

# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA DE LA BIOMASA

**ESTUDIO TÉCNICO  
PER 2011-2020**



**IDAE**

Instituto para la Diversificación  
y Ahorro de la Energía



# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA DE LA BIOMASA

**Coordinador de la edición de Estudios Técnicos PER 2011-2020:**

Jaume Margarit i Roset, Director de Energías Renovables de IDAE

**Título:** Evaluación del potencial de energía de la biomasa.

Estudio Técnico PER 2011-2020

**Madrid, 2011**

**Autores:**

*Aranzada GF:* Miguel Cabrera, Ana Vera

*Argongra:* José María Cornejo, Iria Ordás

*ETSI de Montes:* Eduardo Tolosana, Yolanda Ambrosio, Isaac Martínez,  
Santiago Vignote, Natalia Hotait

*ITG Agrícola:* Alberto Lafarga, José Ángel Garraza

**Coordinación y revisión IDAE:** Julio Artigas, Luis García

El presente estudio ha sido promovido por el IDAE en el marco de la elaboración del Plan de Energías Renovables (PER) en España 2011-2020. Aunque el IDAE ha supervisado la realización de los trabajos y ha aportado sus conocimientos y experiencia para su elaboración, los contenidos de esta publicación son responsabilidad de sus autores y no representan necesariamente la opinión del IDAE sobre los temas que se tratan en ella.

# ÍNDICE

<b>4</b>	Objeto del estudio
<b>6</b>	Tipos de biomasa estudiadas
<b>10</b>	Metodología del trabajo
<b>152</b>	Estimación del potencial de los distintos tipos de biomasa en España
<b>190</b>	Bibliografía

# 1 Objeto del estudio

El objeto del presente estudio es la evaluación del potencial de biomasa en España de acuerdo con sus distintos orígenes y posibilidades de introducción en el mercado energético en función de los costes estimados para su producción y disposición en el mercado.

El presente documento recopila las metodologías, esquemas, textos y datos elaborados por la Escuela de Ingeniería de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIM), el Instituto Técnico y de Gestión Agrícola de Navarra (ITGA), Argongra y Aranzada Gestión Forestal, S.L.P., para la evaluación del potencial biomásico de España.

A partir de las *metodologías, esquemas y datos* seleccionados (objeto de la primera parte del estudio) se elaboró una herramienta informática para la evaluación del potencial de biomasa en España, tanto forestal como agrícola, y procedente de masas susceptibles de implantación tanto en terreno forestal como agrícola. Mediante esta herramienta informática se han realizado consultas de los diferentes tipos de biomasa (restos de aprovechamientos forestales, restos de cultivos agrícolas y biomasa procedente de masas susceptibles de implantación tanto en terreno agrícola como forestal), ofreciendo salidas cartográficas de disponibilidad de los distintos tipos de biomasa en diferentes ámbitos territoriales (principalmente supramunicipales), de costes de extracción o acopio y de coste medio de la biomasa puesta en puntos concretos a determinar en cada estudio.

Mediante las nombradas *metodologías y esquemas* de trabajo se ha definido la superficie susceptible de aprovechamiento de restos de tratamientos selvícolas forestales, tratamientos culturales agrícolas y de implantación de masas con fin energético tanto leñosas (en terreno forestal o agrícola) como herbáceas (en terreno agrícola). La determinación de superficie ha utilizado la cartografía existente, estableciendo las restricciones que se consideran más razonables por razones técnicas, tecnológicas, ecológicas, fisiográficas o legales y comparando su viabilidad económica frente a los posibles usos no energéticos forestales o agrícolas. En el caso concreto de los terrenos agrícolas se estudia la posible migración de tierras de producción de cultivos alimentarios o forrajeros hacia cultivos energéticos de biomasa sólida.

Una vez definidas las superficies susceptibles de aprovechamiento energético se estableció la producción o posibilidad anual para los distintos tipos de vegetación existentes en ellas. Así pues, a partir

de los *datos* de producción, se define para cada especie y/o tipo de cultivo la posibilidad de producción de biomasa a lo largo de sucesivos e indefinidos turnos de aprovechamiento. Los resultados, por tanto, se presentan para cada especie o grupo de especies (referidos a sus ámbitos geográficos propios) en forma de toneladas de materia verde por hectárea y año.

Sobre esta cuantificación de posibilidad anual de biomasa se determinan los costes de su aprovechamiento, adecuación y transporte a un determinado punto geográfico definido para el estudio.

El resultado del estudio y aplicación de la herramienta informática ha generado como salidas de resultados las disponibilidades anuales de biomasa en entornos territoriales amplios, siempre por encima del ámbito de varios términos municipales (ámbitos comarcales al menos) y los costes de recolección, extracción y adecuación.

Los resultados se representan en mapas exportables a imagen o a formato ráster una vez introducidos los correspondientes parámetros en la herramienta informática de evaluación del potencial de biomasa en España, la cual queda definida en el capítulo 3. El proceso se obtiene a partir del correspondiente módulo de cálculo cartográfico.

Además, se presentan como resultados diferentes informes concernientes a los parámetros seleccionados en la herramienta informática y que se definirán en el capítulo correspondiente.

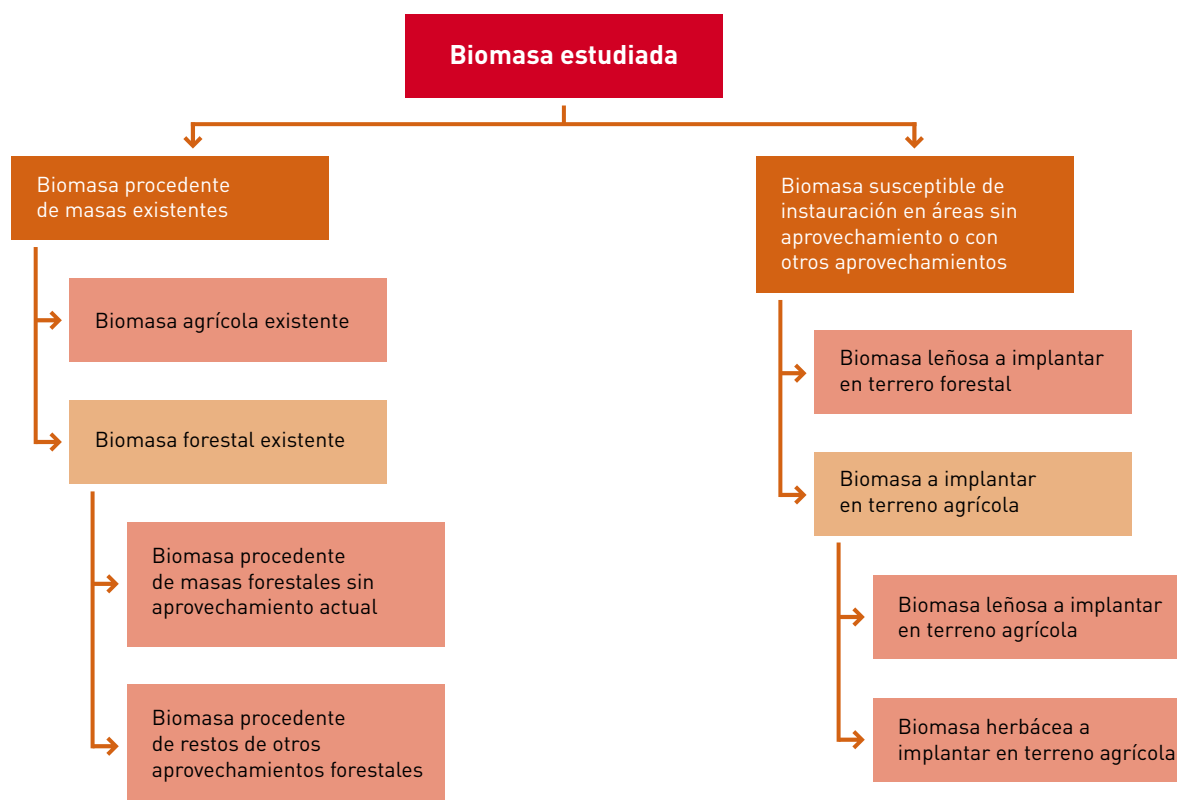
# **2 Tipos de biomasa estudiadas**



Se define biomasa como la “materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía”, es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación natural o artificial. En la actualidad la biomasa engloba al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de la materia orgánica, quedando por tanto excluidos los combustibles fósiles o los productos orgánicos derivados de ellos, aunque

también tuvieron un origen biológico en épocas remotas. Así pues, la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), utiliza la definición de la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588 para catalogar la “biomasa” como “todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”.

En el siguiente esquema se presentan las distintas biomásas estudiadas en el presente documento.



A continuación se presenta una descripción y caracterización de los tipos de biomasa considerados en el estudio para el uso energético.

## 2.1 BIOMASA PROCEDENTE DE MASAS Y CULTIVOS EXISTENTES

### 2.1.1 Biomasa forestal existente

#### 2.1.1.1 Restos de aprovechamientos forestales

Restos que proceden de los tratamientos y aprovechamientos de masas forestales existentes (ramas, rabeones, etc.). Los principales inconvenientes en su aprovechamiento son la complicada mecanización de los terrenos forestales, la necesidad de operaciones de astillado o compactación en monte con el fin de abaratar los costes de transporte a partir de una determinada distancia, la existencia en algunos casos de usos alternativos, etc.

#### 2.1.1.2 Árbol completo de masas forestales existentes

Árboles enteros procedentes de masas naturales o implantadas en el pasado con otros fines diferentes a los energéticos, cuyo aprovechamiento actual se destina enteramente a tal fin. Árboles enteros procedentes de monte alto que actualmente cuenta con nulo aprovechamiento maderero y/o de otros usos alternativos.

### 2.1.2 Biomasa agrícola existente: restos de aprovechamientos agrícolas

#### 2.1.2.1 Leñosos

Son los restos que se generan a partir de podas de olivares, frutales y viñedos. El principal inconveniente que presenta en su aprovechamiento es el marcado carácter estacional. Además, al igual que en el caso anterior es necesario su astillado y compactación en aras de abaratar el coste de transporte.

#### 2.1.2.2 Herbáceos

Engloba principalmente pajas de cereal y cañote de maíz. Al igual que los residuos agrícolas leñosos, presentan una marcada estacionalidad, así como altas fluctuaciones en la producción de una temporada a otra.

## 2.2 MASAS SUSCEPTIBLES DE IMPLANTACIÓN CON FIN ENERGÉTICO

Especies leñosas o herbáceas destinadas a la producción de materiales con fin energético procedentes de masas naturales forestales de monte bajo y abandonadas en la actualidad o masas artificiales establecidas específicamente para tal fin, tanto en terreno forestal como agrícola.

Como los objetivos perseguidos con los cultivos energéticos son diferentes de los perseguidos con los alimentarios, parece lógico esperar que las especies que se seleccionen para este tipo de aprovechamiento sean distintas de las tradicionalmente empleadas para la producción de alimento. Sin embargo, en ocasiones pueden coincidir con especies utilizadas en cultivos agrícolas tradicionales o en aprovechamientos silvícolas clásicos, si bien, en general, la fitotecnia y el manejo de las plantaciones variarán sensiblemente respecto a los planteamientos clásicos.

### 2.2.1 Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno forestal o agrícola

Son muchas las condiciones que avalan la implantación de masas leñosas, poseyendo un fin multifuncional. Además del evidente fin energético la implantación de masas leñosas contribuye al aumento de la superficie forestal arbolada, incremento de la biomasa acumulada en la superficie forestal, fijación de CO<sub>2</sub>, etc.

Dentro de las masas leñosas a implantar surge la necesidad de una nueva clasificación en función del tipo de terreno donde se lleva a cabo su implantación.

- **Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno forestal.** Su fin es como se ha comentado

anteriormente multifuncional, por lo que la selva-cultura propuesta es menos intensiva.

- **Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno agrícola:** masas artificiales procedentes de la necesidad social de hoy en día de potenciar la biomasa como una fuente de energía renovable y, por tanto, con un único fin energético.

En las masas susceptibles de implantación la densidad de plantación y los turnos de corta son fundamentales para conseguir una optimización económica, ya que unas existencias mayores de lo debido reducen la duración del cultivo, además de reducir el crecimiento de la masa. A día de hoy son numerosos los estudios que se están llevando a cabo para definir las medidas más adecuadas y obtener así los mejores resultados.

Entre los géneros susceptibles de implantación cabe destacar:

- Género *Populus* (chopo): cultivado en Francia a rotación corta para producción de celulosa. Ampliamente cultivado y conocido en España en su cultivo como monte alto. Restringido a zonas de regadío. Pocas experiencias como cultivo en talar pero grandes posibilidades.
- Género *Salix* (sauce): cultivados en países europeos más fríos y húmedos. En España no alcanza grandes producciones, resiste mal la sequía. Caso particular son las mimbreras, sauce cultivado en España en regadío para usos muy concretos (cestería).
- Género *Eucalyptus* (eucalipto): no autóctonos pero adaptados al clima español. No precisan riegos y pueden usarse como filtros verdes. Cultivo muy conocido. Clara opción para producción bioenergética.
- Género *Quercus*: empleado tradicionalmente como leñas con fin doméstico.

Los géneros *Salix*, *Populus* y *Eucalyptus* se consideran como los de mayor potencial en el ámbito de la Unión Europea. Se trata de especies de crecimiento muy rápido, que cuentan además con una base genética amplia, ciclos de mejora breves, facilidad para la multiplicación vegetativa, capacidad de rebrotar tras la corta, etc., características, todas ellas, que las adecuan para esta finalidad productiva.

Es necesario resaltar las numerosas experiencias que se están llevando a cabo a día de hoy con otras especies forestales. De entre las muchas especies arbóreas forestales que potencialmente pueden

ser utilizadas para la producción de biomasa en turnos cortos cabe destacar *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Fraxinus spp.*, *Acacia spp.*, *Alnus spp.*, *Casuarina spp.*, *Gmelina arborea*, *Platanus spp.*, *Prosopis spp.*, *Tectona spp.*, *Ulmus pumila*, diferentes géneros agrupados bajo la denominación de bambúes como *Bambusa spp.* o *Yushane spp.*, *Paulownia*, etc.

## 2.2.2 Masas herbáceas susceptibles de implantación en terreno agrícola

La amplia mayoría de cultivos tradicionales pueden ser utilizados para producción de biomasa, tanto cereales (maíz, cebada, avena, centeno, triticale, etc.) como oleaginosas (colza, girasol).

Algunos de ellos son cultivos de secano (triticale, centeno, *brassica carinata*, cardo, etc.) y otros necesitan riego (cáñamo, sorgo, etc.). Además algunos son plurianuales (*cynara cardunculus*, *miscanthus sinensis*, etc.), mientras que otros son anuales (avena, etc.).

Las especies empleadas en distintos terrenos en Europa son: *Arundo donax* (caña), *Cynara cardunculus* (cardo), *Brassica carinata* (colza etíope), *Miscanthus sinensis* (miscato), *Sorghum sp* (sorgo), *Cannabis sativa* (cáñamo), *Hibiscus spp* (kenaf), etc.

# **3 Metodología del trabajo**

## 3.1 BIOMASA PROCEDENTE DE TERRENO FORESTAL

### 3.1.1 Biomasa forestal existente. Biomasa procedente del aprovechamiento de restos forestales y de árboles completos llevados a cabo en masas forestales existentes

En este apartado se incluye la metodología seguida para el cálculo de la biomasa procedente de los tratamientos selvícolas realizados sobre los distintos ecosistemas forestales en pie así como la estimación de los costes asociados a los mismos. Es decir, el cálculo se centra en la biomasa generada a partir de los tratamientos sobre el vuelo arbóreo de las masas forestales existentes a partir de los cuales se pueden obtener restos o árboles completos con fines energéticos.

Los tratamientos selvícolas sobre el vuelo aéreo de las masas forestales arboladas actualmente existentes se clasifican de la siguiente manera:

- Tratamientos que no suponen la corta de árboles, como es el caso de podas, trasmoches, olivaciones, etc.
- Tratamientos que suponen corta de parte de los pies de las masas, cortas intermedias o de mejora de las masas, clareos (en los primeros estadios de la masa), claras, resalveos, etc.
- Cortas finales de las masas forestales al final del turno de aprovechamiento.

Tanto las podas, olivaciones, etc. como los clareos no tienen un fin comercial, sino que son operaciones destinadas a la formación y mejora de las masas de modo que permitan un mayor y mejor desarrollo de la masa en pie y se fomenta la autoprotección de las mismas frente a riesgo de enfermedades, plagas e incendios, por tanto, no compite con otros usos como el maderero y por ello se puede considerar como biomasa de restos. Respecto a los demás tratamientos nombrados se va a diferenciar por un lado lo que son riberones

(punta de corta de copas) y ramas y ramillas, de lo que son los fustes propiamente dichos y con un posible y casi seguro uso maderero. Mientras que los primeros son considerados biomasa de restos forestales, los fustes van a considerarse biomasa o no dependiendo del diámetro de los árboles; esto es, en el caso de cortas finales y 2ª claras el fuste, dada su dimensión, se considerará de uso inconfundiblemente maderero, sin embargo puede ocurrir que en ciertas especies las dimensiones que alcanza el fuste en el momento de su 1ª clara pueda entrar en competencia de uso maderero versus energético. Así pues, y poniendo una limitación al diámetro de los pies para distinguir un uso final u otro se va a considerar los siguientes tipos de biomasa aprovechable:

- *Biomasa de restos* con punta delgada de 7-7,5 cm, en la cual se incluyen riberones, ramas y ramillas procedentes de los distintos tratamientos y árboles completos con diámetro inferior a 7,5 cm (clareos).
- *Biomasa de restos competitiva*, compuesta por riberones, ramas y ramillas procedentes de los distintos tratamientos y árboles completos con diámetro inferior a 20 cm (clareos y algunas claras).
- *Biomasa de árbol completo*, compuesta por árboles enteros procedentes de masas en pie con o sin aprovechamiento actual.

Aunque en el documento descriptivo de la herramienta informática de evaluación se explica detalladamente la selección del tipo de biomasa aprovechable, cabe recalcar que debe tomarse como primera decisión qué tipo o fracción de biomasa aprovechar para cada especie de la masa existente en cada intervención realizada (biomasa de restos y pies de diámetro inferior a 7 cm, biomasa de restos y pies de diámetro inferior a 20 cm o biomasa procedente del aprovechamiento del árbol completo).

