradores de concentrados de zumos o granjas de cerdos, especialmente de madres.

Ello se debe a que los cultivos energéticos leñosos de rotación corta compiten directamente en estos casos con los productos petrolíferos que tienen precios elevados y tendencias alcistas. Además, su producción se puede planificar para obtener el combustible necesario para un determinado proyecto o instalación, siempre en las cercanías del punto donde se va a consumir la biomasa. Es fácilmente compaginable (se pueden realizar mezclas) con otras fuentes de biomasa lignocelulósica (forestal, residuo agrícola, etc.) optimizando el precio del combustible y diversificando el origen del mismo lo que contribuye a reducir la incertidumbre en lo relativo a la seguridad del suministro. Además, los costes de transporte son bajos y sin apenas costes de procesamiento (en calderas de gran tamaño, se puede utilizar la materia prima directamente o con un secado natural previo), logrando generar actividad económica en la zona donde se plantea el proyecto o instalación de consumo.

El rendimiento energético del aprovechamiento térmico es muy elevado, muy por encima de los proyectos eléctricos, siendo este sistema de valorización mucho más sostenible. Además, las tecnologías y diseño de las calderas (tanto domésticas como industriales) mejoran día a día, tanto en lo referente a lograr mayores rendimientos, como en el control de las emisiones, especialmente de las partículas.

En la tabla nº6, se resumen las ventajas e inconvenientes de los dos sistemas de valorización energética de la biomasa producida por los CEL, térmico versus eléctrico.

---

<sup>[30]</sup> Se trata de las calefacciones que suministran a varios consumidores, los denominados “district heating” o calefacción agrupada de varios edificios ya sean públicos o privados como comunidades y barrios de vecinos.

**Tabla nº 6.** Comparativa entre sistemas de valorización de la biomasa producida por los CEL

Producción de energía térmica	Producción de energía eléctrica
Los precios de la energía térmica son superiores. Se compete con los precios de los combustibles fósiles tradicionales.	La producción eléctrica tiene como destino la venta a red eléctrica. Actualmente no se encuentra subvencionado.
Mayor rendimiento de la energía utilizada (entre el 50 y el 90%). Muy eficiente energéticamente.	Menor rendimiento de la energía utilizada (entre el 18 y el 25 %) sobre todo en instalaciones pequeñas.
La generación térmica tiene un destino mucho más variable: calefacciones y ACS de viviendas (unifamiliares, district heating) y procesos industriales de todo tipo con altos rendimientos (del 50 al 90%).	La cogeneración produce energía térmica y eléctrica con mayor rendimiento que otras tecnologías. Sin embargo el resto de tecnologías tiene rendimientos muy bajos que comprometen su sostenibilidad ambiental.
Los consumos de biomasa son menores pero la calidad de la biomasa debe ser mayor en cuanto a granulometría, homogeneidad, humedad, presencia de partículas, etc.	Requiere grandes consumos de biomasa pero no de calidad. <i>Entendida esta como material de bajas humedades, altos PCI, bajos % de finos y bajos contenidos de cloro conforme a las normas de calidad UNE-EN ISO asociadas al comité AEN/CTN 164 BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS y la norma internacional CEN/TC 335 – Solid biofuels.</i>
Necesidad de disponer del recurso cerca de los puntos de demanda.	Necesidad de acercarse a los puntos de evacuación de la red eléctrica y que se disponga de suficiente capacidad de evacuación.
Las inversiones para su implantación son menores.	Requiere grandes inversiones.

**Fuente:** SODEMASA. Departamento de Biomasa. Agosto de 2010. *Plan estratégico de implantación de la biomasa como energía renovable en la comarca del Maestrazgo*. Y, elaboración propia.

## 8.- PROYECTOS Y ENSAYOS

Todo sector nuevo y prometedor genera expectativas empresariales, profesionales e incluso políticas en busca de una rápida oportunidad de negocio y beneficio, dando lugar a la especulación. El desarrollo de proyectos vinculados a los CEL no ha sido ajeno a esta situación.

Aragón, con unas excepcionales condiciones para la producción de biomasa de diversas fuentes y especialmente de Cultivos Energéticos Leñosos en concreto para de chopo, dio lugar a la implantación de un número considerable de plantaciones, ensayos y proyectos, de los que se enumeran los más significativos y con mayor impacto y relevancia. Alguno de ellos, vinculados a la producción eléctrica y que a pesar de la desregulación (falta de prima al kWh eléctrico), continúan adelante.

- Ensayos y plantaciones experimentales de *Ulmus pumila* en Villarquemado (Teruel), en el marco de la redacción de la tesis doctoral de Iriarte L. 2008. "Caracterización del olmo de Siberia (*Ulmus pumila* L.) como cultivo energético". E.T.S. Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Parcela de 2 ha de paulownia en Ejea de los Caballeros (particular).
- Proyecto de planta eléctrica de la empresa ENHOL con sede en Tudela y plantaciones realizadas con chopo en Ejea de los Caballeros (Zaragoza).

- Proyecto de planta eléctrica de la empresa ENCE para el Valle del Ebro. A través de su filial IBERSILVA llegó a tener plantaciones de chopo en Alagón (Zaragoza).
- Proyecto de una planta de 20 MW en Andorra (Teruel), promovida por Forestal Capital. Que se suministraría de biomasa procedente de plantaciones de chopo. No se le conocen más avances más allá de la difusión del proyecto en los medios de comunicación.
- Ensayos y cultivos demostrativos con chopo en el marco del Proyecto PSE On Cultivos.
- Ensayos realizados por la empresa SODEMASA.
- Ensayos y proyectos vinculados al grupo empresarial FORESTALIA con tres proyectos de plantas de producción eléctrica: Monzón 50 MW, Zuera 50 MW, ERLA + 50 MW + Pelletizado.

Estos últimos proyectos son a día de hoy, los únicos que continúan activos y en desarrollo.

### **8.1.- Proyecto On Cultivos**

El PSE (Proyecto Singular y Estratégico) “On Cultivos”, fue un proyecto para el desarrollo, demostración y evaluación de la viabilidad de la producción de energía en España a partir de biomasa de cultivos, financiado por el antiguo Ministerio de Ciencia e Innovación que finalizó en diciembre de 2012. Uno de sus socios, la Universidad de Zaragoza-CIRCE (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos), participó en el subprograma 2R, anejo 2A: *Producción y caracterización de biomasa: Programa de cultivos leñosos para biomasa*, concretamente realizando ensayos de chopo en Zuera (Zaragoza) entre otros.

Los ensayos y cultivos, se ubicaron en el vivero forestal de “El Salz” (Zuera) gracias a la colaboración de la Dirección General de Gestión Forestal del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente (actualmente Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad) del Gobierno de Aragón, mediante la firma de un convenio entre SODEMASA (Empresa pública instrumental de dicho departamento) y el CIRCE, firmado en febrero de 2010.