#### 3.1.1.1 Definición de itinerarios selvícolas y posibilidades anuales

La estimación de la biomasa se basa en los itinerarios selvícolas de cada especie existente en un lugar y posibilidad proporcionada por los tratamientos a llevar a cabo a lo largo del turno correspondiente y que componen cada itinerario. La posibilidad es un valor teórico ya que, primero, se encuentran referidos a masas con fracción de cabida cubierta arbórea del 100% y, segundo, son el resultado de valores promedio de mediciones de restos en diversas experiencias en diferentes ámbitos de la geografía española.

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid ha sido la encargada de elaborar los distintos itinerarios selvícolas, los sistemas logísticos de aprovechamiento y maquinaria asociada para cada tratamiento, así como los costes correspondientes a cada uno de ellos.

La elección de especies dentro de este estudio se basa en aquellas en las que actualmente se presenta un aprovechamiento y/o en las especies que en un futuro pueden revelarse como una fuente de biomasa, tanto en lo referente a los cultivos energéticos como a aprovechamientos de índole puramente forestal, teniendo en cuenta a su vez la biomasa procedente de tareas de selvícolas de mantenimiento de un monte con un objetivo paisajístico. A continuación se enumeran las especies estudiadas:

**Tabla 1. Especies forestales de masas existentes consideradas en la herramienta informática**

Especie	
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Quercus suber</i>
<i>Pinus uncinata</i>	<i>Quercus pubescens</i>
<i>Pinus pinea</i>	<i>Populus alba</i>
<i>Pinus halepensis</i>	<i>Populus nigra</i>
<i>Pinus nigra</i>	<i>Populus tremula</i>
<i>Pinus pinaster</i>	<i>Populus x canadensis</i>
<i>Pinus radiata</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>
<i>Quercus robur</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
<i>Quercus petraea</i>	<i>Fagus sylvatica</i>
<i>Quercus pyrenaica</i>	<i>Castanea sativa</i>
<i>Quercus faginea</i>	<i>Quercus canariensis</i>
<i>Quercus ilex</i>	<i>Pinus canariensis</i>

Es importante recalcar que de un modo básico se ha hecho un estudio teniendo en cuenta la viabilidad económica del proceso, es decir, no se tendrán en cuenta en la mayoría de los casos las podas,

desbroces, etc. y demás actuaciones selvícolas en las que la baja producción de biomasa hace inviable económicamente el aprovechamiento de esta.

No se ha incluido la biomasa procedente de la limpieza de matorral, porque a día de hoy, no hay posibilidad de que su aprovechamiento sea rentable, y en el caso de los claros y primeras claras sería aconsejable realizar un estudio de la viabilidad económica y de extracción de biomasa en estas cortas.

Además, para diferentes especies se van a presentar dos modelos de producción que se estiman viables en función de la **titularidad del monte**. Se entiende a lo largo de este informe que en los montes privados se dará un tipo de actuación de carácter productor mientras que en los montes públicos primará la función protectora.

Los itinerarios selvícolas así como la posibilidad anual de cada uno de los tratamientos realizados sobre las masas han sido descritos a modo de fichas en el ANEXO II. Técnicas de producción utilizadas: desarrollo de los itinerarios selvícolas o de cultivo para la producción de cultivos energéticos y los sistemas de silvicultura y aprovechamiento para los restos forestales. La información de las fichas hace referencia a la distribución de las distintas especies, justificación del tratamiento selvícola escogido y finalmente una tabla de producción con los siguientes datos:

- Especie.
- Código de la especie (según el Inventario Forestal Nacional).
- Tratamiento selvícola.
- Edad.
- Diámetro medio de la masa (cm).
- Altura media de la masa o altura dominante (m).
- Número de pies por hectárea.
- Volumen total de la masa (m<sup>3</sup>).
- Diámetro extraído (cm).
- Fuste extraído (m<sup>3</sup>).
- Biomasa de restos (toneladas en peso seco/hectárea). Biomasa que resulta después de los aprovechamientos madereros.
- Biomasa total (toneladas en peso seco/hectárea). Biomasa total del aprovechamiento, fuste incluido.
- Posibilidad potencial maderable (m<sup>3</sup>/año):
 
$$\frac{\text{fuste\_extraído}}{\text{turno}}$$
- Posibilidad potencial de restos y pies con diámetro inferior a 7-7,5 cm (ts/año): este dato se

estima a partir del 0% de humedad, siendo ts toneladas secas:

$$\frac{Biomasa\_residual}{turno}$$

- Posibilidad potencial competitiva, es decir, de restos y pies con diámetro inferior a 20 cm (ts/año): este dato se estima a partir del 0% de humedad, siendo ts toneladas secas. Para la estimación de esta posibilidad hay que entender que la biomasa competitiva es el resultado de la suma de la biomasa potencial de restos y pies con diámetro inferior a 7-7,5 cm más la de los fustes resultante de las cortas de mejora (primera clara y aquellas cortas cuyo diámetro sea inferior a 20 cm); por lo que en el caso de no ser ninguna de estas la posibilidad potencial competitiva será coincidente con la posibilidad potencial de restos y pies con diámetro inferior a 7-7,5 cm:

$$\frac{Biomasa\_total}{turno}$$

- Posibilidad potencial del árbol completo: al igual que en los casos anteriores este dato se estima a partir del 0% de humedad, siendo ts toneladas secas. Para la estimación de esta posibilidad hay que entender que la biomasa del árbol completo es el resultado de la suma de la biomasa potencial de restos y pies con diámetro inferior a 7-7,5 cm más la de los fustes resultante de las cortas parciales y finales:

$$\frac{Biomasa\_total}{turno}$$

- Posibilidad potencial de restos y pies con diámetro inferior a 7-7,5 cm al 45% de humedad (th/año): este dato se estima a partir del 45% de humedad, siendo ts toneladas húmedas:

$$\frac{PP.residual\ seca}{0,55}$$

- Posibilidad potencial competitiva al 45% de humedad (th/año): este dato se estima a partir del 0% de humedad, siendo th toneladas húmedas:

$$\frac{PP.competitiva\ seca}{0,55}$$

- Posibilidad potencial del árbol completo al 45% de humedad (th/año): este dato se estima a partir del 0% de humedad, siendo th toneladas húmedas.

Para la elaboración de estas tablas se ha partido de diferente bibliografía y se ha atendido a las tablas referidas a calidades medias para poder englobar un abanico más amplio y representativo dentro de los distintos aprovechamientos forestales.

Salvo en raras excepciones los datos se extrajeron de "Montero, G., Ruíz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación por los bosques españoles*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Educación y Ciencia." A continuación se exponen las ideas relevantes de dicha fuente de información:

El primer paso es estimar el porcentaje de humedad de cada especie y a su vez de cada fracción de biomasa del árbol. Se parte pues de la extracción de biomasa correspondiente a cada especie y a cada fracción. Para ello se realiza el secado de las muestras en el laboratorio en estufa a una temperatura de  $102 \pm 2$  °C hasta peso constante, es decir, momento en el cual se considera que el contenido de agua es nulo. Finalmente la determinación del peso seco se determina aplicando ese porcentaje de humedad a los pesos en verde tomados en campo. De este modo se obtienen todos los pesos secos de las fracciones de biomasa de las muestras para el cálculo de los valores modulares.

Finalmente se desarrolla una ecuación alométrica, linealizada como modelo logarítmico, que relaciona el peso seco con el diámetro normal. Esta función (logarítmica) simplifica los cálculos, y además, en la mayoría de los casos incrementa la bondad del análisis estadístico. Sin embargo, esta ecuación logarítmica introduce un sesgo en los cálculos para lo cual es necesaria la introducción de un factor de corrección (CF) calculado a partir del error estándar de la estimación (SEE).

$$\ln b = a + b \cdot \ln d$$

$$B = CF \cdot A \cdot d^b$$

- b toma el valor de los distintos tipos de biomasa.

-  $CF = e^{\frac{SEE^2}{2}}$ , siendo CF un factor de corrección y SEE el error estándar de la estimación.

Como ejemplo se presenta la tabla de estimación de biomasa de *Pinus pinaster* en la primera clara con un  $d=21$  cm.

**Tabla 2. Datos de biomasa para *Pinus pinaster*. (BT biomasa total del árbol, BF biomasa del fuste)**

Especie	SEE	CF	a	A	B	d	Biomasa (kg)
<i>Pinus pinaster sbsp mesogeensis BT</i>	0,17	1,02	-3,00	0,05	2,50	21	100,68
<i>Pinus pinaster sbsp mesogeensis BF</i>	0,19	1,02	-3,44	0,03	2,57	21	80,81
<b><i>Pinus pinaster sbsp mesogeensis BRESTOS (BT-BF)</i></b>							<b>19,87</b>

Para el caso concreto de *Pinus radiata*, tal y como se aconseja en la bibliografía utilizada en la composición de su tabla de producción el modelo para el cálculo de biomasa es el de “Unidad de Xestión Forestal Sostenible” de Pérez-Cruzado, 2008, que se encuentra en el Informe provisional del “Proyecto para la realización de acciones encaminadas a evaluar y promover la utilización de biomasa forestal para la producción de energías renovables en el País Vasco. U.P.M. – BASOLANAK ELKARTEA.” El modelo se basa en seis parcelas de Galicia con un abanico de diámetros entre 9,5 y 73,2. Para el ajuste

de las ecuaciones obtenidas se ha utilizado una metodología de ajuste simultáneo empleando el método de mínimos cuadrados conjuntos (*Seemingly Unrelated Regressions*, SUR) para asegurar la condición de aditividad, y se tuvo en cuenta además la falta de homogeneidad de la varianza que habitualmente presentan este tipo de relaciones, para cuya corrección se empleó la metodología del ajuste ponderado.

Los pesos de cada fracción se expresan en kg de peso seco, el diámetro normal (Dn) se expresa en cm y la altura total (H) en metros.

**Tabla 3. Valores de biomasa para el *Pinus radiata* de la Unidad de Xestión (Perez Cruzado)**

Fracción	Ecuación	R <sup>2</sup> <sub>Ajust.</sub>	RMSE
Madera	$P = 0,0123 \cdot Dn^{1,6042} \cdot H^{1,4131}$	0,96	53,56
Corteza	$P = 0,0036 \cdot Dn^{2,6564}$	0,92	11,14
Ramas gruesas	$P = 1,937699 + 0,001065 \cdot Dn^2 \cdot H$	0,66	19,95
Ramas finas	$P = 0,0363 \cdot Dn^{2,6091} \cdot H^{-0,9417}$	0,81	6,02
Ramillos	$P = 0,0078 \cdot Dn^{1,9606}$	0,69	1,49
Acículas	$P = 0,0423 \cdot Dn^{1,7141}$	0,79	6,97

Donde:

R<sup>2</sup><sub>Ajust.</sub>: es una estimación de la bondad del ajuste del modelo en la población. Indica la proporción de variación en la variable dependiente o criterio explicada por las variables predictoras o independientes, teniendo en cuenta el tamaño de la muestra.

RMSE: raíz del error cuadrático de la media. Es la raíz cuadrada del promedio de la suma de diferencias cuadráticas entre los valores

observados en la serie y los esperados según el modelo de tendencia. Una de sus cualidades es que se expresa en la magnitud de medida de la variable.

Los datos del potencial de biomasa se han presentado de diferentes formas y distintas variables. Por un lado, se han obtenido las posibilidades residuales y competitivas en peso seco y a partir de ellas se obtuvo la posibilidad al 45% de humedad.

$$Ph = Ps / 0,55$$



Del mismo modo se podrá calcular la posibilidad a una humedad determinada:

$$Ph = Ps/(1-h)$$

Se presenta los datos también en tep (toneladas equivalentes de petróleo).

Para transformar a tep se han tomado los datos medios del Poder Calorífico Superior al 0% de humedad proporcionados por el CIEMAT en diferentes provincias.

**Tabla 4. Poder calorífico de las principales especies forestales españolas**

Tipo de biomasa	Procedencia	Humedad (base humedad) en el momento de la corta	Poder Calorífico Superior Humedad= 0% MJ/kg (valores medios)	Poder Calorífico Superior Humedad= 0% MJ/kg (valores medios por especie)
<i>P. pinaster</i> (ramas)	Varias	35-50 (42,5)	21,1	20,933
<i>P. pinaster</i> (madera)	Varias	40-50 (45)	20,7	
<i>P. pinaster</i> (corteza)	Varias	25-40 (32,5)	21	
<i>P. halepensis</i> (ramas)	Zaragoza	30-45 (37,5)	20,8	20,400
<i>P. halepensis</i> (madera)	Zaragoza	38-48 (43)	20,4	
<i>P. halepensis</i> (corteza)	Zaragoza	25-40 (32,5)	20	
<i>P. sylvestris</i> (ramas corta)	Varias	35-50 (42,5)	21,1	21,100
<i>P. pinea</i> (árbol entero, claras)	Ciudad Real	40-48 (44)	20,2	20,200
<i>P. nigra</i> (ramas corta)	Varias	35-50 (42,5)	20,6	20,600
<i>P. radiata</i> (ramas corta)	País Vasco	38-50 (44)	20,5	20,500
<i>E. globulus</i> (ramas)	Asturias	50-55 (52,5)	20,2	18,533
<i>E. globulus</i> (madera)	Asturias	55-65 (60)	19,5	
<i>E. globulus</i> (corteza)	Asturias	45-55 (50)	15,9	
<i>E. Camaldulensis</i> (ramas)	Ciudad Real	45-50 (47,5)	20	18,900
<i>E. Camaldulensis</i> (madera)	Ciudad Real	50-60 (55)	19,7	

(Continuación)

Tipo de biomasa	Procedencia	Humedad (base humedad) en el momento de la corta	Poder Calorífico Superior Humedad= 0% MJ/kg (valores medios)	Poder Calorífico Superior Humedad= 0% MJ/kg (valores medios por especie)
<i>E. Camaldulensis</i> (corteza)	Ciudad Real	40-50 (45)	17	
<i>F. sylvatica</i> (madera)	Varias	40	19,2	19,200
<i>Castanea sativa</i> (madera)	Varias	40	19,8	19,800
<i>Populus sp.</i> (ramas corta)	Varias	40-50 (45)	19,4	19,400
<i>Q. pyrenaica</i> (ramas sin hojas)	Soria	35-45 (40)	19,2	19,200
<i>Q. pyrenaica</i> (rollo cc )	Soria	38-50 (44)	19,1	19,100
<i>Q. petraea</i> (madera)	Varias	40	19,3	19,300
<i>Q. ilex</i> (hojas)	Varias	40	19,3	18,440
<i>Q. ilex</i> (ramillas)	Varias	40	18,5	
<i>Q. ilex</i> (madera)	Varias	40	18,2	
<i>Q. ilex</i> (desbroce)	Varias	40	19,2	

Una vez definido el Poder Calorífico Superior se empleará la Normativa UNE164001EX para el cálculo del Poder Calorífico Inferior a una humedad determinada:

$$PCI(h\%) = [(PCS0 \cdot 1.000 \cdot (1-x) - 11,27 \cdot x\% - 1.322) / 1.000]$$

Ahora bien según la equivalencia de unidades se aplica la siguiente fórmula para la obtención de las tep equivalentes a una tonelada de biomasa verde (h%):

$$tep/t = PCI(h\%) \cdot 0,0239$$

A continuación se presentan las tablas de itinerarios selvícolas de cada especie en las que se definen los tratamientos a llevar a cabo a lo largo del turno de cada especie forestal así como la posibilidad tanto de restos y pies con diámetro inferior a 7-7,5 cm, como restos y pies con diámetro inferior a 20 cm y árboles completos de cada una de ellas teniendo en cuenta las descripciones anteriores:

**Tabla 5. Itinerarios selvícolas para el aprovechamiento de restos y árboles completos procedentes de tratamientos selvícolas y cortas llevadas a cabo en las masas forestales existentes**

Especie	Código de especie	Propied. pública/ privada	Tratam.	Diámetro medio (cm)	Posibilid. <7 cm (t/ha·año)	Posibilid. competit. (<20) t/ha·año	Posibilid. árbol completo (t/ha·año)	Poder Calorífico Superior (H <sup>a</sup> =0%)
<i>Pinus halepensis</i>	24	Pr	entresaca	28	1,18	2,46	2,46	20,400
<i>Pinus halepensis</i>	24	Pu	clareo	7,00	0,02	0,02	0,02	20,400
<i>Pinus halepensis</i>	24	Pu	1clara	13,45	0,04	0,09	0,09	20,400
<i>Pinus halepensis</i>	24	Pu	2clara	25,15	0,09	0,09	0,20	20,400
<i>Pinus halepensis</i>	24	Pu	corta final1	36,80	0,27	0,27	0,55	20,400
<i>Pinus halepensis</i>	24	Pu	corta final2	42,55	0,19	0,19	0,38	20,400
<i>Pinus pinea</i>	23	Pu/Pr	clareo	7,00	0,04	0,04	0,04	20,200
<i>Pinus pinea</i>	23	Pu/Pr	1clara	21,40	0,26	0,44	0,44	20,200
<i>Pinus pinea</i>	23	Pu/Pr	2clara	30,00	0,38	0,38	0,66	20,200
<i>Pinus pinea</i>	23	Pu/Pr	corta final1	42,00	0,42	0,42	0,75	20,200
<i>Pinus pinea</i>	23	Pu/Pr	corta final2	49,50	0,61	0,61	1,11	20,200
<i>Pinus nigra</i>	25	Pr	entresaca	25	0,88	0,88	2,58	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	Pu	clareo	7,00	0,02	0,02	0,02	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	Pu	1clara	22,00	0,12	0,36	0,36	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	Pu	2clara	29,00	0,13	0,13	0,39	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	Pu	corta final1	37,00	0,29	0,29	0,85	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	Pu	corta final2	40,00	0,18	0,18	0,52	20,600
<i>Pinus sylvestris</i>	21	Pu/Pr	clareo	7	0,04	0,04	0,04	21,100
<i>Pinus sylvestris</i>	21	Pu/Pr	1clara	24	0,15	0,49	0,49	21,100

(Continuación)

Espece	Código de especie	Propied. pública/ privada	Tratam.	Diámetro medio (cm)	Posibilid. <7 cm (t/ha·año)	Posibilid. competit. (<20) t/ha·año	Posibilid. árbol completo (t/ha·año)	Poder Calorífico Superior (H <sup>a</sup> =0%)
<i>Pinus sylvestris</i>	21	Pu/Pr	2clara	33	0,13	0,13	0,56	21,100
<i>Pinus sylvestris</i>	21	Pu/Pr	corta final1	43	0,20	0,20	1,22	21,100
<i>Pinus sylvestris</i>	21	Pu/Pr	corta final2	47	0,11	0,11	0,76	21,100
<i>Pinus pinaster N</i>	26	Pu/Pr	1clara	18	0,24	1,14	1,14	20,933
<i>Pinus pinaster N</i>	26	Pu/Pr	2clara	27	0,19	0,19	1,04	20,933
<i>Pinus pinaster N</i>	26	Pu/Pr	corta final1	30	0,43	0,43	2,45	20,933
<i>Pinus pinaster S</i>	26	Pu/Pr	clareo	7	0,02	0,02	0,02	20,933
<i>Pinus pinaster S</i>	26	Pu/Pr	1clara	22,4	0,10	0,50	0,50	20,933
<i>Pinus pinaster S</i>	26	Pu/Pr	2clara	30,9	0,08	0,08	0,45	20,933
<i>Pinus pinaster S</i>	26	Pu/Pr	corta final1	38,7	0,15	0,15	0,93	20,933
<i>Pinus pinaster S</i>	26	Pu/Pr	corta final2	43,4	0,10	0,10	0,62	20,933
<i>Pinus radiata</i>	28	Pu/Pr	clareo	7	0,49	0,49	0,49	20,500
<i>Pinus radiata</i>	28	Pu/Pr	1clara	19,6	0,20	0,37	0,37	20,500
<i>Pinus radiata</i>	28	Pu/Pr	2clara	32	0,47	0,47	0,88	20,500
<i>Pinus radiata</i>	28	Pu/Pr	corta final1	47,6	1,01	1,01	1,87	20,500
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pr	clareo	7	0,01	0,05	0,05	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pr	1clara	15	0,02	0,10	0,10	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pr	2clara	22	0,07	0,07	0,34	21,1

(Continuación)

Espece	Código de especie	Propied. pública/ privada	Tratam.	Diámetro medio (cm)	Posibilid. <7 cm (t/ha·año)	Posibilid. competit. (<20) t/ha·año	Posibilid. árbol completo (t/ha·año)	Poder Calorífico Superior (H <sup>a</sup> =0%)
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pr	corta final1	40	0,23	0,23	0,94	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pr	corta final2	44	0,25	0,25	0,97	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pu	clareo	7	0,00	0,02	0,02	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pu	clareo2	12	0,03	0,14	0,14	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pu	1clara	15	0,01	0,04	0,04	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pu	2clara	20	0,03	0,13	0,13	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pu	3clara	25	0,04	0,04	0,18	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pu	4clara	32	0,13	0,13	0,57	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pu	corta final1	38	0,20	0,20	0,82	21,1
<i>Pinus canariensis</i>	27	Pu	corta final2	42	0,22	0,22	0,86	21,1
<i>Pinus uncinata</i>	22	Pu/Pr	clareo	7	0,03	0,06	0,06	21,1
<i>Pinus uncinata</i>	22	Pu/Pr	1clara	24	0,22	0,69	0,69	21,1
<i>Pinus uncinata</i>	22	Pu/Pr	2clara	33	0,16	0,16	0,76	21,1
<i>Pinus uncinata</i>	22	Pu/Pr	corta final1	43	0,17	0,17	1,62	21,1
<i>Pinus uncinata</i>	22	Pu/Pr	corta final2	47	0,09	0,09	1,00	21,1
<i>Eucalyptus glob N</i>	61	Pu/Pr	corta final1	18	1,31	1,31	4,73	18,533
<i>Eucalyptus glob N</i>	61	Pu/Pr	corta final2	19	1,43	1,43	5,32	18,533
<i>Eucalyptus glob N</i>	61	Pu/Pr	corta final3	19	1,43	1,43	5,32	18,533

(Continuación)

Espece	Código de especie	Propied. pública/ privada	Tratam.	Diámetro medio (cm)	Posibilid. <7 cm (t/ha-año)	Posibilid. competit. (<20) t/ha-año	Posibilid. árbol completo (t/ha-año)	Poder Calorífico Superior (H <sup>a</sup> =0%)
<i>Eucalyptus cam S</i>	62	Pu/Pr	corta final1	16	0,50	0,50	1,71	18,900
<i>Eucalyptus cam S</i>	62	Pu/Pr	corta final2	16,5	0,53	0,53	1,83	18,900
<i>Eucalyptus cam S</i>	62	Pu/Pr	corta final3	16,5	0,53	0,53	1,83	18,900
<i>Castanea sativa</i>	72	Pu/Pr	1clara	12,5	0,09	0,58	0,58	19,800
<i>Castanea sativa</i>	72	Pu/Pr	2clara	21	0,08	0,74	0,74	19,800
<i>Castanea sativa</i>	72	Pu/Pr	corta final1	33	0,11	0,11	2,30	19,800
<i>Fagus sylvatica</i>	71	Pu/Pr	clareo	6,8	0,00	0,07	0,07	19,2
<i>Fagus sylvatica</i>	71	Pu/Pr	1clara	19,4	0,10	0,47	0,47	19,2
<i>Fagus sylvatica</i>	71	Pu/Pr	2clara	27	0,15	0,15	0,62	19,2
<i>Fagus sylvatica</i>	71	Pu/Pr	corta final1	35,3	0,40	0,40	1,40	19,2
<i>Fagus sylvatica</i>	71	Pu/Pr	corta final2	39,5	0,36	0,36	1,22	19,2
<i>Quercus robur</i>	41	Pu/Pr	1clara	15	0,08	0,27	0,27	19,3
<i>Quercus robur</i>	41	Pu/Pr	2clara	26,9	0,18	0,18	0,59	19,3
<i>Quercus robur</i>	41	Pu/Pr	3clara	35,5	0,25	0,25	0,82	19,3
<i>Quercus robur</i>	41	Pu/Pr	corta final1	40	0,30	0,30	0,99	19,3
<i>Quercus robur</i>	41	Pu/Pr	corta final2	43	0,29	0,29	0,96	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	Pu/Pr	1clara	15	0,08	0,27	0,27	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	Pu/Pr	2clara	26,9	0,18	0,18	0,59	19,3

(Continuación)

Espece	Código de especie	Propied. pública/ privada	Tratam.	Diámetro medio (cm)	Posibilid. <7 cm (t/ha·año)	Posibilid. competit. (<20) t/ha·año	Posibilid. árbol completo (t/ha·año)	Poder Calorífico Superior (H <sup>a</sup> =0%)
<i>Quercus petraea</i>	42	Pu/Pr	3clara	35,5	0,25	0,25	0,82	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	Pu/Pr	corta final1	40	0,30	0,30	0,99	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	Pu/Pr	corta final2	43	0,29	0,29	0,96	19,3
<i>Quercus pyrenaica</i>	43	Pu	resalveo	9,7	2,17	2,17	2,17	19,1
<i>Quercus pyrenaica</i>	43	Pr	matarrasa	12,5	2,73	2,73	2,73	19,1
<i>Quercus faginea</i>	44	Pu	resalveo	9,7	1,19	1,19	1,19	19,1
<i>Quercus faginea</i>	44	Pr	matarrasa	12,5	2,73	2,73	2,73	19,1
<i>Quercus ilex</i>	45	Pu	resalveo	9,7	1,94	1,94	1,94	18,44
<i>Quercus ilex</i>	45	Pr	matarrasa	12,5	2,73	2,73	2,73	18,44
<i>Quercus pubescens</i>	243	Pu	resalveo	9,7	2,17	2,17	2,17	19,1
<i>Quercus pubescens</i>	243	Pr	matarrasa	12,5	2,73	2,73	2,73	19,1
<i>Quercus canariensis</i>	47	Pu	resalveo	9,7	2,16	2,16	2,16	19,1
<i>Quercus canariensis</i>	47	Pr	matarrasa	12,5	2,73	2,73	2,73	19,1
<i>Quercus suber</i>	46	Pu	clareo	8	0,00	0,01	0,01	20
<i>Quercus suber</i>	46	Pu	1clara	20	0,03	0,06	0,06	20
<i>Quercus suber</i>	46	Pu	2clara	31	0,07	0,07	0,13	20
<i>Quercus suber</i>	46	Pu	corta final1	50	0,61	0,61	0,95	20
<i>Populus alba</i>	51	Pu/Pr	corta final1	38	2,82	10,52	10,52	19,4

(Continuación)

Especie	Código de especie	Propied. pública/ privada	Tratam.	Diámetro medio (cm)	Posibilid. <7 cm (t/ha-año)	Posibilid. competit. (<20) t/ha-año	Posibilid. árbol completo (t/ha-año)	Poder Calorífico Superior (H <sup>a</sup> =0%)
<i>Populus nigra</i>	52	Pu/Pr	corta final1	38	2,82	10,52	10,52	19,4
<i>Populus tremula</i>	58	Pu/Pr	corta final1	38	2,82	10,52	10,52	19,4
<i>Populus x canadensis</i>	258	Pu/Pr	corta final1	38	2,82	10,52	10,52	19,4

Nota: como se ha comentado anteriormente existen especies cuyos itinerarios selvícolas van a depender de la titularidad del monte –público/privado.

En el anexo correspondiente (ANEXO II. Técnicas de producción utilizadas: desarrollo de los itinerarios selvícolas o de cultivo para la producción de cultivos energéticos y los sistemas de selvicultura y aprovechamiento para los restos forestales) se muestra con mayor detalle la biomasa de restos por especies y tipo de propiedad.

### 3.1.1.2 Estimación de la biomasa

La estimación de la biomasa existente en los diversos ecosistemas forestales se lleva a cabo a tres niveles denominados *biomasa total potencial*, *biomasa accesible* y *biomasa disponible*. Debe decidirse inicialmente el nivel de biomasa del cual se desea obtener los datos.

**B<sub>T</sub>: biomasa potencial total** es aquella resultante de considerar el aprovechamiento de toda la superficie forestal arbolada nacional en la que se encuentran presentes aquellas especies de interés forestal.

**B<sub>A</sub>: biomasa potencial accesible** es aquella resultante de aminorar la total considerando restricciones de índole ecológica, económica o de mecanización (figuras de protección, altitudes, pendientes, etc.); así como aplicar un coeficiente reductor (coeficiente de recogida) debido a la eficiencia en la recogida, ya que se deben dejar restos en el terreno por razones ecológicas además de la posibilidad de no ser recogido el 100% del material (mayor dificultad por pendiente, etc.).

**B<sub>D</sub>: biomasa potencial disponible** es aquella resultante de aminorar la accesible teniendo en cuenta otros usos como madera. Esta aminoración vendrá dada mediante un coeficiente de aprovechamiento de madera denominado Coeficiente de Cortas Actuales (CCA%).

Finalmente, se define la **biomasa total, accesible y disponible a un coste**, es decir, aquella biomasa cuyo coste de obtención sea inferior a un coste dado.

Los resultados de la aplicación de la herramienta informática, obtenidos a partir de unos parámetros definidos, presentan para la biomasa procedente de restos forestales y pies inferiores a 7 y 20 cm la biomasa potencial total, potencial accesible y potencial disponible; sin embargo, en el caso de biomasa procedente de árbol completo únicamente se presentan los resultados de biomasa potencial disponible (coincidente a su vez con la biomasa accesible), ya que el cálculo de la biomasa potencial total obligaría a repetir el proceso de cálculo de la herramienta suponiendo que todas las especies son dedicadas al aprovechamiento del árbol completo, además de carecer de relevancia el dato obtenido.

#### 3.1.1.2.1 Base cartográfica

El cálculo de la biomasa conlleva un análisis cartográfico previo de identificación de aquellas superficies forestales susceptibles de aprovechamiento. A continuación se lleva a cabo la descripción de las diferentes bases cartográficas empleadas para dicho fin:

- *Mapa Forestal de España escala 1:50.000* (MFE50). A partir de esta cartografía se determinan y definen espacialmente las formaciones objeto de estudio, en este caso los sistemas forestales arbolados, así como las especies que los componen y su distribución (densidad de las masas, ocupación, etc.).
- *Mapa de Parques Nacionales (PPNN) y otras figuras de protección*. Dado que el Plan Director de estos espacios recomienda no actuar sobre ellos, al menos intensamente, favoreciendo la dinámica natural de sus sistemas forestales, se diferencian



del resto de las superficies susceptibles de aprovechamiento. En el caso de otras figuras de proyección también se tendrá en cuenta la presencia de éstas.

- **Mapa de Altitudes.** La altitud se considera un factor limitante, de tipo ecológico fundamentalmente, debido a que los sistemas forestales existentes a partir de determinada cota altitudinal, dependiente de las características del sistema en concreto, presentan fragilidad en cuanto a sus condiciones de vegetación en situaciones de corto periodo vegetativo, de limitada productividad forestal y elevado riesgo de erosión debido a tratarse de zonas de escasez de cobertura vegetal y fuertes pendientes. Por tanto, es obligada su exclusión en cuanto a los aprovechamientos forestales de carácter productivo, excepto el pino negro en Huesca, Lleida y Girona.
- **Mapa de Pendientes.** La pendiente del terreno condiciona los rendimientos de los trabajos de aprovechamiento en función de los posibles sistemas logísticos. Se van a distinguir cuatro rangos de pendientes: 0-12%, 12-30%, 30-50% y 50-75%.
- **Mapa de Productividad Potencial Forestal (Gandullo & Serrada).** A partir de dicho mapa se obtiene información sobre la productividad de las estaciones forestales, en función del tipo de suelo y del clima de cada zona en la que se encuentran.
- **Mapa de Términos Municipales.** Se va a emplear la cartografía de Términos Municipales del INE.
- **Mapa de Propiedad Pública-Privada.** A la hora de la estimación de la biomasa disponible se va a distinguir para determinadas especies e itinerarios selvícolas entre si el sistema forestal es de propiedad pública o privada.
- **Mapa de Red Viaria.** La red viaria existente será determinante a la hora del cálculo de costes de saca del monte y transporte hasta central.

### 3.1.1.2.2 Identificación cartográfica de las superficies susceptibles de aprovechamiento

Únicamente se consideran susceptibles de aprovechamientos aquellos sistemas forestales que cumplen las siguientes condiciones:

- **Sistemas forestales arbolados.** Es decir, aquellos territorios o ecosistemas poblados por especies forestales arbóreas como manifestación vegetal de estructura vertical dominante y con fracción de cabida cubierta por ellas igual o superior al 20%. La fracción de cabida cubierta (FCC) del conjunto de las especies del es trato arbóreo (fracción

de cabida arbórea, FCCa) define el porcentaje de suelo cubierto por la proyección de todas las copas. El MFE50 proporciona la fracción de cabida cubierta de cada tesela en que se encuentra dividido el territorio (campo TFCCARB).

- Dentro de los sistemas forestales arbolados se consideran como aprovechables aquellas formaciones definidas como **bosques naturales, procedentes de plantaciones o adeshados**. Estas formaciones se encuentran definidas en el MFE50 por el Tipo Estructural (TIPESTR 1, 2 y 3 respectivamente).
- Por razones económicas únicamente se consideran aprovechables aquellas masas con **fracción de cabida cubierta arbórea igual o mayor al 50%**.
- Dentro de los sistemas forestales arbolados únicamente se consideran como aprovechables aquellas masas formadas por **especies de interés forestal**; esto es, cuya producción mínima sea, para el conjunto de España, de 50.000 m<sup>3</sup>/año de madera (de acuerdo con los datos del Anuario de Estadística Agraria del MAPA) o que la superficie forestal que ocupan supere las 10.000 ha.
- Además se seleccionan aquellas masas que constituyen las dehesas, es decir, **sistemas forestales ralos** (fracción de cabida cubierta arbolada ≤ 5%), tipo estructural denominado **adeshado**, como se ha comentado anteriormente, y cuyas **principales especies** pertenezcan al **género Quercus** (*Quercus ilex*, *Quercus faginea* y *Quercus pyrenaica*).