Los trabajos se iniciaron en marzo de 2010 con la plantación de 4,8 hectáreas de cultivos energéticos con chopo (ensayos de clones y de densidades en 0,5 ha. y plantaciones demostrativas en 4,3 ha.). En los tres años siguientes, se realizó un seguimiento exhaustivo del desarrollo del cultivo y ensayos hasta su primer recepe (febrero de 2013). Durante este periodo de ensayo se afrontaron diferentes retos que este cultivo con distintos clones en altas densidades planteó en la ubicación concreta de Zuera: i) problemas de salinidad del suelo; ii) presencia de perforadores (*Paranthrene tabaniformis*); iii) control de las malas hierbas (laboreos manuales y mecánicos, y ensayos de aplicación de herbicidas); iv) gestión del riego a manta, etc. Cada año, al finalizar el periodo vegetativo, se realizaban mediciones de los crecimientos (diámetros y alturas) para cada parcela, clon y ensayo.

Atendiendo a los resultados de estos ensayos, dos de los factores identificados como limitantes para el uso del chopo como cultivo energético leñoso para el Valle del Ebro, son la salinidad y la disponibilidad de agua de riego. Una descripción más completa de las parcelas y ensayos realizados, la problemática y los resultados, se puede consultar en Baraza C. (2013) y Sixto H., et. al. (2013).

Destacar los valores de producción obtenidos en el primer ciclo de corta que para algunas parcelas alcanzaron valores de 20 tms/ha/año, siendo los valores medios de 16 tms/ha/año para el conjunto de las 4,8 hectáreas (Baraza C., 2013), aunque las mediciones efectuadas por clones, parcelas y ensayos arrojan valores inferiores quizá por tratarse de regresiones obtenidas tras el pesaje de una muestra pequeña (Sixto H., et. al. 2013). En cualquier caso, estos valores, están por encima de los límites de rentabilidad vistos en el punto 6.1.1.

Antes de su cosechado, en diciembre de 2012, se elaboró y aprobó el primer plan básico de gestión para dichas plantaciones<sup>[31]</sup>, conforme a la normativa que regulaba la redacción de los mismos en ese momento<sup>[32]</sup>.

Sin embargo, a pesar de tener redactado y aprobado el Plan Básico, y de la posibilidad de continuar con los ensayos y cultivos, al menos durante un ciclo más, mediante su inclusión en la Red Nacional de Parcelas de Cultivos Leñosos en altas densidades y turnos cortos (Sixto H., et al., 2013) o a través del proyecto que dio continuidad al proyecto On Cultivos (DECOCEL “Desarrollo de la producción comercial de electricidad en plantas centralizadas a partir de la biomasa de cultivos energéticos” desarrollado por la empresa ACCIONA Energía, el CIEMAT y el INIA), las parcelas del vivero de El Salz se abandonaron. Actualmente se encuentran desatendidas y el vivero desmantelado, con numerosas marras, pérdida de productividad y presencia de plagas (*Paranthrene tabaniformis*), ejerciendo de foco de propagación de dicha plaga para los cultivos colindantes.

## **8.2.- Ensayos realizados por la empresa SODEMASA.**

En paralelo y dado el interés existente y el posible uso como combustible biomásico para calefacciones y no solo para plantas eléctricas (Francescato, V.; et. al., 2009), SODEMASA amplió los ensayos y plantaciones de chopo para energía con nuevos clones, ubicaciones y densidades. Concretamente se realizaron nuevas plantaciones en 2011 en 2 ha. en el vivero de “La Escalereta” (El Temple-Huesca), cerca de 2 ha. en terrenos agrícolas gestionados por el Centro Gestor de Purines de Peñarroya de Tastavins (Teruel) y, en 2012 otras 2 ha. más en el vivero de La Escalereta (El Temple, Huesca) y 1 ha. más en el vivero de El Salz, en ambos viveros con la colaboración del Gobierno de Aragón. La hectárea última del vivero de El Salz, quedó incluida en el Plan Básico redactado para el conjunto de las plantaciones de chopo en corta rotación del vivero ya comentado anteriormente.

Una descripción más completa de las parcelas, ensayos, producciones y problemática se puede consultar en Baraza C. (2013).

La imposibilidad de continuar con el seguimiento y mantenimiento de las parcelas por su coste hizo que la parcela nueva del vivero de El Salz se abandonase así como las de Peñarroya de Tastavins, en las que no se pudieron realizar las cortas finales en turno (3 años) ni evaluar producciones. La situación actual de estas parcelas es de abandono.

---

[31] Resolución de 7 de febrero de 2013, de la Dirección General de Gestión Forestal, por la que se aprueba el plan básico de gestión forestal de las parcelas plantadas con chopo en corta rotación en el vivero forestal de El Salz, ubicado dentro del monte de Utilidad Pública Nº 439 “Riberas del río Gállego” en el Término de Zuera.

[32] Resolución de 22 de octubre de 2012, de la Dirección General de Gestión Forestal, por la que se aprueba el Pliego General de Condiciones Técnicas para la redacción y presentación de resultados de Planes Básicos de Gestión Forestal de montes gestionados por el Departamento competente en materia de gestión forestal del Gobierno de Aragón).

Las parcelas del vivero de La Escalereta se cosecharon en 2015 para después desmantelarse. No se dispone de datos de producciones. Actualmente en este vivero no existen ensayos o cultivos de chopo en corta rotación y altas densidades.

### **8.3.- Proyectos del Grupo Forestalia**

Forestalia es un grupo empresarial de origen aragonés, cuya actividad empresarial se centra en tres ámbitos de desarrollo vinculados entre sí: cultivos energéticos, producción de biocombustibles (astillas y pellet) y la generación eléctrica con energías renovables (biomasa y eólica).

#### 8.3.1.- Cultivos energéticos

Actualmente cuenta con plantaciones de cultivos energéticos leñosos en España (Aragón, Cataluña, Andalucía y Castilla León), Francia (Gardanne) e Italia (Cerdeña), fundamentalmente con variedades y clones seleccionados de *Populus* spp. y *Eucalipstus* spp. y producidos en su vivero central de Huelva. La empresa afirma tener más de 13.000 hectáreas plantadas con este cultivo.

En Aragón dispone parcelas desde el año 2011 ubicadas en Zuera, Belver del Cinca, Monzón, La Cartuja Baja, Tauste y Plasencia de Jalón, tanto en terrenos de regadío tradicional (vegas con riegos a manta) como en nuevos regadíos con riegos por goteo.