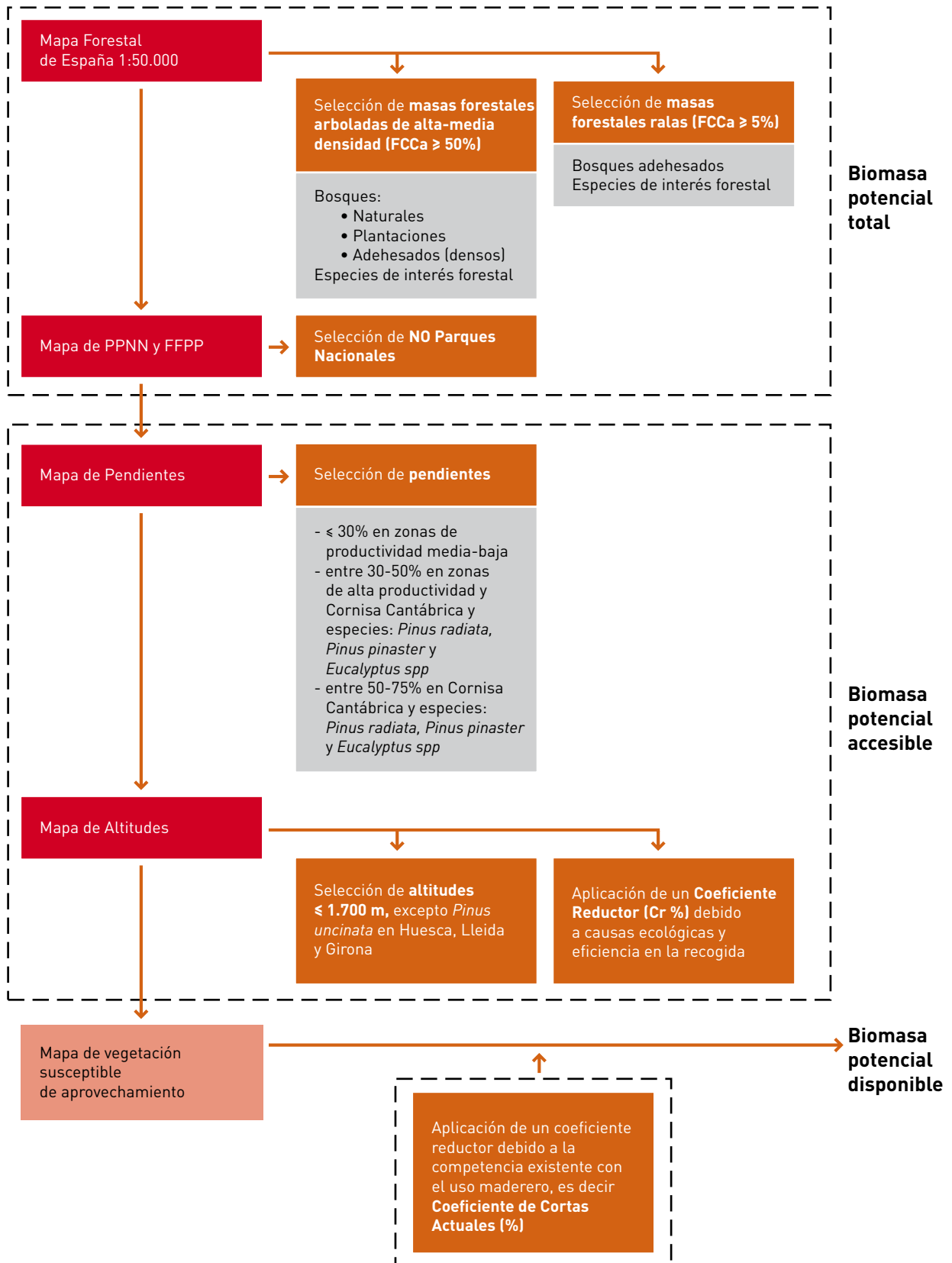
El MFE50 proporciona información sobre las tres especies principales que componen cada tesela en que se encuentra dividido el territorio (campos SP1, SP2 y SP3). A continuación se presenta la codificación correspondiente a las especies consideradas como aprovechables:

**Tabla 6. Especies consideradas para el cálculo de biomasa procedente de masas existentes y su codificación**

Especies aprovechables	
<i>Pinus halepensis</i>	24
<i>Pinus sylvestris</i>	21
<i>Pinus uncinata</i>	22
<i>Pinus nigra</i>	25
<i>Pinus pinaster</i>	26
<i>Pinus pinea</i>	23
<i>Pinus radiata</i>	28
<i>Pinus canariensis</i>	27
<i>Castanea sativa</i>	72
<i>Fagus sylvatica</i>	71
<i>Populus alba</i>	51
<i>Populus nigra</i>	52
<i>Populus tremula</i>	58
<i>Populus x canadensis</i>	258
<i>Eucalyptus globulus</i>	61
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	62
<i>Quercus robur</i>	41
<i>Quercus faginea</i>	44
<i>Quercus ilex</i>	45
<i>Quercus petraea</i>	42
<i>Quercus pubescens</i>	243
<i>Quercus canariensis</i>	47
<i>Quercus pyrenaica</i>	43
<i>Quercus suber</i>	46

- Se van a **distinguir aquellas superficies pertenecientes o no a Parques Nacionales**, por razones medioambientales y ecológicas. El resto de figuras de protección no se consideran restrictivas, ahora bien, también se podrá determinar la biomasa procedente de las formaciones incluidas en dichas figuras.
- Como se ha comentado anteriormente se excluyen del análisis por razones ecológicas aquellas formaciones situadas en **cotas altitudinales superiores a 1.700 m, excepto las masas de pino negro en las provincias de Huesca, Lleida y Girona** que merecen un tratamiento especial.
- Se limita el aprovechamiento por razones económicas, de mecanización y de erosión a terrenos con **pendiente igual o menor al 30% en toda España excepto en zonas de altas productividades** (clases I y II del Mapa de Productividad Potencial Forestal) **donde se ampliarán los aprovechamientos hasta el 50% de pendiente y en formaciones de *Pinus radiata*, *Pinus pinaster* y *Eucalyptus spp.* en la zona de la Cornisa Cantábrica** (Asturias, Cantabria y País Vasco) donde según el sistema logístico se podrá alcanzar **hasta el 75%**.

En el siguiente esquema se presenta la metodología a seguir a la hora de la identificación de las superficies susceptibles de aprovechamiento y el nivel de biomasa que engloba las distintas restricciones:



### 3.1.1.2.3 Cálculo de biomasa forestal

#### 3.1.1.2.3.1 Biomasa potencial total

La biomasa potencial total es aquella resultante de considerar el aprovechamiento de toda la superficie forestal arbolada nacional en la que se encuentran las especies consideradas de interés forestal (en adelante superficie potencial total).

A la hora del cálculo de la biomasa potencial total se tiene en cuenta la *superficie potencial total neta*, la *posibilidad media* de cada especie a lo largo del turno referidas a toneladas anuales y la calidad de estación, la cual mayorará o minorará la posibilidad media.

Los sistemas forestales arbolados que cumplan las condiciones expuestas anteriormente y que por tanto son potenciales productores de biomasa no poseen una cobertura del 100% de masa arbolada. Como se ha comentado anteriormente, el MFE50 define la distribución de las masas en cada una de las teselas que componen el territorio mediante la Fracción de Cabida Cubierta Arbolada (campo TFCCARB) y Ocupación de cada una de las tres especies consideradas (campos O1, O2 y O3). Así pues, la superficie neta de aprovechamiento ( $S_N$ ) se calcula a partir de la superficie de cada tesela de vegetación del MFE50 (campo Área) seleccionada en la evaluación cartográfica, de la fracción de cabida cubierta arbórea de la vegetación de cada tesela ( $FCC_A$ , en %) y de la ocupación relativa ( $O_i$ ) de las distintas especies ( $i$ ) que componen la vegetación:

$$S_N = FCC_a \cdot \sum (O_i)$$

Por otro lado, la posibilidad de biomasa definida para cada especie e itinerario silvícola es una posibilidad media para toda España y por tanto es variable en función de la calidad de la estación de cada zona. La calidad de la estación queda definida por la productividad potencial forestal, la cual representa la máxima productividad, expresada en  $m^3/ha\cdot a\tilde{no}$  de madera, de una estación forestal con las restricciones que la imponen el suelo y clima. Su elaboración se llevó a cabo por Gandullo y Serrada a partir del Índice Climático de Paterson (1956) modificado en función de la existencia de distintos substratos litológicos.

En función de la productividad potencial forestal obtenida ( $m^3$  de madera/ $ha\cdot a\tilde{no}$ ) se definen diferentes clases que consideran las limitaciones para el crecimiento de bosques productivos.

- **Ia, Ib y Ic.** Terrenos que no tienen limitaciones para el crecimiento de bosques productivos.
- **Ila y Ilb.** Terrenos con limitaciones débiles para el crecimiento de bosques productivos.
- **IIla y IIlb.** Terrenos con limitaciones moderadas para el crecimiento de bosques productivos.
- **IVa y IVb.** Terrenos con limitaciones moderadamente graves para el crecimiento de bosques productivos.
- **Va y Vb.** Terrenos con limitaciones graves para el crecimiento de bosques productivos.
- **VIa y VIb.** Terrenos con limitaciones muy graves para el crecimiento de bosques productivos.
- **VII.** Terrenos con limitaciones suficientemente graves como para impedir el crecimiento de bosques productivos.

Cada clase tiene asociado un rango de productividad en  $m^3/ha\cdot a\tilde{no}$ , del cual se ha obtenido la media (valor de la clase), a partir de la cual se ha establecido un coeficiente de corrección de las posibilidades expuestas en la tabla del punto anterior (coeficiente multiplicador de mayoración o minoración).

**Tabla 7. Productividad potencial forestal de España Peninsular**

Clase	Productividad ( $m^3/ha\cdot a\tilde{no}$ )			
	Mín.	Máx.	Valor de la clase	Coeficiente de mayoración/minoración
Ia	9	[9,75]	9,375	2,05
Ib	8,25	9	8,625	1,88
Ic	7,5	8,25	7,875	1,72
IIa	6,75	7,5	7,125	1,56
IIb	6	6,75	6,375	1,39
IIIa	5,25	6	5,625	1,23
IIIb	4,5	5,25	4,875	1,06
IVa	3,75	4,5	4,125	0,90
IVb	3	3,75	3,375	0,74

(Continuación)

Clase	Productividad (m <sup>3</sup> /ha·año)			
	Mín.	Máx.	Valor de la clase	Coefficiente de mayoración/minoración
Va	2,25	3	2,625	0,57
Vb	1,5	2,25	1,875	0,41
Vla	1	1,5	1,250	0,27
Vlb	0,5	1	0,750	0,16
VII	(0)	0,5	0,250	0,05

En consecuencia, la biomasa potencial total es la obtenida a partir de la aplicación de la siguiente fórmula:

$$BT \text{ (t/año)} = [\sum (Ppot_i \cdot O_i)] \cdot Fcc_a \cdot S_t \cdot MPPF$$

Siendo,

BT, la biomasa potencial total para el aprovechamiento de restos y árboles completos procedentes de tratamientos selvícolas llevados a cabo en masas existentes.

Ppot<sub>i</sub>, la productividad de biomasa de la especie i (ya sea de restos y pies de diámetro inferior a 7 cm, de restos y pies con diámetro inferior a 20 cm o de árbol completo) en la tesela t.

O<sub>i</sub>, la ocupación de la especie i en la tesela t.

Fcc<sub>a</sub>, la fracción de cabida cubierta arbolada de la tesela t.

S<sub>t</sub>, es la superficie de la tesela t.

MPPF, el coeficiente de productividad potencial forestal en la tesela t.

Como se ha comentado anteriormente, la productividad o posibilidad de biomasa a aplicar varía para cada especie en función de la fracción de biomasa que se defina en el estudio. Es decir, para cada especie se ha marcado con anterioridad si desea aprovechar restos y pies con diámetro inferior a 7 cm, restos y pies de diámetro inferior a 20 cm o árbol completo.

Se ha considerado el cálculo de la biomasa en seco. Por tanto, para el cálculo de la cantidad de

biomasa obtenida a un contenido de humedad x%, introducido para el estudio, se aplicará la siguiente fórmula matemática correctora: Biomasa x% = Biomasa 0%/(1-x).

### 3.1.1.2.3.2 Biomasa potencial accesible

La biomasa accesible es aquella biomasa, definida dentro de la biomasa potencial total, resultante de aplicar restricciones tanto ecológicas y medioambientales como económicas y de mecanización. Esto es, de la superficie potencial total se eliminan aquellas superficies con limitaciones en su aprovechamiento (ya comentadas anteriormente, pero se presenta un breve recordatorio) y se aplican coeficientes correctores como se definen a continuación:

- Limitación por figuras de protección. Por razones medioambientales y ecológicas se van a distinguir aquellas superficies pertenecientes o no a Parques Nacionales.
- Limitación por altitud. Por razones ecológicas no se consideran aquellas formaciones situadas en cotas altitudinales superiores a 1.700 m, excepto las masas de pino negro en las provincias de Huesca, Lleida y Girona que merecen un tratamiento especial.
- Limitación por pendiente. Por razones económicas, de mecanización y de erosión se limita el aprovechamiento a terrenos con pendiente igual o menor al 30% en toda España excepto en zonas de altas productividades (clases I y II del Mapa de Productividad Potencial Forestal) donde se ampliarán los aprovechamientos hasta el 50% de pendiente y en formaciones de *Pinus radiata*, *Pinus pinaster* y *Eucalyptus spp.* en la zona de la Cornisa Cantábrica (Asturias, Cantabria y País Vasco) donde según el sistema logístico se podrá alcanzar hasta el 75%.
- Finalmente, cabe destacar la importancia de la aplicación de un coeficiente que haga referencia a la eficiencia de la recogida de la biomasa (Coeficiente de recogida, Cr), es decir, el porcentaje final de restos que se extrae de las masas tras cada tratamiento.

La herramienta informática por defecto aplica un coeficiente de recogida Cr= 65%, ahora bien, se presenta la posibilidad de ser modificado en futuros estudios.

Por tanto, el cálculo de la biomasa anual accesible se realiza a partir de la posibilidad potencial anual para cada especie considerada, la productividad potencial forestal del terreno, la superficie neta en función de la fracción de cabida cubierta arbórea y

ocupación de las especies resultante tras las limitaciones definidas y el coeficiente de recogida, de acuerdo a la siguiente expresión, para cada tesela de vegetación seleccionada del MFE50:

$$BA (t/año) = [\sum (Ppot_i \cdot O_i)] \cdot Fcc_a \cdot S_t \cdot MPPF \cdot Cr$$

Siendo,

- $B_A$ , la biomasa accesible para el aprovechamiento de restos y árboles completos procedentes de tratamientos selvícolas llevados a cabo en masas existentes.
- $Ppot_i$ , la productividad de biomasa de la especie  $i$  (ya sea de restos y pies de diámetro inferior a 7 cm, de restos y pies con diámetro inferior a 20 cm o de árbol completo) en la tesela  $t$ .
- $O_i$ , la ocupación de la especie  $i$  en la tesela  $t$ .
- $Fcca_i$ , la fracción de cabida cubierta arbolada de la tesela  $t$ .
- $MPPF$ , el coeficiente de productividad potencial forestal en la tesela  $t$ .
- $S_t$ , la superficie de la tesela  $t$ .
- $Cr$ , el coeficiente de eficiencia de recogida (variable inicial a introducir para el estudio).

Como se ha comentado anteriormente, la productividad o posibilidad de biomasa a aplicar varía para cada especie en función de la fracción de biomasa que se ha elegido. Es decir, para cada especie se ha marcado con anterioridad si desea aprovechar restos y pies con diámetro inferior a 7 cm, restos y pies de diámetro inferior a 20 cm o árbol completo.

Se ha considerado el cálculo de la biomasa en seco. Por tanto, para el cálculo de la cantidad de biomasa obtenida a un contenido de humedad  $x\%$ , introducido para el estudio, se aplicará la siguiente fórmula matemática correctora:  $Biomasa\ x\% = Biomasa\ 0\% / (1 - x)$ .

### 3.1.1.2.3.3 Biomasa potencial disponible

La biomasa disponible queda definida como aquella biomasa accesible que no tiene un uso maderero, es decir, la biomasa accesible que no entra en competencia con las cortas madereras que se llevan a cabo en la actualidad.

Así pues, el cálculo de esta biomasa se lleva a cabo en una determinada tesela a partir de la biomasa accesible minorada por un coeficiente de cortas actuales de madera (CCA).

Por defecto la herramienta informática aplica, en aquellas especies no marcadas con aprovechamiento de árbol completo, un coeficiente de cortas actuales del 41%, resultante del cociente entre las cortas actuales de madera y la disponibilidad de madera que estima el Tercer Inventario Forestal. Ahora bien, dicho coeficiente podría modificarse para cada especie, siendo fijo e igual a 0 para el caso de aquellas especies en las que se ha seleccionado el aprovechamiento del árbol completo.

Por lo tanto, en aquellas superficies donde actualmente se llevan a cabo cortas madereras únicamente se obtendrán restos. El programa tiene definido un porcentaje de cortas actuales (CCA<sub>i</sub>) que puede ser modificado para cada especie considerada en el estudio. Si se optara por destinar los productos obtenidos en dichas cortas exclusivamente para fines energéticos (árbol completo), el CCA<sub>i</sub> se hará automáticamente igual a cero. De igual forma, la herramienta informática considera que los árboles pertenecientes a la superficie sin cortas (1-CCA<sub>i</sub>) podrán ser objeto de aprovechamiento íntegro para fines energéticos (árbol completo). Por tanto, es necesario definir dos ecuaciones de cálculo en función de si se desea considerar biomasa procedente de restos (en cuyo caso se considera la superficie donde se llevan a cabo las cortas madereras de las cuales se extraen los restos) o de árboles completos (caso en el que se considera la superficie sobre la que no se llevan a cabo aprovechamientos madereros, de modo que no entren en competencia).

Teniendo en cuenta dichas consideraciones, la ecuación de cálculo para biomasa disponible procedente de restos de cortas de madera para fines energéticos es la siguiente:

$$B_{DRES} (t/año) = \sum (Ppot_i \cdot O_i \cdot CCA_i) \cdot Fcc_a \cdot S_t \cdot MPPF \cdot Cr$$

De igual forma, la ecuación de cálculo para biomasa disponible procedente de aprovechamiento de árboles completos con fines energéticos es la siguiente:

$$B_{DAC} (t/año) = (Ppot_i \cdot O_i \cdot (1 - CCA_i)) \cdot Fcc_a \cdot S_t \cdot MPPF \cdot Cr$$

Siendo,

- $B_{DRES}$ , la biomasa disponible procedente de restos de tratamientos y aprovechamientos forestales
- $B_{DAC}$ , la biomasa disponible procedente de aprovechamientos de árboles completos con fines energéticos.

- PPot<sub>i</sub>, la posibilidad potencial cada especie i de la tesela.  
 O<sub>i</sub>, la ocupación de cada especie i de la tesela.  
 CCA<sub>i</sub><sup>\*</sup>, coeficiente de cortas anuales.  
 Fcc<sub>a</sub>, la fracción de cabida cubierta de la tesela arbolada.  
 S<sub>i</sub>, la superficie de la tesela.  
 Cr, el coeficiente de recogida según la pendiente de la tesela.  
 MPPF, la productividad potencial forestal del terreno.

Así pues, la ecuación que contempla toda la biomasa disponible por unidad es:

$$BM \text{ (t/ha} \cdot \text{año)} = [(\sum (\text{Ppoti}_R \cdot O_i \cdot \text{CCA}_i) + (\sum (\text{Ppoti}_{AC} \cdot O_i \cdot (1 - \text{CCA}_i)))] \cdot \text{Fcc}_a \cdot \text{MPPF} \cdot \text{Cr}$$

Siendo,

- BM, la biomasa disponible procedente de restos de tratamientos y aprovechamientos forestales y del aprovechamiento de árbol completo de las especies seleccionadas.  
 PPot<sub>R</sub>, la posibilidad potencial de restos de cada especie i seleccionada con dicho aprovechamiento.  
 PPot<sub>AC</sub>, la posibilidad potencial de árbol completo cada especie i seleccionada con dicho aprovechamiento.  
 O<sub>i</sub>, la ocupación de cada especie i.  
 CCA<sub>i</sub><sup>\*</sup>, coeficiente de cortas anuales.  
 Fcc<sub>a</sub>, la fracción de cabida cubierta de la tesela arbolada.  
 Cr, el coeficiente de recogida según la pendiente de la tesela.  
 MPPF, la productividad potencial forestal del terreno.