En todos los casos se trata de cultivos intensivos, con fetirrigación y exhaustivo control en todas las fases, buscando maximizar las producciones de biomasa para alcanzar producciones objetivo de 40 tms/ha/año.

#### 8.3.2.- Planta de Pellet y astillas

La iniciativa, bautizada como Centro Integral de Biomasa de Erla (CIBE), implica la construcción de una planta peletizadora, otra de logística de biomasa (astilla) y la central para producir electricidad (49,55 MW y 8.000 horas de funcionamiento), cuya energía calórica se aprovecharía para la fabricación de pellets. La capacidad de producción prevista es de 140.000 toneladas año de pellet y 40.000 toneladas de astilla.

El Consejo de Gobierno de Aragón, declaró el 29 de julio de 2014 de interés autonómico<sup>[33]</sup>, a propuesta del Departamento de Industria e Innovación, el proyecto para construir la planta logística de biomasa (que incluye la planta pelletizadora) y la línea eléctrica de suministro asociada. Esta fase del complejo requiere de una inversión de 9 millones de euros. Las previsiones (en 2014) estimaban que el proyecto generaría 19 puestos de trabajo directos en planta, 40 más en las plantaciones asociadas de cultivo energético y otros 60 en el aprovechamiento de la biomasa forestal.

La Planta de generación eléctrica de Erla, fue declarada de interés autonómico por el Gobierno de Aragón en septiembre de 2016<sup>[34]</sup>. El nivel de inversión requerido del proyecto eléctrico asciende a 100 M €. Para esta parte del proyecto, la empresa estima la creación de al menos 90 puestos de trabajo como empleo directo en la fase de explotación, 200 durante el proceso de construcción y de 600 a 750 indirectos cuando el CIBE esté operativo al 100 %.

---

[33] Acuerdo del Consejo de Gobierno al que no se le dio publicidad (Sin publicación en el BOA).

[34] ORDEN EIE/1424/2016, de 3 de octubre, por la que se da publicidad al “Acuerdo de 27 de septiembre de 2016, del Gobierno de Aragón, por el que se declara como inversión de interés autonómico el proyecto de inversión “Planta de Generación Eléctrica a partir de Biomasa” promovido por la mercantil Forestalia Renovables Generación I.S.L. en la localidad de Erla.

En paralelo, Forestalia colabora en un proyecto denominado PERLA (*proyecto innova Aragón sobre pellet mezcla de residuos agroindustriales y cultivos energéticos de calidad*) conjuntamente con el CIRCE, cuyo objetivo es buscar la mejor mezcla de materias primas para la producción de pellet de diversas calidades.

Sin duda las plantaciones de cultivos energéticos desarrolladas por Forestalia, están destinadas a proveer de biomasa al proyecto que promueve y por supuesto a demostrar a los posibles inversores que se dispone de la tecnología y se conoce el proceso para lograr el suministro de la biomasa necesaria, ya que la garantía de suministro de la biomasa en cantidad y calidad es uno de los requisitos a la hora de obtener financiación.

Actualmente el desarrollo del proyecto está supeditado a la construcción de la línea eléctrica que permita no solo el suministro sino la evacuación de la potencia necesaria y prevista en el proyecto, acumulando un retraso importante respecto a las previsiones iniciales (inicialmente se anunció comienzo de la actividad en 2015) y acopiando mientras tanto grandes cantidades de biomasa en las campas y zonas de almacenamiento de las instalaciones propiedad de Forestalia en el polígono industrial de Erla, que no pasan desapercibidas. La línea eléctrica a día de hoy sigue sin estar construida y se encuentra en fase de tramitación ambiental (Ley 11/2014 de prevención y protección ambiental de Aragón) en el INAGA.

### 8.3.3.- Proyectos de producción eléctrica

El Grupo Forestalia es actualmente adjudicatario de más de 400 MW de potencia (108,5 con biomasa y 300 con eólica), correspondiente a la subasta del Ministerio de Industria, Energía y Turismo para la asignación del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica que tuvo lugar en enero de 2016, conforme a la nueva regulación del sector (ver punto 3.1.2.). Esto implica que en el caso de la biomasa, se percibirá la retribución del mercado más una retribución variable por el coste del combustible (denominada retribución a la operación y que también establece el Gobierno y que se revisa cada periodo de entre subastas de 3 a 6 años).

A parte de la planta de Erla ya comentada, Forestalia promueve plantas eléctricas con biomasa en Monzón y Zuera<sup>[35]</sup> en Aragón (ambas de 49,5 MW) y en La Vega Requena (Valencia) y Lebrija (Sevilla) fuera de Aragón, pero de menor potencia, 15 y 9,98 MW respectivamente.

En el caso de las plantas de 49,5 MW, la tecnología a usar es la de lecho fluido burbujeante (combustión a baja temperatura). Cada planta requerirá de 400.000 t/año de biomasa (datos dados por la propia empresa y que coinciden con la estimación general de que 1 MW requiere de 10.000 t. de biomasa), aportada localmente por una mezcla de fuentes de biomasa: forestal, agrícola y de cultivos energéticos.

La planta de Monzón es el proyecto más avanzado administrativamente. En septiembre de 2015 se publicó en el BOA, la resolución por la que *“se formula la declaración de impacto ambiental y se otorga la autorización ambiental integrada”* para la planta. En ella se especificaba que la materia prima procederá principalmente de cultivos energéticos de chopo y, en menor medida, de eucaliptos y caña común. La resolución emitida por el INAGA destaca que las medidas preventivas y correctoras establecidas hacen que los impactos sean

---

[35] También declarada la inversión de interés autonómico: ORDEN EIE/1425/2016, de 3 de octubre, por la que se da publicidad al “Acuerdo de 27 de septiembre de 2016, del Gobierno de Aragón, por el que se declara como inversión de interés autonómico el proyecto de inversión “Planta de Generación Eléctrica a partir de Biomasa” promovido por la mercantil Forestalia Renovables Generación I S.L. en la localidad de Zuera

compatibles. Recientemente (el pasado 13 de febrero), se resolvió favorablemente la revisión emprendida de oficio por parte del INAGA de la autorización otorgada al proyecto de Forestalia en Monzón. En la revisión se solicitaba principalmente mayor información sobre los niveles de emisión y dispersión de partículas contaminantes e introduce en la autorización varias medidas complementarias. Por un lado prohíbe que se utilice *“madera contaminada o residual de cualquier tipo o cualquier tipo de madera que no conste expresamente en su autorización ambiental integrada”*. Por otro, advierte que *“se utilizará exclusivamente biomasa virgen en cuyo cultivo no podrán utilizarse sustancias COP (compuestos orgánicos persistentes) en fitosanitarios o biocidas”*.

Este proyecto presenta un fuerte oposición ciudadana y de colectivos ecologistas (Ecologistas en Acción), que lograron (entre otras medidas) que de oficio se revisase la autorización ambiental integrada concedida o la paralización cautelar por parte de la justicia de dicha autorización.

Finalmente, señalar que la declaración de “inversión de interés autonómico” tanto del proyecto de Zuera como el de Erla, parten del Decreto Ley 1/2008, del 30 de octubre, del Gobierno de Aragón sobre medidas administrativas urgentes para facilitar la actividad económica y supone que la inversión y los procedimientos administrativos (urbanísticos y ambientales) gozarán de tramitación preferente y urgente, reduciéndose a la mitad los plazos ordinarios.

#### 8.3.4.- Discusión en relación a la disponibilidad de biomasa para cubrir las necesidades de los proyectos, en particular la producida por los CEL.

Forestalia dispone de un plazo de 2 años (prorrogables) desde la adjudicación de los 108 MW hasta la puesta en marcha de los proyectos. La dificultad administrativa pero también financiera para el desarrollo de estos proyectos, la lentitud en los avances del proyecto y los plazos exigidos en la adjudicación, son quizá la razón por la que actualmente uno de los emplazamientos de Zaragoza, se ha desplazado a Castilla y León, concretamente a El Bierzo (León), donde el proyecto está siendo apoyado política e institucionalmente, habiéndose involucrados en él el Ente Público Regional de la Energía de Castilla y León (EREN) y la empresa pública SOMACYL (Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León).

En cualquier caso, la mayor controversia que despiertan estos proyectos amen de la polémica específica de Monzón por la cercanía al casco urbano (600 metros) y la emisión de gases potencialmente contaminantes, reside en la posibilidad o no de que el entorno de la planta suministre la biomasa suficiente.

A este respecto, y considerando a los cultivos energéticos como fuente principal de suministro, suponiendo (en un escenario optimista) que las producciones medias fueran de 30 tms/ha/año lo que supondría 60 t al 50% de humedad, serían necesarias más de 8.250 ha. para alcanzar a suministrar el 100% de la biomasa para una planta de 49,5 MW. Para el caso del CIBE, donde la demanda de biomasa alcanzaría más de 600.000 t húmedas/año, las hectáreas necesarias serían de 10.000 ha.

Según el PER 2005-2010<sup>[36]</sup>, el potencial asignado a Aragón como productor de biomasa de origen cultivos energéticos es de 716.299 tep (toneladas equivalentes de petróleo), que

---

<sup>[36]</sup> Se han utilizado los datos del PER 2005-2010 que aunque desfasados en el tiempo, son estimaciones válidas a día de hoy dado que el Plan de Energías Renovables 2010-2020 heredero del PER 2005-2010, ya no aparecen los datos desglosados por CCAA.

suponen unos 2 millones de toneladas de biomasa seca. Lo que traducido en hectáreas ascendería a 64.000 ha. Aragón dispone actualmente entorno a 448.000 hectáreas en regadío<sup>[37]</sup>.

Aparentemente, parece posible dedicar 18.250 ha. (necesidades estimadas para el proyecto CIBE + la planta de Monzón) a los CEL, un 4% de la superficie total de los regadíos disponibles en Aragón. Otra cuestión es a qué precio y a qué distancia máxima deben estar las hectáreas de las plantas de consumo para minimizar los altos costes que supone el transporte.

Pero además, se puede contar con otras fuentes de biomasa como la biomasa forestal, que por ejemplo, en la comarca de Cinco Villas (donde se ubica el proyecto del CIBE) y según el Plan de Acción de la Biomasa Forestal de Aragón 2011-2016, se estimaba un potencial para la biomasa forestal en esta comarca de 25.000 tms/año. Esto, supone tan solo el 8,33% de la biomasa que consumiría el CIBE. Hay que tener en consideración que para la planta de pelletizado, si se quiere producir pellet de calidad, es necesario contar como materia prima el pino, es decir que este proyecto de Forestalia, requiere de madera de pino.

Si contemplamos todo Aragón, el PER 2005-2010 estimaba una disponibilidad de biomasa forestal en Aragón de 98.000 tep., lo que equivale a unas 264.000 tms., aunque el Plan de Acción de la Biomasa Forestal de Aragón 2011-2016 estimaba unas 600.000 tms/año.

Finalmente, hay que contar con la biomasa agrícola residual (subproductos agrícolas generados en el desarrollo de los cultivos de la zona, herbáceos o leñosos como por ejemplo paja de trigo y cebada, zuro de maíz, poda de olivo y otros cultivos leñosos, etc.). Se trata de una biomasa compleja de difícil logística por su recogida y alto coste de transporte hasta los centros de consumo, por su atomización, baja producción por ha., disponibilidad temporal, discontinuidad y multipropiedad del producto y alto coste que todo ello supone (Proyecto EUROPRUNING <http://www.europruning.eu/>).

A falta de un cálculo local, la disponibilidad de esta biomasa para Aragón se cifra según el PER 2005-2010 en unas 816.000 tep. que suponen 2,2 Mt de biomasa seca. Los proyectos del grupo Forestalia (Erla y Monzón) consumirían en torno al millón de toneladas de biomasa húmeda, cuando la disponibilidad de biomasa producida por cultivos energéticos y residuos agrícolas (sin contar con la forestal) asciende a más de 8 millones de toneladas de biomasa húmeda, consumiendo un 12,5 % del potencial estimado para Aragón.

Por tanto y a falta de un estudio de detalle a nivel del entorno de cada planta que evalúe aspectos relativos a la gestión como los costes de extracción, vías de saca y accesibilidad, temporalidad, titularidad y propiedad, limitaciones ambientales, etc., en el aspecto cuantitativo, parece que puede existir y movilizarse biomasa suficiente, tanto la existente como la producida ex profeso (cultivos) para el abastecimiento en cantidad y calidad requerida por los proyectos de referencia.

Otra cuestión a precisar sobre el proyecto de producción de pellet, es la existencia en el sector del exceso de capacidad de producción, bien debido a la falta de materia prima, bien debido a la falta de mercado (aunque aparentemente en los próximos años este mercado según las previsiones puede crecer enormemente), lo que necesariamente obliga a orientar la producción del mismo a un sector o segmento concreto que permita rentabilizar la planta, a no ser que la planta sea una necesidad para aprovechar el calor residual del proceso de producción eléctrica que permita a este mejorar su rentabilidad.

---

[37] Anuario de estadística Agraria de Aragón 2013-2014.

## 9.- CONCLUSIONES

### 9.1.1.- Los CEL como fuente de suministro de biomasa para plantas eléctricas

Los CEL como fuente para el suministro de biomasa para plantas eléctricas conllevan una ventaja ambiental y de sostenibilidad dado que el combustible se genera cerca de donde se necesita, con un menor gasto energético de transporte si se optimizan los medios de transporte (maximizar volúmenes mediante trailers de piso móvil). Actualmente contribuyen a aumentar la seguridad en el suministro y complementan al resto de fuentes.