Como se ha comentado anteriormente, la productividad o posibilidad de biomasa a aplicar varía para cada especie en función de la fracción de biomasa elegida. Es decir, para cada especie se ha marcado con anterioridad si desea aprovechar restos y pies con diámetro inferior a 7 cm, restos y pies de diámetro inferior a 20 cm o árbol completo.

Se ha considerado el cálculo de la biomasa en seco. Por tanto, para el cálculo de la cantidad de biomasa obtenida a un contenido de humedad x%, introducido para el estudio, se aplicará la siguiente fórmula matemática correctora: Biomasa x% = Biomasa 0%/(1-x).

El Coeficiente de Cortas Actuales, CCA, como se ha comentado anteriormente, puede ser variado para

cada especie habiéndose definido un coeficiente para toda España que aparece en la herramienta informática como predefinido. Dicho coeficiente ha sido calculado a partir de las existencias de biomasa según el Tercer Inventario Forestal Nacional y las cortas que se están realizando en la actualidad según el Anuario de Estadística Agraria.

### 3.1.1.3 Definición de sistemas logísticos

Los distintos itinerarios selvícolas definidos en el apartado anterior para cada especie e incluso tipo de propiedad de terreno, llevan asociados una serie de tratamientos o intervenciones. Los principales tratamientos propuestos en los itinerarios son:

- Entresaca.
- Clareo.
- 1ª clara.
- 2ª clara.
- Aclareo.
- Corta final.
- Resalveo.

Del mismo modo, cada tratamiento conlleva distintos trabajos (en adelante procesos) hasta la obtención de un producto homogéneo a pie de central o centro de almacenamiento. Dichos trabajos o procesos presentan distintas posibilidades de ser realizados ya sea manual o mecanizadamente; en este último caso se pueden llevar a cabo mediante maquinaria diferente. El conjunto de procesos y maquinaria asociada conforma lo que se denomina Sistema Logístico.

Así pues, un sistema logístico define la serie de procesos (apeo, reunión, saca, adecuación y transporte) y maquinaria asociada (motosierra o multitaladora, peón o tractor recogedor, tractor agrícola o autocargador, empacadora, astilladora o trituradora y camión rígido, tráiler, camión con remolque

o piso móvil) para la obtención de un producto final previamente definido a pie de central o parque de almacenamiento. De modo que un sistema logístico será diferente a otro según los procesos que compongan y la maquinaria con la que se lleve a cabo. Por ejemplo, el proceso de reunión puede ser necesario o no, y a su vez se puede realizar manual o mecanizadamente.

La elección de distintos sistemas logísticos permite comparar para un mismo ámbito territorial el coste de obtención del producto deseado según diferentes procesos. En cualquier caso, las características finales del producto de cada sistema logístico deberán quedar claramente establecidas para poder comparar entre sí los distintos sistemas logísticos propuestos, de modo que si el material es transportado en bruto, empacado o triturado en cargadero debe sufrir un tratamiento en central distinto.

A continuación se describen los posibles sistemas logísticos (procesos y maquinaria) de cada tipo de tratamiento o intervención.

### Clareo

Esta intervención se lleva a cabo en masas regulares de coníferas a turno medio o largo para madera, y frondosas de turno largo o muy largo para madera, generalmente en terrenos con pendiente máxima de aprovechamiento del 30%.

Es un sistema que cada vez se aplica menos, como consecuencia del elevado coste de intervención y actualmente se lleva a cabo debido a factores medioambientales más que productivos.

Cuando se lleva a cabo, el sistema más usual es el manual, con motosierra y reunión manual en calles situadas cada 20 m. Menos usual, pero también posible, es el sistema semimecanizado, pues en las calles situadas cada 20 m, el apeo y reunión se realiza mediante una procesadora multitaladora que corta "a hecho" toda la calle de 3 a 3,5 m de anchura la zona entre calles; tanto el apeo como la reunión a la zona de calles se realiza manualmente. En este caso de sistema mecanizado se puede estimar que el 80% del apeo se realizará manualmente y el 20% restante de forma mecanizada.

La saca a cargadero de los árboles enteros se realiza mediante tractor autocargador (agrícola o forestal). Una vez en cargadero, se presentan cuatro opciones de actuación:

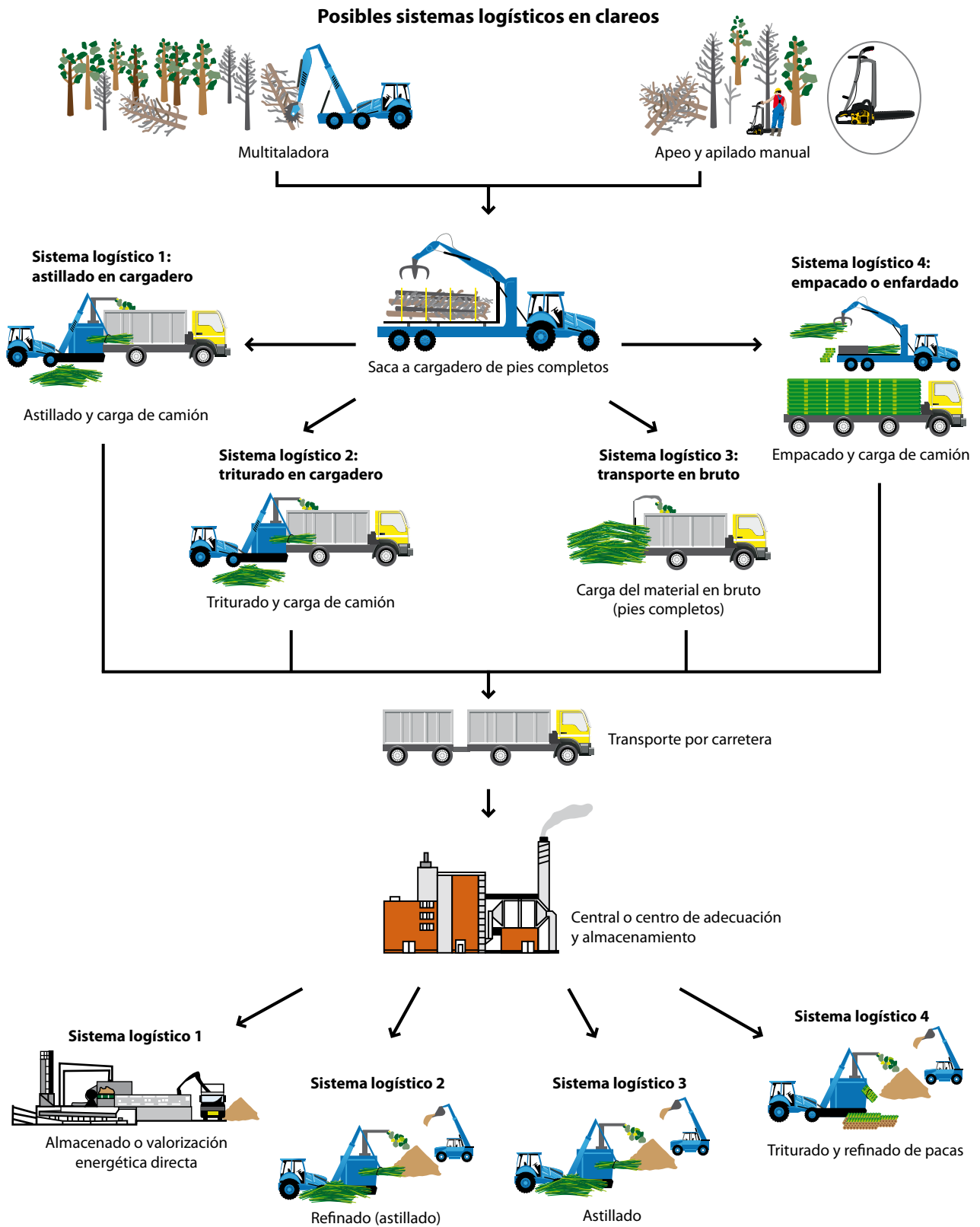
- Astillado en cargadero para su posterior transporte al parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento. Una vez en parque no será necesario un nuevo tratamiento de adecuación, a no ser que aparezca gran cantidad de inertes o el producto final no alcance las dimensiones requeridas.
- Triturado en cargadero y transporte a central o centro de acondicionamiento y almacenamiento donde se llevará a cabo un refinado del material.
- Transporte en bruto de la materia para su posterior astillado en parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento. Esta opción sólo resultará rentable cuando las distancias de transporte sean pequeñas.
- Empacado en cargadero para minimizar el coste de su posterior transporte. Grandes distancias de transporte hacen que esta opción sea la elección óptima. Posteriormente será necesario el triturado de pacas, separación de inertes (alambres, piedras, etc.) y su posterior refinado hasta la obtención del producto final requerido.

El transporte a la central se realiza bien utilizando un camión rígido, tráiler, tren de carretera (camión rígido con remolque) o camión piso móvil (principalmente empleado solo para el transporte de astillados o triturados).

Así pues, en el caso de clareos se plantean cuatro posibles sistemas logísticos, los cuales llevan asociados sus propios procesos y maquinaria como se representa en la siguiente figura.



**Ilustración 1. Esquema de los posibles sistemas logísticos en clareos**



### Claros o resalveos

Principalmente se llevan a cabo en masas regulares de coníferas o masas de frondosas a turno largo para madera o leña.

El sistema más usual es el de aprovechamiento de árbol completo con multitaladora o cosechadora convencional seguido de saca de árboles completos a cargadero con autocargador. Una vez en cargadero se pueden llevar a cabo cuatro procesos diferentes como ya se comentó en el caso de clareos:

- Astillado en cargadero para su posterior transporte al parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento.
- Triturado en cargadero con refinado en parque de central o en centro de tratamiento y almacenamiento donde se refina el material.
- Transporte en bruto de la materia para su posterior astillado en parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento.
- Empacado en cargadero para transporte hasta parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento, donde será triturado y refinado.

Excepcionalmente se puede hacer el apeo manualmente y desde la calle, con un tractor tipo autocargador astillar o triturar, acumulando la astilla en un silo de 25 m<sup>3</sup>.

### Ilustración 2. Astilladora montada sobre tractor autocargador, con silo incorporado



Fuente: Cátedra de Aprovechamientos Forestales. ETSIM

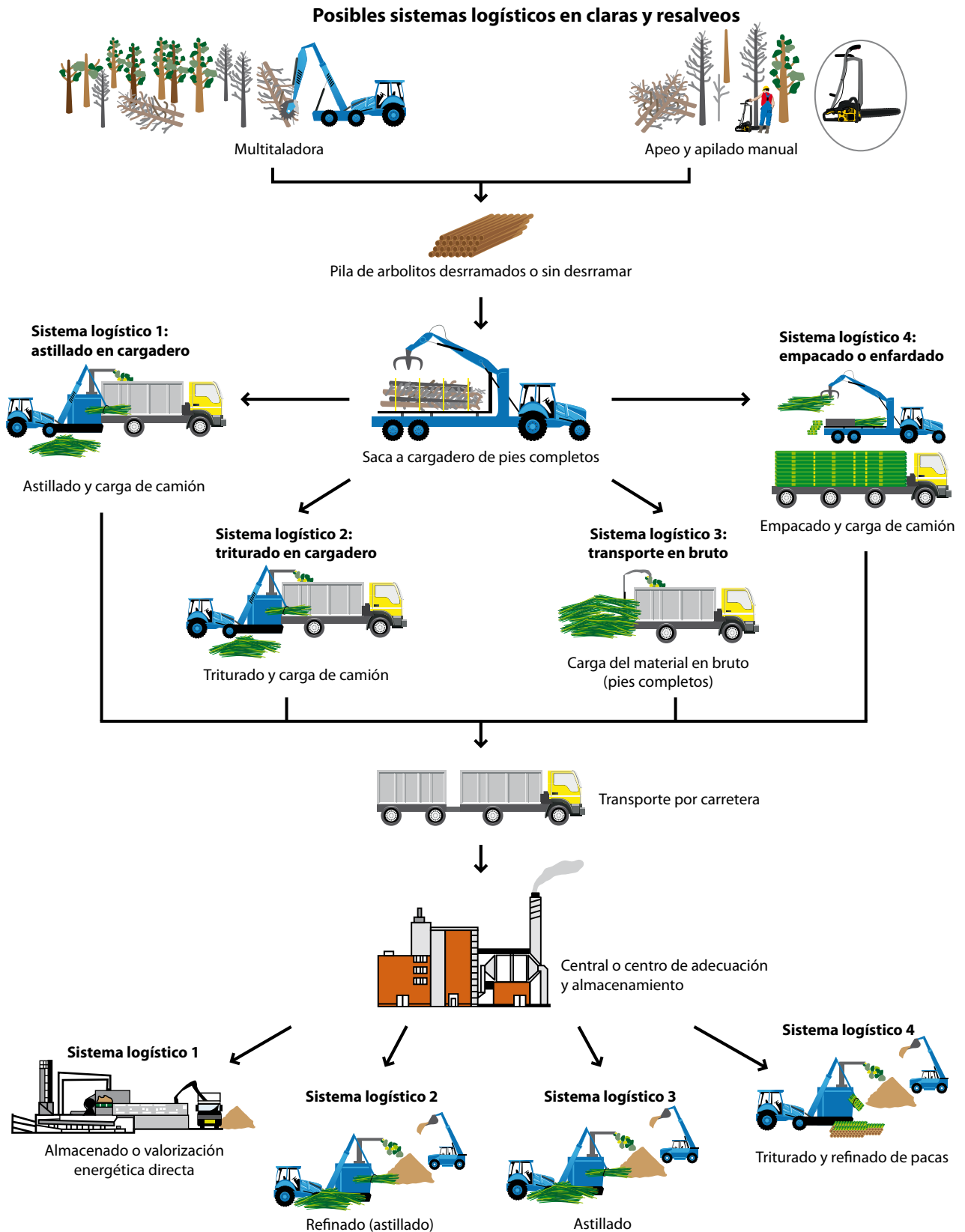
A continuación del cargadero, se realiza el transporte a la central, bien utilizando camión rígido, tráiler, tren de carretera (camión rígido con remolque) o camión piso móvil (adecuado a astillados o triturados).

Según las experiencias realizadas se puede concluir de forma general que:

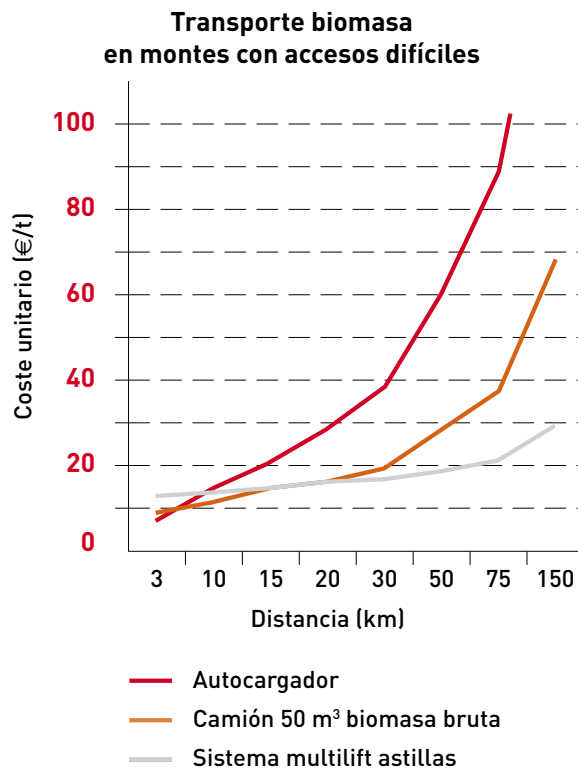
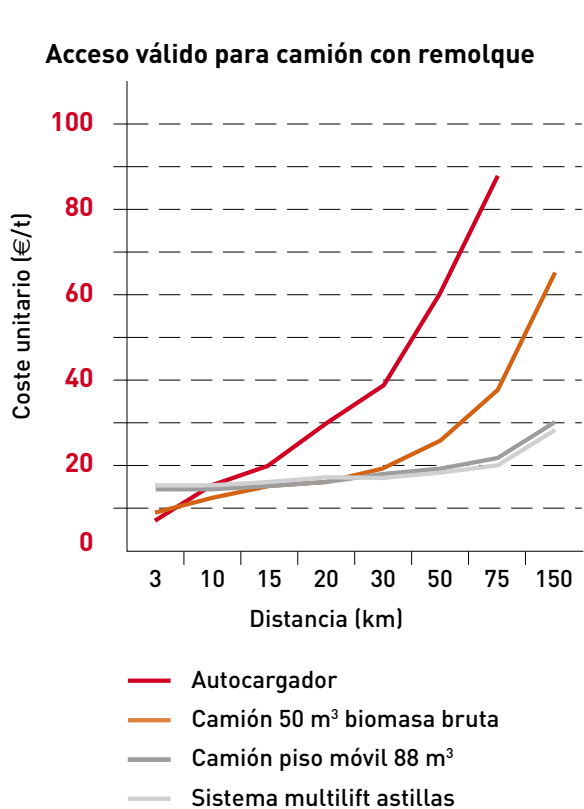
- **En la Cornisa Cantábrica, el 40% del transporte se lleva a cabo con biomasa bruta para su astillado o triturado fijo en planta o terminal logístico.** Esta opción es especialmente recomendable para montes privados de menor tamaño, más frecuentes en zona costera y para distancias menores a 30 km. Otro **40% se empaqueta y se transportan las pacas a planta o terminal logístico** donde serán tratadas hasta alcanzar los requerimientos del producto final. Esta opción es especialmente recomendable para distancias mayores y grandes consumidores a partir de montes privados. El **20%** restante se trata como **astillado o triturado fijo en cargadero y transporte de astillas**, especialmente en montes públicos o de cierto tamaño, más frecuentes en el interior, con cargaderos disponibles en el propio monte o fincas cercanas.
- **En el resto de España, el 80% es astillado o triturado en cargadero.** Los restantes sistemas podrían coexistir, especialmente en el norte y en Huelva, con un 10% cada uno.

La figura de representación de los posibles sistemas logísticos a seguir es similar al del caso de clareos, ya que se está considerando que los árboles completos tienen uso biomásico.