Difícilmente los CEL pueden suponer el único recurso de suministro para un centro de consumo, ya sea para producción de pellet, astilla o electricidad. Cualquier proyecto que conlleve grandes consumos ha de contar con todas las diferentes fuentes locales que pueda movilizar a un coste razonable, de forma sostenible y sostenida en el tiempo. A este respecto algunos expertos cifran la participación de los CEL en el total de la biomasa potencialmente movilizada entre el 15 y el 25 % del total, encontrándose el grueso de la misma en la biomasa acumulada en los montes<sup>[38]</sup>.

El propio Grupo Forestalia reconoce esta situación y de hecho en septiembre de 2016, formalizó un acuerdo de colaboración con el Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE) que pretende llevar a cabo diversos estudios sobre la biomasa en Aragón con el objetivo de determinar como son la disponibilidad de biomasa derivada de cultivos herbáceos y frutales, así como las necesidades logísticas para su adecuado manejo. El análisis se centra en el entorno de los tres proyectos de generación eléctrica mediante biomasa que el Grupo Forestalia promueve en la Comunidad Autónoma de Aragón (Monzón, Erla y Zuera).

Las plantas eléctricas que consumen biomasa procedente de los CEL, pueden conseguir dar la seguridad necesaria a los agricultores mediante contratos de suministro de combustible a varios años con pagos parciales (modelo de integración) para que se animen a producir CEL.

Tras el impulso inicial favorecido por un contexto de apoyo a la producción eléctrica (prima del RD 661/2007), actualmente existe en Aragón un parón y disminución de los ensayos y cultivos demostrativos con CEL, quedando actualmente el 100 % de estas parcelas en manos de un solo actor, promotor único de plantas de producción eléctrica.

### 9.1.2.- Desarrollo y nivel de implantación de los CEL en Aragón

Los cultivos de chopo y otras especies arbóreas en corta rotación para la producción de biomasa con fines energéticos en el Valle del Ebro, son una opción factible en el corto plazo, sin embargo es necesaria una inversión en investigación y desarrollo que permita optimizar producciones y racionalizar los costes, al objeto de mejorar la viabilidad económica incrementando la productividad. Todo ello en un contexto de manejo sostenible.

En la actualidad el desarrollo de cultivos energéticos en España y en Aragón es una necesidad ya que es la única forma posible de producir biomasa en cantidad suficiente y controlada contribuyendo a abastecer de forma segura (cantidad y calidad) proyectos de gran demanda de materia prima como son las plantas eléctricas de gran tamaño (> 15 MW).

Sin embargo, a día de hoy y a pesar de los innumerables ensayos y cultivos demostrativos, existe en el sector agrario mucha incertidumbre y desconfianza ante un cultivo novedoso y de naturaleza tan distinta a la agronomía tradicional.

---

[38] Álvaro Picardo. Jornadas de Cierre del proyecto WoodE3 en Aragón. Abril de 2013.

La falta de incentivos para la implantación de los CEL ralentiza su expansión/promoción e incrementa el desinterés de los agricultores por este cultivo. Hay que destacar que en España sí son elegibles para el Pago Básico de la PAC los cultivos de chopo, sauce, eucalipto, paulownia, y robinia, según lo establecido en el Anexo I del Real Decreto 1075/2014, sin embargo, no existe una línea específica de apoyo a estos cultivos dentro del PDR (Plan de Desarrollo Rural) que podría suponer un impulso importante para su desarrollo.

Es necesario mantener, recuperar y desarrollar nuevas plantaciones demostrativas y ensayos que abarquen la transferencia del conocimiento del cultivo, la logística y el uso final a los actores agrarios, dado que el propio sector puede llegar a ser consumidor de la biomasa producida (Ej: cooperativas con secaderos de maíz o alfalfa), pero que también fomenten la multifuncionalidad (principalmente en terrenos marginales en Red Natura o ENP o donde estos cultivos supongan mejoras significativas con respecto a los cultivos tradicionales, especialmente por su mayor sostenibilidad).

Los cultivos energéticos pueden favorecer la diversificación del sector agrario, abriendo nuevas oportunidades para los agricultores profesionales. Asimismo, constituyen en cierto modo un seguro para los productores de biocombustibles, en tanto que su disponibilidad supone una mayor garantía en el suministro.

#### 9.1.3.- Desafíos de futuro para los CEL

Los principales desafíos para el desarrollo de los cultivos energéticos son, entre otros, los siguientes:

- Conocer los cultivos energéticos potenciales en cuanto a su manejo, su adaptación a distintas zonas agrícolas, sus costes, productividad, selección y mejora de las especies, con el fin de realizar una elección adecuada de los mismos.
- Seleccionar las variedades que sean más eficientes como productoras de biomasa.
- Conseguir que la rentabilidad alcance niveles competitivos de manera que se consolide un mercado estable.
- Lograr que se desarrolle la cadena logística respecto de cada cultivo, posiblemente con aspectos diferentes entre sí según el destino de la biomasa.

Por ello, sigue siendo necesario impulsar proyectos de I+D en aspectos que actualmente limitan o frenan su desarrollo y que contribuirán a solventar las limitaciones y problemáticas existentes de este tipo de cultivos como una alternativa a la generación energética con combustibles fósiles. Entre las cuestiones que actualmente condicionan la factibilidad de estas iniciativas se encuentran el cosechado, la mejora de clones y variedades adaptadas a las condiciones locales de cada zona y el uso de los CEL en terrenos marginales. En el caso de Aragón, puede tener especial interés el desarrollo de especies, clones y variedades que soporten pH bajos, salinidad, sequía, caliza activa, vientos y bajas temperaturas invernales (especialmente en la provincia de Teruel).

En cuanto a la producción, sistemas de manejo y tratamiento de los cultivos energéticos leñosos se necesita fundamentalmente mejorar el diseño, adaptación o nueva construcción de maquinaria adecuada para la recogida del recurso.

No hay que descartar el papel que los CEL pueden y deben desempeñar como materia prima para la obtención de biocarburantes de 2ª generación. El desarrollo de biorefinerías de

celulosa en paralelo con las nuevas tecnologías cada vez más eficientes puede ser una opción de futuro para dar salida productiva de estos cultivos. En este aspecto, el papel de la I+D+i es fundamental.

Es necesario promover una legislación específica adaptada a la casuística de los CEL, con una estrategia a medio-largo plazo, con criterios más claros sobre el paso de las tierras agrícolas a tierras forestales. Esto daría seguridad y facilitaría su implantación y desarrollo.

#### 9.1.4.- Costes, viabilidad y beneficios de los CEL

Los costes de producción de biomasa con CEL son altos, comparados por ejemplo con la biomasa obtenida de un aprovechamiento forestal de árbol entero, sin embargo las cantidades por hectárea son similares en los umbrales de rentabilidad (10 a 20 tms/ha), pudiendo llegar a obtenerse cantidades importantes (hasta 30-40 tms/ha), similares a cualquier aprovechamiento maderera intenso (claras por lo bajo de primeras repoblaciones sin tratar).

Teniendo en cuenta la variabilidad de los precios de las diversas materias primas para la producción de biocombustibles lignocelulósicos y sus precios (ver tabla nº7), los altos costes de implantación, cultivo y cosechado de la biomasa producida por los CEL, hacen que el uso de esta biomasa para energía pueda llegar a tener su viabilidad comprometida si no se alcanzan determinadas productividades (20 tms/ha-año) o se asegura un precio mínimo (80 a 100 €/tms). Cualquier desviación o problema durante el cultivo minora los márgenes de por sí reducidos, asumiendo mayor riesgo el promotor energético que cultiva sobre terrenos arrendados.

**Tabla nº 7.** Precios medios de los biocombustibles normalizados más comunes (pellet, hueso de aceituna y astilla) del mercado español para el primer trimestre del año 2017.

Fuente: AVEBIOM <http://www.avebiom.org/es/ind-precios-biomasa>.

BIOCOMBUSTIBLE	€/tonelada (*)	Calidad	Norma
Pellet a granel	233,54	A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub>	ISO 17225-2
Hueso de aceituna a granel	159,71	A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub>	UNE 164003
Astilla a granel	109,74	G30 humedad >35%	ISO 17225-4

(\*) Los precios incluyen el 21% de IVA y transporte hasta 200 Km.

Existe todavía la necesidad de desarrollar ensayos con este tipo de cultivos agroforestales al objeto de demostrar su viabilidad con el fin de orientar tanto a quienes van a tomar la decisión de plantar, como a aquellos que gestionan y colaboran en la buena marcha del sector productor (sindicatos agrarios, cooperativas, populicultores, etc.), donde todavía hay grandes dudas sobre qué variedad plantar y qué rentabilidad tendrá, debido a que una producción a 15-20 años requiere un mínimo de seguridad en el momento de iniciarla.

Los CEL contribuyen a la creación de empleo y riqueza, y al sostenimiento de un entorno agro-ambiental diverso, aspectos que deben ser considerados en su valoración global, sobre todo a la hora de establecer políticas específicas de apoyo o dentro de las políticas de apoyo a la biomasa. Diversos estudios estiman que la creación del empleo del sector de la biomasa es muy superior al de otros sectores energéticos renovables como la solar o la eólica (10 empleos por cada MW de potencia instalada frente a los 2 de la solar o a los 0,2 de la eólica)<sup>[39]</sup>, o frente a otras fuentes de energía convencionales (60 veces más empleo estable que el gas, 30 más

[39] El Valor de la Biomasa Forestal. Grupo empresarial ENCE S.A. 2010. [Consulta: 5 marzo 2017] [http://www.forestal.cat/bdds/imatges\\_db/biblioteca/BIBLIOTECA\\_DOCUMENT1\\_2026000012846224.pdf](http://www.forestal.cat/bdds/imatges_db/biblioteca/BIBLIOTECA_DOCUMENT1_2026000012846224.pdf)

que el carbón o 10 más que la nuclear)<sup>[40]</sup>. Además, se estima, que por cada 1.000 t. de biomasa movilizada se genera un puesto de trabajo directo<sup>[41]</sup> que para el caso de los CEL se generaría cada 200 hectáreas plantadas<sup>[ref. 40]</sup>.

Además de la creación de empleo rural y de los efectos positivos sobre la dinamización socioeconómica de múltiples territorios, las plantaciones de CEL generarían múltiples beneficios medioambientales como el aumento de la absorción de CO<sub>2</sub>, la reducción de emisiones de GEI<sup>[42]</sup>, la restauración de espacios degradados o la puesta en valor de otros servicios ambientales tales como el paisaje, la producción de oxígeno, la generación y protección de suelo, el incremento de la biodiversidad, etc.

## 10.- REFLEXIÓN FINAL

Entre las superficies con mayor riesgo de degradación se encuentran aquellas improductivas que han quedado en estado de abandono. En España, existen actualmente casi 4 millones de hectáreas de tierras abandonadas de cultivo, en proceso de recuperación del dominio forestal, y se estima que 5 millones de hectáreas más podrían ser abandonadas en los próximos años como consecuencia de la evolución de las producciones agrarias<sup>[ref. 40]</sup>. En Aragón, según la estadística agraria (Anuario 2013-2014), cerca de 1 millón de hectáreas (989.682 concretamente), son superficies de eriales a pastos y terrenos que se encuentran improductivos. Se trata de superficies para las que es difícil encontrar alternativas económicas más aún ahora con el declive de la ganadería extensiva, y que en muchos casos podrían (al menos en una gran parte y sin conflicto ambiental), forestarse con objetivos productores de biomasa con CEL.

España y Aragón en particular, no pueden permitirse seguir manteniendo esta infrutilización y pérdida de recursos del territorio en un contexto de avance de la despoblación del mundo rural. Es necesario y urge buscar fórmulas para aprovechar económicamente el territorio y sus recursos, diversificando sectores y buscando retribuciones adecuadas a los propietarios e inversores. La Ley de Economía Sostenible (Ley 2/2011) ya prevé en su artículo 89 el fomento, por parte de las administraciones, de las *“acciones que den valor tanto a las producciones inmediatas, como a las externalidades positivas que las áreas forestales producen”*, y el 9 de junio de 2011 el Pleno del Congreso respaldó de forma unánime una proposición no de ley en la que se insta al Gobierno a aprovechar la repoblación de los bosques españoles para crear empleo<sup>[43]</sup>. Los CEL pueden sin duda convertirse en un elemento dinamizador de la economía rural contribuyendo a paliar la situación de desempleo en el mundo rural, en este caso utilizados mediante reforestaciones en terrenos marginales, baldíos o abandonados.

---

[40] Informe Empleo verde en una economía sostenible, Observatorio de la Sostenibilidad de España, 2010.  
[http://www.forumambiental.org/pdf/Empleo\\_Verde.pdf](http://www.forumambiental.org/pdf/Empleo_Verde.pdf) [Consulta: 25 febrero 2017]

[41] CONAMA 2012. Documento final del grupo de trabajo GT-10 BIOMASA: Bioenergía para el empleo.  
[http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama11//GTs%202010/10\\_final.pdf](http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama11//GTs%202010/10_final.pdf) [Consulta: 5 marzo 2017]

[42] La Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, horizonte 2007-2012-2020 (Aprobado por el Consejo Nacional del Clima de 25 de octubre de 2007 y por el Consejo de Ministros de 2 de noviembre de 2007), incluye entre sus actuaciones urgentes aumentar la superficie agrícola destinada a los cultivos energéticos.