**Ilustración 3. Esquema de los posibles sistemas logísticos en claras y resalveos**



Para la decisión de transportar biomasa bruta o astillas/triturado, se pueden emplear las curvas de costes del gráfico siguiente (Vignote y Tolosana, 2007).



Costes de transporte en montes de acceso apto para camiones con remolque

Costes de astillado y transporte, montes de acceso difícil

Medios de transporte empleados	Montes de acceso complicado		Montes de fácil acceso	
	Biomasa bruta	Astilla	Biomasa bruta	Astilla
Autocargador	<5 km	--	<4 km	--
Camión rígido	5-22 km	>22 km	--	--
Camión <i>multilift</i>	--	--	--	>20 km
Camión piso móvil	--	--	--	>20 km

**Ilustración 4. Astilladora en cargadero**



Fuente: Catálogo OSA

**Ilustración 5. Transporte de los árboles completos**



Fuente: Cátedra de Aprovechamientos Forestales. ETSIM

**Ilustración 6. Astilladora en cargadero**



Fuente: Cátedra de Aprovechamientos Forestales. ETSIM

Por último, para el caso de optarse por el empaclado, el problema es que se debería incrementar el coste de apeo y procesado mecanizados, dado que sería necesario tronzar los pies, lo que supone un incremento de tiempo y de costes. Las referencias a productividad para empaclado de árboles completos son escasas, pero se exponen algunas referidas a restos de corta. Se estima que en el caso de árboles completos el rendimiento debería ser algo superior.

**Ilustración 7. Empacadora en cargadero**



Fuente: Cátedra de Aprovechamientos Forestales. ETSIM

#### Últimas claras y cortas finales en terreno suave

Estos tratamientos se llevan a cabo en coníferas y frondosas en masas regulares, semi-regulares o irregulares para madera excepto choperas.

Las limitaciones de aprovechamiento de las masas son producciones inferiores a 15 t secas/ha y pendientes superiores al 30%.

El sistema más extendido es el de aprovechamiento integrado, es decir, aprovechamiento maderero y

**recolección de ramas y puntas previamente acordonadas** (mejor en cortas mecanizadas –50% de los aprovechamientos– o con motosierra y empleando tractor con rastrillo o peine –50% de los aprovechamientos), **saca con autocargador o tractor agrícola con remolque**. Una vez en cargadero se puede optar por:

- El transporte de la biomasa bruta a la central o centro de adecuación y almacenamiento.
- Astillado en cargadero y transporte de la astilla a la central o centro de almacenamiento.
- Triturado y transporte a la central o centro de almacenamiento donde se refina el material.
- Enfardado o empacado y transporte de las pacas a la central o centro de adecuación y almacenamiento.

Excepcionalmente se puede astillar los restos acordonados desde la calle, con un tractor tipo autocargador con astilladora o trituradora, acumulando la astilla en un silo de 25 m<sup>3</sup>. Aún más excepcional es el empacar los restos acordonados con una empacadora y sacar estas pacas con tractor agrícola o autocargador.

A continuación del cargadero se realiza el transporte a la central, bien utilizando camión rígido, tráiler, tren de carretera (camión rígido con remolque) o camión piso móvil (solo adecuado a astillados o triturados).

En cuanto al acordonado de restos después de la corta manual, según Tolosana *et al.* (2008), una cargadora telescópica con un rastrillo acoplado tiene un rendimiento acordonando restos de una hectárea por jornada, aproximadamente 0,12 ha/hora, rendimiento algo inferior que el de una "grapa" (pala cargadora frontal). Sin embargo, con este apero se recogía un mayor porcentaje de los restos, y sin mezclarlos con tierra, además de complementar el trabajo de la astilladora. Esta máquina puede tirar de un remolque que acompañe a la astilladora y reagrupar los restos para facilitar el trabajo de alimentación de la astilladora.

Rodríguez Bachiller (2005) proporciona como **rendimientos de reunión los de 3 horas/ha con tractor de cadenas de 90-110 CV**, lo que supondría, para una producción de restos en cortas a hecho de eucalipto de 50 t por hectárea y una tasa de aprovechamiento del 75%, 3 horas de trabajo para 37,5 t; es decir, 12,5 t/hora de trabajo. Si se acepta un coste para el tractor con su operario de 40 €/h, ello supondría 3,2 €/t.

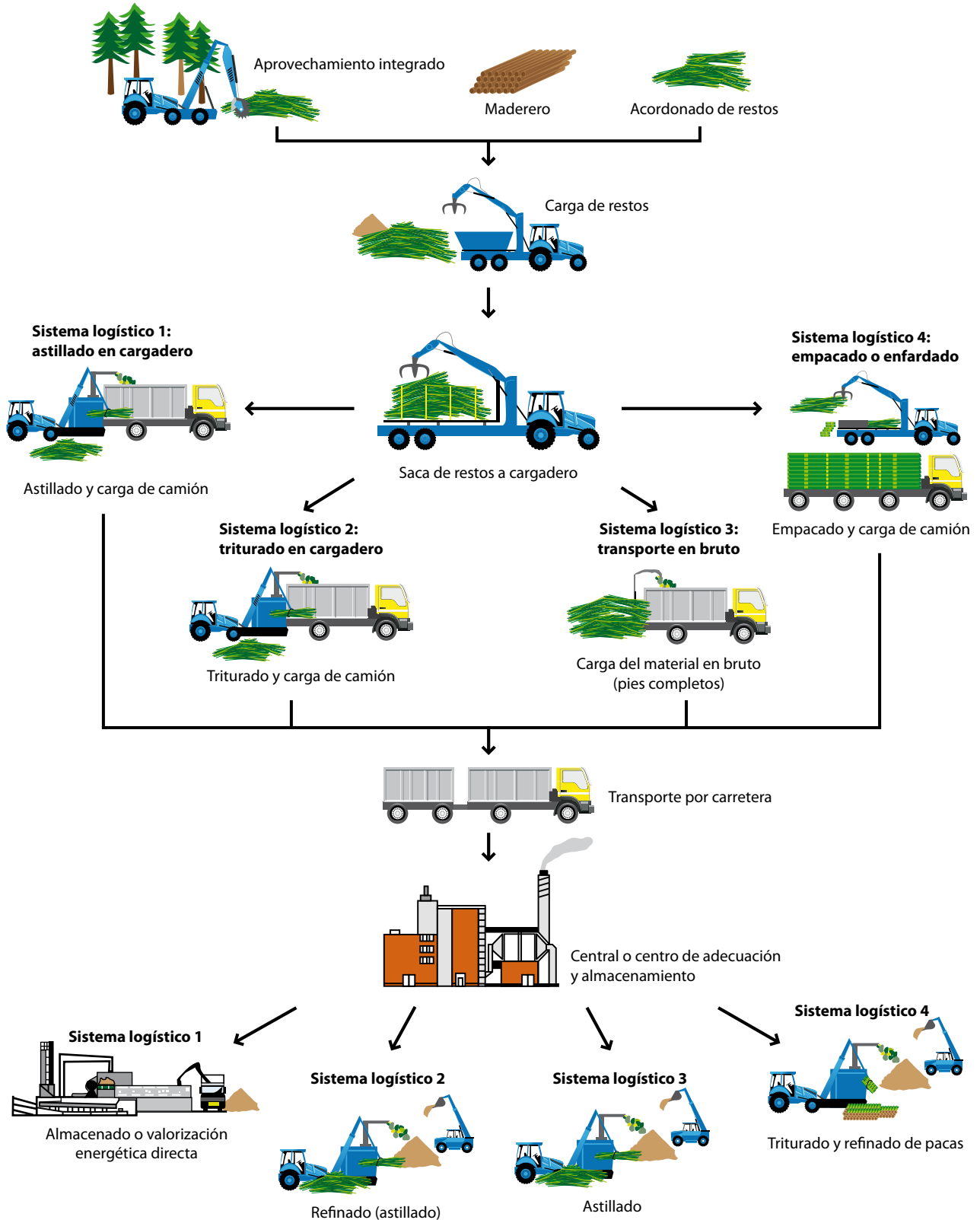
Para los tractores de cadena con apero recogedor que emplea Trabisa, se acepta la equivalencia operativa entre dos tractores reuniendo y la empacadora enfardando los restos. En una experiencia descrita por Navarro (2005) se reportan costes de apilado de restos en empacadoras de entre 2,3 y 3,5 €/t verde.

Respecto a las experiencias existentes se puede concluir que de manera general:

- **En la Cornisa Cantábrica**, el **40% de la biomasa se transporta en bruto** sin tratamiento alguno **para el posterior astillado o triturado fijo en planta** o terminal logístico (es especialmente recomendable para montes privados de menor tamaño, más frecuentes en zona costera, para distancias de menos de 30 km); otro **40% es empacado y se transportan las pacas** a planta o terminal logístico donde son tratadas (especialmente recomendable para distancias mayores y grandes consumidores a partir de montes privados); mientras que el 20% restante es astillado o triturado en cargadero y transporte de astillas (especialmente en montes públicos o de cierto tamaño, más frecuentes en el interior, con cargaderos disponibles en el propio monte o fincas cercanas).
- **En el resto de España**, en el **80% de los casos el material es astillado o triturado en cargadero** (los restantes sistemas podrían coexistir, especialmente en el norte y en Huelva, con un 10% cada uno).

**Ilustración 8. Esquema de los posibles sistemas logísticos en últimas claras y cortas finales en terreno suave**

**Posibles sistemas logísticos en últimas claras y cortas finales en terreno suave**



### Últimas claras y cortas finales en pendiente

En este caso se hace referencia especial a las masas de coníferas de crecimiento rápido y eucalipto en montes privados de la Cornisa Cantábrica, siempre que la producción sea superior a 15 t secas/ha, y las pendientes del terreno se encuentren entre el 30 y 75%, cuando la elaboración sea mecanizada.

En este caso el sistema de aprovechamiento más frecuente es el de **corta con motosierra**, seguida de **desembosque por cable de árboles completos** hasta pista. **Elaboración mecanizada en pista y amontonado de biomasa**. Una vez en pista se puede optar por los tres sistemas comentados anteriormente:

- El transporte de la biomasa bruta a la central o centro de adecuación y almacenamiento.
- Astillado en cargadero y transporte de la astilla a la central o centro de almacenamiento.
- Triturado en cargadero y transporte hasta parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento donde se refina el material.
- Enfardado o empacado y transporte de las pacas a la central o centro de adecuación y almacenamiento.
- El transporte a la central se realiza bien utilizando camión rígido, tráiler, tren de carretera (camión rígido con remolque) o camión piso móvil (solo adecuado a astillados o triturados).

El astillado en cargadero requiere un desembosque previo de las ramas y puntas hasta cargadero de monte, que se podría realizar con el mismo camión de monte o todo-terreno que se emplea para transporte de la madera. Como media, se estima que los rendimientos, dada la mayor capacidad de los camiones con respecto a la de un autocargador y la mayor concentración de los restos a pie de trocha o pista temporal, serían los que se han indicado para el autocargador incrementados en un 50%.

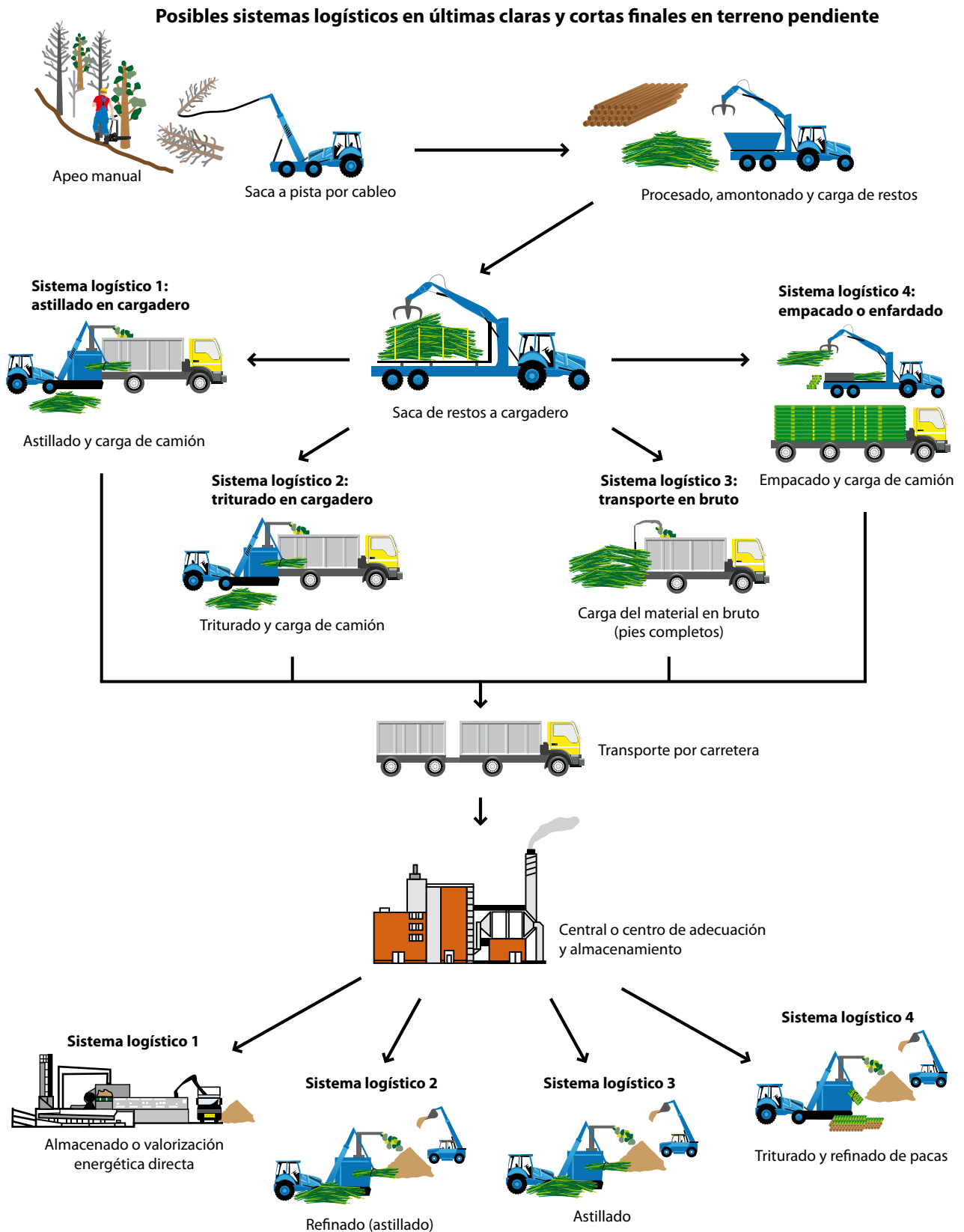
### Ilustración 9. Procesado en cargadero en zonas de pendiente



Fuente: Cátedra de Aprovechamientos Forestales. ETSIM



**Ilustración 10. Esquema de los posibles sistemas logísticos en últimas claras y cortas finales en terreno en pendiente**



**Cortas finales en choperas**

Se excluyen de esta opción las choperas a turno corto para madera.

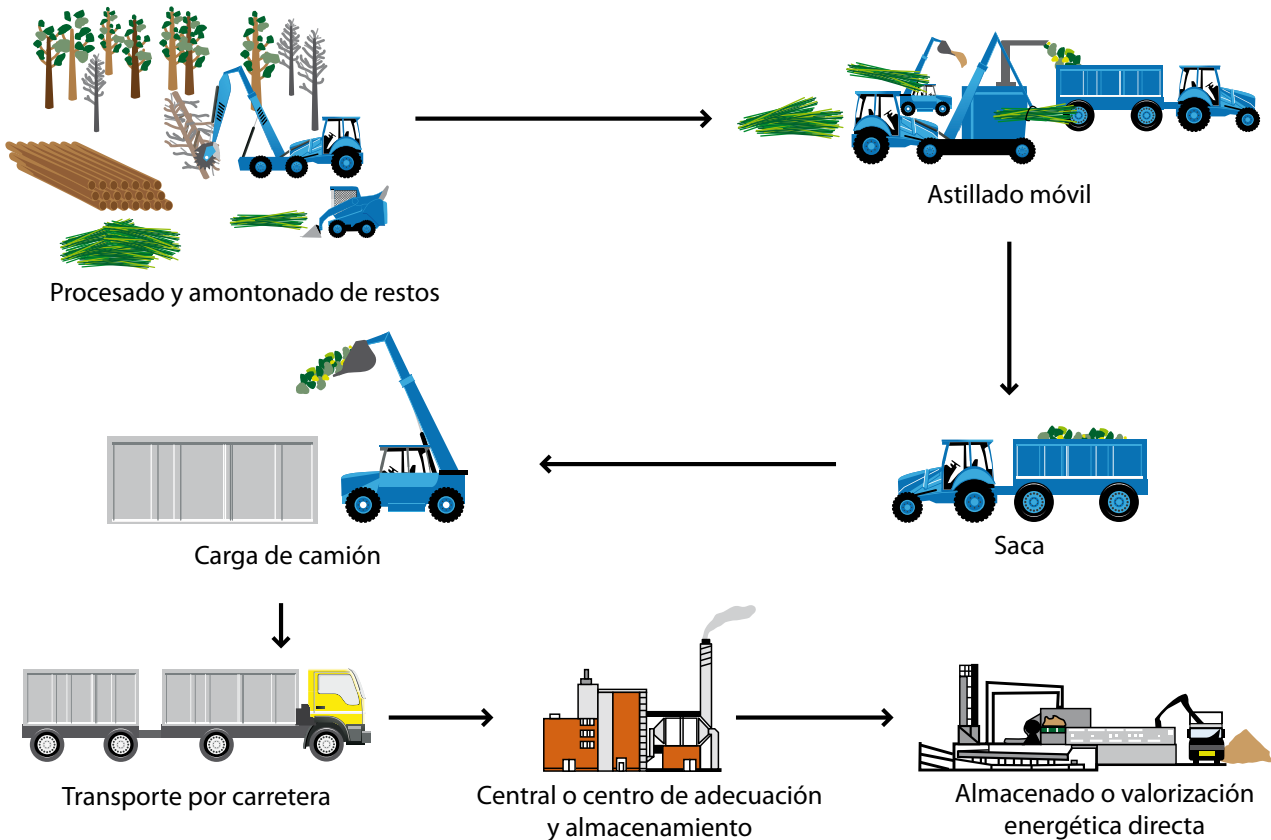
Las plantaciones de chopo generalmente se encuentran ubicadas en terrenos de pendiente suave, por tanto el sistema de aprovechamiento de los restos adecuado se basa en apilado y acordonado de los restos mediante la propia cosechadora que apea la masa en el caso de aprovechamiento mecanizado, o en caso de apeo manual con motosierra reunión **con pala cargadora o cargadora telescópica con apero especial para el apilado de restos incluyendo el puntal** (hasta 14 cm en punta delgada), seguida de un **astillado móvil de los restos acordonados con astilladora sobre autocargador o tractor agrícola**, y de la **extracción de las astillas**

**con tractor agrícola con remolque basculante o de descarga trasera hasta cargadero**, descarga en pila y **posterior carga con cargadora telescópica en transporte de alta capacidad.**

Excepcionalmente se podría empaquetar los restos acordonados con una empacadora y sacar estas pacas con tractor agrícola o autocargador.

Hay que tener en cuenta que este tipo de sistemas de trabajo presenta elevados costes fijos, debidos al transporte de máquinas, lo que favorece a las choperas de cierto tamaño. Este hecho, junto a la necesidad de tener a la astilladora activa, favorece también a las empresas o industrias que gestionan un buen número de choperas.

**Ilustración 11. Esquema del sistema logístico en cortas finales de chopo**



En las siguientes tablas se presenta un resumen de los distintos posibles sistemas logísticos así como la maquinaria a asociada a cada uno de ellos:

**Tabla 8. Sistemas logísticos para el aprovechamiento de biomasa procedente de restos de tratamientos y cortas en masas forestales existentes**

Sistema Logístico									Maquinaria empleada												
ID sistem. logíst.	Descrip. general	Apeo	Reunión	Tratam. en monte	Saca	Tratam. cargad.	Transp.	Tratam. en central	Apeo	Reunión	Tratam. en monte	Saca	Tratam. cargad.	Tratam. en central							
1.1.1.1	Transp. en bruto	Motosier.	Manual		Tractor		Camión, (rígido, tráiler, con remolque o piso móvil)	Astillado		Peón auxiliar		Tractor agrícola		Astillad. parque + tractor parque							
1.1.1.2					Autocarg.							Autocarg.									
1.1.2.1			Tractor recoged.		Tractor							Tractor agrícola									
1.1.2.2					Autocarg.							Autocarg.									
1.2.1.1		Motosier. 80% y Multital. 20%	Manual							Tractor		Astillado			Camión, (rígido, tráiler, con remolque o piso móvil)		Motosier. 80% y Multital. 20%	Peón auxiliar		Tractor agrícola	
1.2.1.2										Autocarg.										Autocarg.	
1.2.2.1			Tractor recoged.							Tractor								Tractor agrícola			
1.2.2.2										Autocarg.								Autocarg.			
2.1.1.1	Astillado en cargad.	Motosier.	Manual		Tractor	Astillado	Camión, (rígido, tráiler, con remolque o piso móvil)		Motosier.	Peón auxiliar		Tractor agrícola	Astillado cargad.								
2.1.1.2					Autocarg.							Autocarg.									
2.1.2.1			Tractor recoged.							Tractor		Tractor agrícola									
2.1.2.2										Autocarg.		Autocarg.									
2.2.1.1		Motosier. 80% y Cosech. 20%	Manual						Tractor	Astillado		Camión, (rígido, tráiler, con remolque o piso móvil)			Motosier. 80% y Multital. 20%	Peón auxiliar		Tractor agrícola			
2.2.1.2									Autocarg.									Autocarg.			
2.2.2.1			Tractorc.						Tractor							Tractor agrícola					
2.2.2.2									Autocarg.							Autocarg.					

(Continuación)

Sistema Logístico									Maquinaria empleada					
ID sistem. logíst.	Descrip. general	Apeo	Reunión	Tratam. en monte	Saca	Tratam. cargad.	Transp.	Tratam. en central	Apeo	Reunión	Tratam. en monte	Saca	Tratam. cargad.	Tratam. en central
3.1.1.1	Empac. en cargad.	Motosier.	Manual		Tractor	Empacado	Camión, (rígido, tráiler, con remolque o piso móvil)	Triturado		Peón auxiliar		Tractor agrícola	Empac. cargad.	Triturad. parque + tractor parque
3.1.1.2					Autocarg.							Autocarg.		
3.1.2.1			Tractor recoged.		Tractor							Tractor agrícola		
3.1.2.2					Autocarg.							Autocarg.		
3.2.1.1		Motosier. 80% y Cosech. 20%	Manual		Tractor					Tractor agrícola				
3.2.1.2					Autocarg.					Autocarg.				
3.2.2.1			Tractor recoged.		Tractor					Tractor agrícola				
3.2.2.2					Autocarg.					Autocarg.				
4.1.1.1	Triturad. en cargad.	Motosier.	Manual		Tractor	Triturado	Camión, (rígido, tráiler, con remolque o piso móvil)	Refinado (astillado)	Peón auxiliar		Tractor agrícola	Triturad. en cargad.		
4.1.1.2					Autocarg.						Autocarg.			
4.1.2.1			Tractor recoged.		Tractor						Tractor agrícola			
4.1.2.2					Autocarg.						Autocarg.			
4.2.1.1		Motosier. 80% y Cosech. 20%	Manual		Tractor				Tractor agrícola					
4.2.1.2					Autocarg.				Autocarg.					
4.2.2.1			Tractorc.		Tractor				Tractor agrícola					
4.2.2.2					Autocarg.				Autocarg.					
5.1	Astillado móvil chopo			Astillado móvil	Tractor					Astillad. móvil	Tractor agrícola			
5.2					Autocarg.						Autocarg.			

**Tabla 9. Sistemas logísticos para el aprovechamiento de árboles completos procedentes de masas existentes**

Sistema logístico							Maquinaria empleada			
Sistem. logíst.	Descripc. general	Apeo	Saca	Tratam. cargadero	Transp.	Tratam. central	Apeo	Saca	Cargadero	Central
6.1.1	Transp. en bruto	Cosechad. 90% Manual 10%	Tractor		Camión (rígido, tráiler, con remolque)	Astillado	Cosechadora-Multitaladora 90% Motosierra 10%	Tractor agrícola		Astillad. parque +tractor parque
6.1.2			Autocargad.					Autocargad.		
6.2.1	Astillado cargadero	Cosechad. 90% Manual 10%	Tractor	Astillado	Camión (tráiler, con remolque o piso móvil)		Cosechadora-Multitaladora 90% Motosierra 10%	Tractor agrícola	Astilladora cargadero	
6.2.2			Autocargad.					Autocargad.		
6.3.1	Empacado cargadero	Cosechad. 90% Manual 10%	Tractor	Empacado	Camión (rígido, tráiler, con remolque)	Astillado	Cosechadora-Multitaladora 90% Motosierra 10%	Tractor agrícola	Empacad. cargadero	Astillad. parque +tractor parque
6.3.2			Autocargad.					Autocargad.		
6.4.1	Triturado cargadero	Cosechad. 90% Manual 10%	Tractor	Triturado	Camión (tráiler, con remolque o piso móvil)		Cosechadora-Multitaladora 90% Motosierra 10%	Tractor agrícola	Triturad. cargadero	
6.4.2			Autocargad.					Autocargad.		

La herramienta informática permite seleccionar hasta tres sistemas logísticos diferentes para el aprovechamiento de restos, un sistema logístico para el caso concreto de las especies de género *Populus* y un sistema logístico a aplicar en el caso de árbol completo.

Además, se completa la selección del sistema logístico definiendo el tipo de medio mediante el cual se realiza el transporte hasta central, permitiendo seleccionar entre: camión rígido, camión con remolque, tráiler y piso móvil.

Para finalizar además se permite seleccionar si el transporte se desea realizar según la legislación de carga nacional europea, lo cual permite la comparación entre la reducción de costes entre una u otra legislación.

### 3.1.1.4 Cálculo de costes de obtención de biomasa

El cálculo de los costes se va a llevar a cabo mediante la estimación de las distintas actuaciones necesarias para la obtención de la biomasa. Así pues se van a distinguir los siguientes costes:

- A. Coste de aprovechamiento**, el cual incluye el coste de apeo y de reunión del material.
- B. Coste de adecuación del material** hasta los requerimientos finales. Engloba todos aquellos procesos dirigidos a la transformación del material en bruto (empacado, triturado, astillado) ya sea en campo, cargadero o en el parque de la central o centro de tratamiento y almacenamiento.
- C. Coste de saca** hasta cargadero donde se carga el camión con el que se realiza el transporte por vías asfaltadas.
- D. Coste de transporte**. Abarca el transporte desde el cargadero por vías asfaltadas hasta el lugar donde se encuentra ubicada la central o centro de almacenado.

Se ha hecho la distinción anterior, sin tener en cuenta la cadena de los distintos procesos a lo largo del tiempo debido, ya que en el coste de adecuación del material existen procesos que se llevan a cabo en central tras el transporte o en cargadero tras la saca, ya que mientras que los costes de aprovechamiento y adecuación son fijos para cada píxel independientemente de la situación del píxel, los de saca y transporte se calculan mediante la herramienta SIG a partir de su ubicación geográfica concreta.

El cálculo de los dos primeros costes se lleva a cabo de forma directa a partir del *coste horario de la maquinaria (€/h)* empleada en cada proceso (en función del sistema logístico elegido) y de su *rendimiento (t/h)*. Sin embargo, a la hora del cálculo de costes de saca y transporte se tienen en cuenta, además del coste horario del medio empleado, según el sistema logístico seleccionado, otros factores como son la *capacidad de carga, tiempos de carga y descarga del material* (dependientes de la capacidad de carga y del tipo de material a cargar), de la *velocidad de saca y transporte* (se ha estimado una velocidad media de cada tipo de vía) y de la *distancia de transporte* (estimada por la aplicación SIG).

### 3.1.1.4.1 Coste horario de la maquinaria a emplear

Los principales parámetros que componen el coste horario para cada tipo de biomasa son:

- **Precio de adquisición** de la máquina (€).
- **Precio de reventa** (%). Se ha tomado como precio de reventa el 20% del precio de adquisición (dado el número de horas útiles que se han establecido) de toda la maquinaria, salvo en motosierras donde se ha considerado un 10%.
- **Subvención** (%). Se ha supuesto una subvención del 25% en la maquinaria. Ahora bien en la aplicación informática se proporciona opción de variar dicho valor.
- **Coste de seguros e impuestos** (€). Se ha supuesto que anualmente es el 5% del coste de compra.
- **Gasto en combustible** (l/h). Como norma general se puede considerar un consumo de 0,12 l por la potencia de la máquina en CV.
- **Gasto en consumibles** (€/h). Se considera como consumibles lubricantes, neumáticos, cuchillas, contracuchillas, martillos, etc. que puedan sufrir deterioro durante la vida útil de la máquina y que deban ser sustituidos. Para el caso de lubricantes se puede considerar que es proporcional al gasto de combustible. Se ha supuesto el 4,5% del gasto en combustible.

- **Coste de combustible (€/l)**. Se ha distinguido entre gasolina y gasóleo dando opción de variar cada uno de ellos.
- **Reparaciones y mantenimiento (%)**. Las reparaciones son variables, aumentando con la edad de la máquina. Se ha partido de la hipótesis de que el gasto total en reparaciones a lo largo de la vida de la máquina es del 25% del coste de adquisición.
- **Costes fijos de transporte (€/h) al lugar del aprovechamiento**. A estos costes de la máquina propiamente dicha debe añadirse los costes de transportar la máquina a la explotación forestal, que depende del propio tamaño de la explotación, pero se ha supuesto un valor medio.
- **Tipo de interés (%)**. Se ha considerado a efectos de cálculo un tipo de interés del 4%, aunque dicho valor podrá ser variado en estudios posteriores.
- **Vida útil de la maquinaria (horas)**.
- **Horas anuales de trabajo (horas)**.
- **Mano de obra (€/h)**. Se han dado unos valores predeterminados de mano de obra en función de la categoría laboral del operario. Este valor podrá modificarse en futuros estudios. Los valores predeterminados son los que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 10. Coste de mano de obra**

Categoría laboral del operario	(€/h)
<b>Peón especializado motosierra</b>	16,17
<b>Peón auxiliar</b>	13,86
<b>Jefe de cuadrilla</b>	15,87
<b>Maquinista</b>	19,55

Se ha considerado un 14,29% (Fuente: Tarifas TRAGSA) del coste del jefe de cuadrilla en cada uno de los distintos operarios excepto en el caso de transporte.

Los parámetros marcados en **negrita** son aquellos que podrán variar en la herramienta informática en futuros cálculos.

A continuación se presentan los costes horarios de las distintas maquinarias consideradas, calculados a partir de los parámetros definidos anteriormente. En el ANEXO III. Parámetros básicos de cálculo se describe detalladamente el cálculo

(Continuación)

de los costes horarios, aunque es preciso definir la fórmula de cálculo:

Coste horario de la maquinaria (€/h) =  $[Pa \cdot (1 - Sub - Re) / Vu] + [[Pa \cdot (1 - Sub - Re)] \cdot Ti \cdot (Vu / HAT + 1) / (2 \cdot Vu)] + Se \cdot [Pa / HAT] + Cc \cdot Pc + [MR\% \cdot (Pa / Vu) + OC + MO + C \text{ fijo explotac}]$

Siendo:

VU, vida útil (h).

Pa, precio de adquisición de la máquina.

Sub, subvenciones. Valor predefinido del 25%.

Re, precio de reventa (€).

Ti, tipo de de interés. Valor predefinido del 4%.

HAT, horas anuales de trabajo (h).

MO: mano de obra.

Cc: consumo de combustible (l/h).

Ce: coste fijo de explotación (€/h).

MR%, mantenimiento y reparaciones. Valor predefinido del 25%.

OC, otros combustibles (€/h).

Cfijo explotac, coste fijo de explotación (incluye coste de transporte de la maquinaria al lugar de trabajo).

Así pues, los costes horarios de las distintas maquinarias definidas y según los parámetros predefinidos establecidos son los que se presentan a continuación.

**Tabla 11. Costes horarios de la maquinaria empleada para el aprovechamiento de masas forestales existentes**

Maquinaria	Coste horario (€/h)
Motosierra	20,56
Cosechadora	83,44
Multitaladora	78,68
Tractor recogedor	40,41
Tractor agrícola	41,06
Autocargador	76,25

Maquinaria	Coste horario (€/h)
Astilladora cargadero	137,77
Trituradora cargadero	92,41
Empacadora	109,17
Astilladora parque	86,53
Trituradora parque	110,54
Grúa cargadora parque (tractor cargador)	57,97
Astilladora móvil	137,77
Camión rígido	68,165
Tráiler	81,922
Camión remolque	71,054
Piso móvil	82,414

Se ha considerado un coste de combustible de 0,9 €/l de gasóleo y 0,86 €/l de gasolina.

La herramienta informática permite la variación de los costes horarios descritos a partir de la variación de los parámetros marcados anteriormente en negrita: precio de adquisición (€), subvenciones (%), coste de combustible (€/l), reparaciones y mantenimiento (%), costes fijos de transporte (€/h), tipo de interés (%) y mano de obra (€/h).

### 3.1.1.4.2 Rendimientos de trabajo

El rendimiento de las distintas máquinas se ha obtenido de diferentes experiencias de estudio de tiempos y rendimientos de las operaciones. Estos rendimientos (asociados a cada proceso y sistema logístico), se evalúan en función del tiempo productivo de las máquinas y sus valores son los siguientes:

**Tabla 12. Rendimientos de la maquinaria a emplear en cada operación en masas forestales existentes**

Operaciones	Maquinaria	Productividad (Th/h)	Fuente
Apeo	Manual (solo apeo)	$60/(6,37+0,45/V)^*$	FAO
	Multitaladora (solo apeo)	Para $8 < d < 15$ $0,049 \cdot d^2,174$	Tolosana <i>et al.</i>
		Para $d > 15$ $1,45 \cdot d - 15,2$	
	Cosechadora	$1,17 \cdot d - 6,5$	Tolosana <i>et al.</i>
Astillado saca calle	Astilladora sobre autocargador	7,14	Tolosana <i>et al.</i>
Empacado saca calle	Empacadora	3,68	Tolosana <i>et al.</i>
Saca pacas	Tractor agrícola	$19,51+5C+MO/1.200$	
	Autocargador	$25,08+30C+MO/1.800$	
Reunión manual (clareos)	Manual	1,67*	FAO
Reunión mecanizada	Tractor recogedor	0,12 ha/h (también se puede expresar como $V_{corta} \cdot 0,12$ )	Tolosana
Saca a cargadero	Tractor agrícola	$-0,01Dd+10,06$	Tolosana <i>et al.</i>
	Autocargador	$-0,014 \cdot Dd + 14,37$	Tolosana <i>et al.</i>
Transporte árbol entero	Camión rígido	$6,1/(0,42+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>
	Camión remolque	$14,4/(0,83+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>
	Tráiler	$10,3/(0,7+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>
Transporte residuo entero	Autocargador	$5/(0,15+\sum Ti/20)$	Tolosana <i>et al.</i>
	Camión rígido	$7,2/(0,47+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>
	Camión remolque	$14,4/(0,83+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>
	Trailer	$10,3/(0,7+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>
Astillado cargadero	Astilladora	16,5	Tolosana <i>et al.</i>
	Trituradora	31,6	Tolosana <i>et al.</i>



(Continuación)

Operaciones	Maquinaria	Productividad (Th/h)	Fuente	
Transporte astilla	Camión rígido	$15,75/(0,27+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>	
	Camión remolque	$22/(0,42+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>	
	Tráiler	$22/(0,33+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>	
	Piso móvil	$24,5/(0,42+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>	
Empacado cargadero	Empacadora	10	Tolosana <i>et al.</i>	
Transporte pacas	Camión rígido	$17/(0,32+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>	
	Camión remolque	$22/(0,42+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>	
	Tráiler	$22/(0,38+\sum Ti/vi)$	Tolosana <i>et al.</i>	
Astillado residuo en parque	Astilladora	Restos	30	Tolosana <i>et al.</i>
		Árbol completo	35	
	Trituradora	Restos	20	Tolosana <i>et al.</i>
		Árbol completo	25	
Astillado de pacas en parque central	Astilladora parque	40	Tolosana <i>et al.</i>	
	Trituradora parque	30	Tolosana <i>et al.</i>	
Refinado parque	Astilladora	40	Tolosana <i>et al.</i>	
	Trituradora	35	Tolosana <i>et al.</i>	

\*Se ha considerado unas pérdidas de rendimiento por razones fisiográficas, motivación, etc. del 50%

Se supone siempre que el transporte es de la biomasa seca, por tanto, los rendimientos de la biomasa húmeda experimentan una pérdida de productividad siendo el rendimiento de trabajo para una biomasa de una humedad X de  $[\text{rendimiento (Th/h)} \cdot (1-X)]$ .