[43] OPORTUNIDADES PARA LA CREACIÓN DE EMPLEO EN EL MEDIO RURAL. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Sept. 2011

La biomasa es un recurso en alza cuya demanda va a crecer. Europa cada día consume más y la tendencia es alcista. El European Renewable Energy Council (EREC) ha publicado un informe en el que prevé que la biomasa aporte en 2030 255 millones de toneladas equivalentes de petróleo, lo que supone un aumento del 210 % en su cuota de mercado respecto a 2011. Y RISI, multinacional especializada en la elaboración de informes y estadísticas sobre el sector forestal, ha editado el “European Biomass Review”, en el que apunta que la demanda de biomasa crecerá un 50 % y que, o se toman medidas para cubrirla, o Europa sufrirá una escasez en el suministro<sup>[ref. 40]</sup>. Los cultivos energéticos no solo supondrán una fuente de suministro en aspectos que actualmente limitan o frenan su desarrollo y que contribuirán a solventar las limitaciones y problemáticas existentes de este tipo de cultivos como una alternativa a la generación energética para cubrir esta demanda, sino que pueden jugar un papel fundamental para disminuir la presión sobre determinadas zonas forestales y montes, especialmente de titularidad privada.

En este contexto de expansión, sin duda será necesario que los CEL cumplan con los requisitos de sostenibilidad de biomasa sólida, al igual que hay requisitos establecidos para los biocarburantes. En el *“Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo relativo a los requisitos de sostenibilidad para el uso de fuentes de biomasa sólida y gaseosa en los sectores de la electricidad, la calefacción y la refrigeración”*<sup>[44]</sup> del 25 de febrero de 2010, se establecen una serie de requisitos no obligatorios de momento para que la biomasa sólida garantice su sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor. Una normativa específica que regulase no solo los aspectos sobre la consideración de monte o no solo de los terrenos forestados con CEL, sino también los aspectos de sostenibilidad, permitiría disponer de una base legal clara para favorecer el desarrollo de los CEL de forma compatible con el medio ambiente en su conjunto, integrando estos aspectos en la certificación forestal ya asentada y desarrollada como el sistema PEFC (Asociación para la Certificación Española Forestal).

El sector forestal plantea por tanto importantes oportunidades para el desarrollo de los CEL. Por un lado, la posibilidad de desarrollar plantaciones en terrenos marginales, desarbolados y degradados, algunos de ellos incluidos en predios gestionados directamente por la administración forestal como son los Montes de Utilidad Pública. Por otro, en el marco del sector de la populicultura, donde Aragón tiene especial relevancia a pesar de que en los últimos años es un sector en recesión<sup>[45]</sup>. A este respecto, la Administración forestal del Gobierno de Aragón gestiona 4.211,54 ha. de choperas entre riberas estimadas, consorcios y Montes de Utilidad Pública propiedad de ayuntamientos. Lo que representa un potencial enorme donde tiene cabida no solo la producción de madera de calidad o la naturalización de choperas por dinámica natural a bosques de ribera o sotos, sino también, por su puesto, los cultivos energéticos leñosos. Así, de hecho, parte de esta superficie se ha encomendado a la gestión de la empresa pública SARGA, la que a su vez mediante un convenio con la empresa Forestalia, dedica parte de esta superficie al cultivo de chopo con fines energéticos. Desde el 2011, la administración forestal aragonesa cuenta con un pliego especial de condiciones técnico-facultativas para el aprovechamiento de plantaciones de corta y media rotación que

---

[44] <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6e598e2a-2655-4ae2-8c20-ef617d5bf3fd/language-es>  
[Consulta: 17 enero 2017]

[45] Aragón es la 5ª CCAA con mayor superficie de chopo plantado con casi 7.000 ha. (estadísticas del MAPAMA año 2008), sin embargo desde el 2002, la superficie dedicada a este cultivo ha ido disminuyendo paulatinamente.

regula las concesiones demaniales del uso de terrenos gestionados por la Comunidad Autónoma de Aragón para este tipo de aprovechamientos<sup>[46]</sup>.

Este es un buen ejemplo en el que la producción no está reñida con la protección o la conservación, donde hay cabida para una gestión activa que supera la falta de recursos y medios que tradicionalmente dificulta el trabajo de la administración forestal. Sin embargo, no deja de ser el resultado de una gestión improvisada y no dirigida por unos objetivos que han de regir una política forestal coherente con las necesidades de la sociedad. La administración forestal debe ser impulsora y organizadora de las producciones forestales, entre ellas aquellas que favorecen un cambio en la economía de forma positiva (creación de empleo, lucha contra la despoblación rural, lucha contra el cambio climático, etc.), así como usar más eficientemente los recursos disponibles y las potencialidades para evitar en la medida de lo posible que el nivel de vida y el bienestar de la sociedad disminuya. Los cultivos energéticos leñosos pueden ser, donde su explotación sea favorable (sobre todo por el mercado), una alternativa viable como objetivo principal productor para montes de gestión pública que además pueden permitir financiar su propia gestión (total o parcialmente) a través de los fondos de mejora y generar ingresos en la propiedad, formando parte de la producción forestal y beneficiando al conjunto de la sociedad.

---

<sup>[46]</sup> Anuncio de la Dirección General de Gestión Forestal, por el que se da publicidad a diversos pliegos de condiciones para el aprovechamiento de chopos y de plantaciones de corta y media rotación, por parte de personas físicas y jurídicas, en montes gestionados por la Comunidad Autónoma de Aragón (BOA nº 144 de 22 de julio de 2011).

## BIBLIOGRAFÍA

BARAZA C., 2013. Cultivos demostrativos de chopo (*Populus spp.*) a altas densidades con fines energéticos realizados en Aragón. Primeros datos y resultados. 6º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

CIRIA, M<sup>a</sup>.P.; 2009. EL Chopo (*Populus spp.*) como cultivo energético. Hojas Divulgadoras Núm. 2131 HD. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 32 pág. Madrid.

CUADROS L., 2014. *Guía de los Cultivos Energéticos en Extremadura*. Agencia extremeña de la energía.

DAUDEN A. y C. BARAZA, 2014. Cultivos energéticos como alternativa en el sector agrícola. Jornadas Técnicas “Aplicaciones y cultivo de biomasa en el sector agrario de Ejea y pueblos”. Ayuntamiento de Ejea.

DEL CERRO A. 2009. Informe del proyecto de investigación: “Forestación de zonas semiráridas de Castilla-La Mancha con *Paulownia spp.*”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete.

DOPAZO R., VEGA D.J., ORTIZ L. y MARTÍNEZ E., 2009. El aprovechamiento de biomasa residual y de cultivos energéticos: experiencias recientes y modelos de producción de biomasa forestal en montes gallegos. 5º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

ESCAN S.A., 2008. Manual de Cultivos para Energía. Proyecto “Promoción de la producción y utilización de cultivos energéticos a nivel europeo” (ENCROP). Intelligent Energy Europe. [https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/encrop\\_spanish\\_handbook.pdf](https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/encrop_spanish_handbook.pdf) [Consulta: 24 enero 2017].

ESPEJO J., 2011 Biomasa para generación eléctrica. En: “Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas”. Universidad de Córdoba.

FERNANDEZ A. & E. HERRANZ, 2004. El Chopo (*Populus sp.*) Manual de gestión sostenible. Monografías del Plan 42. Serie Divulgativa. Junta de Castilla y León.

FERNANDEZ J., 2009. El Olmo de Siberia (*Ulmus pumila L.*) como cultivo energético para secoano. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. <http://www.escansa.net/documentos/PRJESS~1.PDF> [Consulta: 17 febrero 2017].

FERNANDEZ M., 2011a. Cuidados culturales en cultivos energéticos: Nociones de fertilización y riego. Universidad de Huelva, Dpto. Ciencias Agroforestales. En: “Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas”. Universidad de Córdoba.

FERNANDEZ M., 2011b. Estudio de Especies con Potencial de Cultivo Energético en Clima Mediterráneo. Universidad de Huelva, Dpto. Ciencias Agroforestales. En: “Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas”. Universidad de Córdoba.

FRANCESCATO V., ANTONINI E., ZUCCOLI L., 2008. *Manual de Combustibles de Madera. Producción. Requisitos de calidad. Comercialización*. Proyecto Intelligent Energy Europe Biomass Trade Centre2. AVEBIOM. 79 pág.

FRANCESCATO V., ANTONINI E., PANIZ A., JAUSCHNEGG H., METSCHINA C., LOIBNEGGER T., 2009. Booklet: “Energy crops in arable lands”. Proyecto Intelligent Energy Europe Biomass Trade Centre. AEBIOM. 16 pág.

[http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/biomasstradecentreii\\_energy\\_crops\\_in\\_arable\\_land\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/biomasstradecentreii_energy_crops_in_arable_land_en.pdf)

[Consulta: 10 febrero 2017]

HOMAR C.A., 2013. Ensayos de plantación de clones *Paulownia* sp. para producción de biomasa lignocelulósica en las fincas de Madrigal de la Vera (Cáceres) y Carpio de Tajo (Toledo). Bosques Naturales. <http://bosquesnaturales.com/wp-content/uploads/2016/02/2.5.8-2013-Documento-Final-Ensayo-Paulownia.pdf> [Consulta: 6 febrero 2017]

IRUJO P., 2011. Experiencia de RWE en cultivos energéticos en España y estrategia de suministro para plantas de biomasa. En: “Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas”. Universidad de Córdoba.

LOPEZ I. y M. CODINA, 2010. Estudio de las características de la astilla forestal y buenas prácticas para su aplicación energética. Proyecto INTRADER (2008-2010). Programa Empleo Verde - Fundación Biodiversidad.

MIVIERE J.M., 2006. “Diseño de lugares de acumulación y almacenaje de la biomasa forestal y astillas. Secado de la biomasa forestal y astillas, evolución físico-química de las pilas de astilla”. Boiss energie 66. Mosset (Francia).

OTERO J.M. & ARRIETA, J.A., 2011. Cultivos energéticos: Análisis de la cadena de valor de los cultivos energéticos y principales variables para asegurar la sostenibilidad económica a largo plazo. En: “Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas”. Universidad de Córdoba.

ORTIZ L.; TEJADA A., VÁZQUEZ A., PIÑERO, G., 2003. Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena Monte-Industria. Parte III: Producción de elementos densificados. CIS-Madera 10: 27-37.

PADRO, A.; 1992. Clones de chopo para el valle medio del Ebro. Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes. 203 pág. Zaragoza

PICCHI G. (CNR-IVALSA), 2007: “Cultivos energéticos leñosos (SRC)”. Jornades sobre l’aprofitament energetic de biomassa llenyosa a Catalunya, Barcelona, noviembre de 2007.

RAMOS J.J., 2011. Cultivos energéticos leñosos para el medio rural de Castilla y León. AVEBIOM. <http://www.redforesta.com/wp-content/uploads/2011/09/Cultivos-energeticos-lenosos-para-el-medio-rural-en-Castilla-y-Leon-Juan-Jesus-Ramos-Llorente.pdf>. [Consulta: 10 febrero 2017].

RAMOS J.J., 2014. *Los cultivos energéticos y la PAC*. Tierras de Castilla y León. Agricultura, núm. 220, pág. 68 – pág. 75 (8 págs.).

RODRIGUEZ J.; 2006. Aprofitament i desembosc de biomasa forestal. Sistemes i tècniques de desembosc. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient y Habitatge. Centre de la Propiedad Forestal. 187 pág.

SIXTO H., HERNÁNDEZ M.J., BARRIO M., CARRASCO J.E., CANEÑAS I., 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 16(3), 277-294.

SIXTO H., HERNÁNDEZ M.J., CIRIA M.P., CARRASCO J.E., CANEÑAS I., 2010. Manual de cultivo de *Populus* spp. para la producción de biomasa con fines energéticos. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Monografías INIA Serie Forestal nº 21, 60 pp. Madrid.

SIXTO H., HERNÁNDEZ M.J., DE MIGUEL J., CANEÑAS I., 2013. Red de parcelas de cultivos leñosos en alta densidad y turno corto. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Monografías INIA Serie Forestal nº 25, 176 pp. Madrid.

TOLOSANA E., LAINA R., AMBROSIO Y., (UPM, Madrid, España), 2010. “Eucalyptus Short Rotation Woody Crops for Energy: A Literature and Experiences Review with Special Reference to Industrial Trials in Spain. Gil L, Tadesse W, Tolosana E & López R, Eds. Eucalyptus Species Management, History, Status and Trends in Ethiopia. Proceedings from the Congress held in Addis Ababa. September 15<sup>th</sup>-17<sup>th</sup>, 2010. Pág. 370-380.

TOLOSANA E., 2012. Aprovechamiento de cultivos forestales con aplicaciones energéticas. E.T.S.I. Monte. Universidad Politécnica de Madrid. En: “Curso Avanzado en Cultivos Forestales con Aplicaciones Energéticas”. Universidad de Córdoba.