Siendo,

- V, el volumen medio del arbolado.
- d, el diámetro normal medio del arbolado.
- C, coste combustible.
- MO, coste de la mano de obra (salario anual).
- Dd, la distancia de desembosque (sac a) en m (ya está incorporada la ida y la vuelta).

Dado que gran parte de las pistas no están incorporadas en la red de carreteras, se va establecer que esta distancia varía según la escabrosidad del terreno y la pendiente (coeficiente de movilidad Cm), pudiéndose estimar en  $350 \cdot Cm$ . Este coeficiente varía con la pendiente según se expresa a continuación:

**Tabla 13. Coeficiente de movilidad de la maquinaria en función de la pendiente del terreno en masas forestales existentes**

Pendiente (%)	Cm
<12,5	1
12,5-30	1,4
>30	2

$T_i$ , la distancia de transporte ida y vuelta por la carretera  $i$ .

$V_i$ , la velocidad media de la carretera  $i$ .

A efectos de cálculo en la herramienta informática se toma como distancia de desembosque y de transporte aquella resultante del cálculo de la herramienta SIG. De igual manera la velocidad será proporcionada por la herramienta SIG en función del tipo de vía y de la pendiente del terreno en el caso de pistas no digitalizadas.

Además el rendimiento de reunión se ve afectado con la pendiente, según la siguiente fórmula:

$$R_p = R_o / [1 + (10 \cdot C_m^2 - 5C_m - 5) / 100]$$

Siendo,

$R_p$ , el rendimiento en terrenos de pendiente  $p$ .

$R_o$ , el rendimiento expresado en la tabla anterior.

$C_m$ , coeficiente de movilidad definido en la tabla anterior, siendo el caso de pendientes superiores al 30% sustituido por un sistema logístico particular consistente en reunión mediante un tractor agrícola con cable y un rendimiento dependiente del diámetro de los árboles:  $R_h$  (th/h) =  $0,104 \cdot d^{1,7}$  th/h.

A continuación se presentan ejemplos de rendimientos para distintas especies por tratamiento y para las distintas fracciones de biomasa consideradas (restos y pies con diámetro inferior a 7 cm, restos y pies con diámetro inferior a 20 cm y árbol completo). En el ANEXO III. Parámetros básicos de cálculo se presentan las tablas de cálculo definidas.

**Tabla 14. Ejemplos de rendimientos calculados para el aprovechamiento de biomasa en masas forestales existentes**

ID	Especie	Propiedad	Tratamiento	Diámetro medio	Apeo	Reunión	Tratamiento en cargadero			Tratamiento en central		Saca: Carga (th)		
							Tritur. cargad.	Astillado cargad.	Empac. cargad.	Astillado en parque	Tritur. parque	Carga nacional (th)	Tiempo carga descarga (h)	
<b>Rendimiento (th/h) para restos y pies de diámetro inferior a 7 cm</b>														
Apeo manual. Reunión manual. Saca con tractor agrícola del material en bruto. Transporte hasta central o parque de almacenamiento. Adecuación del material en central mediante astillado	1111	<i>Pinus sylvestris</i>	Pu/Pr	clareo	7	1,29	1,67				30,00		2,28	0,45
			Pu/Pr	1clara	24						30,00		2,28	0,45
			Pu/Pr	2clara	33						30,00		2,28	0,45
			Pu/Pr	corta final1	43						30,00		2,28	0,45
			Pu/Pr	corta final2	47						30,00		2,28	0,45
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Pu/Pr	corta final1	18						30,00		2,28	0,45	
		Pu/Pr	corta final2	19						30,00		2,28	0,45	
		Pu/Pr	corta final3	19						30,00		2,28	0,45	
<i>Quercus ilex</i>	Pu/Pr	resalveo	10	2,32	1,67				30,00		2,28	0,45		
Apeo manual. Reunión manual. Saca con autocargador del material en bruto. Triturado en cargadero. Transporte hasta central o parque de almacenamiento. Adecuación del material en central mediante refinado	4112	<i>Pinus sylvestris</i>	Pu/Pr	clareo	7	1,29	1,67	31,60			40,00		4,53	0,56
			Pu/Pr	1clara	24			31,60			40,00		4,53	0,56
			Pu/Pr	2clara	33			31,60			40,00		4,53	0,56
			Pu/Pr	corta final1	43			31,60			40,00		4,53	0,56
			Pu/Pr	corta final2	47			31,60			40,00		4,53	0,56
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Pu/Pr	corta final1	18			31,6			40		4,53	0,56	
		Pu/Pr	corta final2	19			31,6			40		4,53	0,56	
		Pu/Pr	corta final3	19			31,6			40		4,53	0,56	
<i>Quercus ilex</i>	Pu	resalveo	10	2,32	1,67	31,60			40,00		4,53	0,56		

(Continuación)

ID	Especie	Propiedad	Tratamiento	Diámetro medio	Apeo	Reunión	Tratamiento en cargadero			Tratamiento en central		Saca: Carga (th)	
							Tritur. cargad.	Astillado cargad.	Empac. cargad.	Astillado en parque	Tritur. parque	Carga nacional (th)	Tiempo carga descarga (h)

Rendimiento (th/h) para restos y pies de diámetro inferior a 20 cm

1111	<i>Pinus sylvestris</i>	Pu/Pr	clareo	7	1,29	1,67				30,00		2,34	0,69
		Pu/Pr	1clara	24	2,93	1,67				30,00		2,34	0,69
		Pu/Pr	2clara	33						30,00		2,34	0,69
		Pu/Pr	corta final1	43						30,00		2,34	0,69
		Pu/Pr	corta final2	47						30,00		2,34	0,69
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Pu/Pr	corta final1	18						30,00		2,34	0,69
		Pu/Pr	corta final2	19						30,00		2,34	0,69
		Pu/Pr	corta final3	19						30,00		2,34	0,69
	<i>Quercus ilex</i>	Pu/Pr	resalveo	10	2,32	1,67				30,00		2,34	0,69
	4112	<i>Pinus sylvestris</i>	Pu/Pr	clareo	7	1,29	1,67	31,60			40,00		4,65
Pu/Pr			1clara	24	2,93	1,67	31,60			40,00		4,65	0,86
Pu/Pr			2clara	33			31,60			40,00		4,65	0,86
Pu/Pr			corta final1	43			31,60			40,00		4,65	0,86
Pu/Pr			corta final2	47			31,60			40,00		4,65	0,86
<i>Eucalyptus globulus</i>		Pu/Pr	corta final1	18			31,60			40,00		4,65	0,86
		Pu/Pr	corta final2	19			31,60			40,00		4,65	0,86
		Pu/Pr	corta final3	19			31,60			40,00		4,65	0,86
<i>Quercus ilex</i>		Pu	resalveo	10	2,32	1,67	31,60			40,00		4,65	0,86

(Continuación)

ID	Especie	Propiedad	Tratamiento	Diámetro medio	Apeo	Reunión	Tratamiento en cargadero			Tratamiento en central		Saca: Carga (th)	
							Tritur. cargad.	Astillado cargad.	Empac. cargad.	Astillado en parque	Tritur. parque	Carga nacional (th)	Tiempo carga descarga (h)

Rendimiento (th/h) para árbol completo

Apeo árbol completo, 10% motosierra y 90% cosechadora, saca con tractor, transporte en bruto y astillado en central	611	<i>Pinus sylvestris</i>	Pu/Pr	clareo	7	1,37				35,00		2,55	0,75
			Pu/Pr	1clara	24	18,69				35,00		2,55	0,75
			Pu/Pr	2clara	33	31,09				35,00		2,55	0,75
			Pu/Pr	corta final1	43	44,93				35,00		2,55	0,75
			Pu/Pr	corta final2	47	50,49				35,00		2,55	0,75
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Pu/Pr	corta final1	18	10,47				35,00		2,55	0,75	
		Pu/Pr	corta final2	19	11,84				35,00		2,55	0,75	
		Pu/Pr	corta final3	19	11,84				35,00		2,55	0,75	
<i>Quercus ilex</i>	Pu/Pr	resalveo	10	6,39				35,00		2,55	0,75		
Apeo árbol completo, 10% motosierra y 90% cosechadora, saca con autocargador, trituradora en cargadero, transporte y astillado en central	632	<i>Pinus sylvestris</i>	Pu/Pr	clareo	7	1,37		31,60		40,00		5,10	0,94
			Pu/Pr	1clara	24	18,69		31,60		40,00		5,10	0,94
			Pu/Pr	2clara	33	31,09		31,60		40,00		5,10	0,94
			Pu/Pr	corta final1	43	44,93		31,60		40,00		5,10	0,94
			Pu/Pr	corta final2	47	50,49		31,60		40,00		5,10	0,94
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Pu/Pr	corta final1	18	10,47			31,60		40,00		5,10	0,94
		Pu/Pr	corta final2	19	11,84			31,60		40,00		5,10	0,94
		Pu/Pr	corta final3	19	11,84			31,60		40,00		5,10	0,94
<i>Quercus ilex</i>	Pu/Pr	resalveo	10	6,39			31,60		40,00		5,10	0,94	

### 3.1.1.4.3 Capacidad de carga y tiempos de carga y descarga

La capacidad de carga y tiempos de carga y descarga van a ser considerados tanto en la saca del material en bruto hasta un cargadero como en el transporte por vías asfaltadas del material, ya sea en bruto o habiendo sido tratado en cargadero (empacado, triturado o astillado) según el sistema logístico seleccionado. La carga de cada tipo de transporte nos definirá el coste de cada medio de transporte en €/t-h.

### A. Saca

En la siguiente tabla se presentan la capacidad de carga y tiempos de carga y descarga de cada tipo de maquinaria indicada para la saca (tractor o autocargador) en función del tipo de material: en bruto o astillado, procedentes de coníferas o frondosas y de restos o árbol completo.

**Tabla 15. Capacidad de carga y tiempos de carga y descarga en la saca del aprovechamiento de biomasa procedente de masas forestales existentes**

Tipo adecuación del material	Material/especie	Máquina	Carga (t húmedas)	T carga descarga (h)
Bruto	Restos frondosas	Tractor	2,26	0,67
	Árbol completo frondosas		2,6	0,77
	Restos coníferas		2,12	0,63
	Árbol completo coníferas		2,5	0,74
Astillado	Frondosas y/o coníferas		12,6	0,2
Bruto	Restos frondosas	Autocargador	4,5	0,83
	Árbol completo frondosas		5,2	0,96
	Restos coníferas		4,2	0,78
	Árbol completo coníferas		5	0,93

Nota: datos supuesta una humedad del material del 40%

### B. Transporte hasta central

La legislación española establece que el peso máximo autorizado (PMA) o peso máximo autorizado en circulación (PMAC, sustituye al concepto de PMA en vehículos articulados y en vehículos dotados de remolque) queda limitado a 40 toneladas, lo que equivale a decir que la carga útil (CU) que transportan es de 26 toneladas. Sin embargo, la legislación europea (Directiva 2002/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo 7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de febrero de 2002 por la que se modifica la Directiva 96/53/CE del Consejo por la que se establecen, para determinados vehículos de carretera que circulan en la Comunidad, las dimensiones máximas autorizadas en el tráfico nacional e internacional y los pesos

máximos autorizados en el tráfico internacional), establece una mayor carga de transporte autorizada. A la vista de la diferencia de ambas legislaciones y a modo de comparativa, dado que el coste de transporte se verá notablemente reducido en el caso de la normativa europea frente a la nacional, se han considerado las dos opciones de trabajo: carga nacional y carga europea.

Se ha considerado que el transporte desde cargadero a central se puede realizar por cuatro tipos de transporte, por tanto, al igual que en el caso de la saca, se define la capacidad de carga y tiempos empleados en su carga y descarga de cada uno de ellos en función del tipo de material: bruto, astillado, triturado o empacado, tocones, restos o árbol completo y coníferas o frondosas.

**Tabla 16. Capacidad de carga y tiempos de carga y descarga, según legislación nacional y europea, en el transporte a central de la biomasa procedente de masas forestales existentes**

Material	Máquina	Carga nacional (t húmedas)	Carga internacional (t húmedas)	T carga descarga nacional (h)	T carga descarga europea (h)
Restos	Camión rígido	6,33	6,34	0,42	0,42
	Tráiler	9,06	9,97	0,62	0,68
	Camión remolque	12,65	12,69	0,83	0,84
	Piso móvil	12,98	13,05	0,53	0,54
Árbol completo	Camión rígido	7,38	7,38	0,47	0,47
	Tráiler	10,54	11,60	0,70	0,77
	Camión remolque	14,75	14,77	0,83	0,83
	Piso móvil	22,90	15,19	0,56	0,42
Astillado	Camión rígido	13,50	13,45	0,25	0,25
	Tráiler	19,21	21,14	0,33	0,37
	Camión remolque	22,00	26,91	0,42	0,51
	Piso móvil	24,50	27,68	0,42	0,47
Empacado	Camión rígido	17,00	17,50	0,32	0,33
	Tráiler	22,00	27,50	0,38	0,48
	Camión remolque	22,00	35,00	0,42	0,66
	Piso móvil	24,50	36,00	0,45	0,66
Triturado	Camión rígido	15,75	15,75	0,27	0,27
	Tráiler	22,00	24,75	0,33	0,38
	Camión remolque	22,00	31,50	0,42	0,60
	Piso móvil	24,50	32,40	0,42	0,55

(Continuación)

Material	Máquina	Carga nacional (t húmedas)	Carga internacional (t húmedas)	T carga descarga nacional (h)	T carga descarga europea (h)
Tocones	Camión rígido	12,00	12,00	0,74	0,74
	Tráiler	17,28	17,28	0,96	0,96
	Camión remolque	22,00	22,00	1,15	1,15

En el ANEXO III. Parámetros básicos de cálculo se presentan las tablas de cálculo definidas.

#### 3.1.1.4.4 Velocidad de saca y transporte

Dada la ausencia de una adecuada cartografía de pistas en el monte se ha estimado una velocidad media de saca, ya sea mediante tractor o autocargador, en vías digitalizadas de 15 km/h y un cálculo de velocidades medias de vías no digitalizadas en función de la pendiente según se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 17. Velocidad de saca por pistas no digitalizadas de la biomasa procedente de masas forestales existentes**

Pistas	Pendiente			Velocidad (km/h)
	Mín.	Máx.	Media	
No digitalizadas	0	12,5	6,25	16,00
	12,5	25	18,75	13,46
	25	35	30	11,17
	35	50	42,5	8,63
	50	70	60	5,08
	70	100	85	0,00
Digitalizadas				14,73

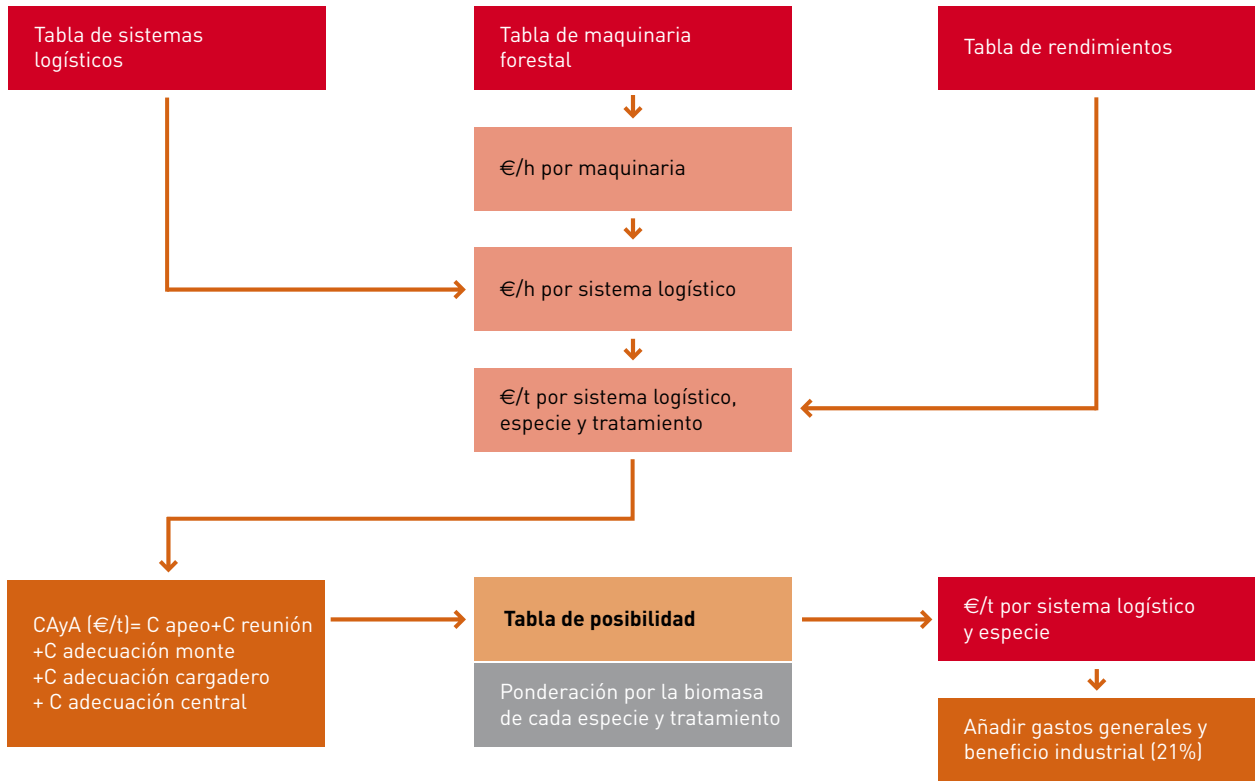
Respecto a la velocidad de transporte por vías digitalizadas se asigna la velocidad media de cada tipo de vía al proceso de transporte disminuyendo ésta en un 30% debido al tipo de vehículo empleado y carga a transportar.

#### 3.1.1.4.5 Estimación de costes de biomasa disponible

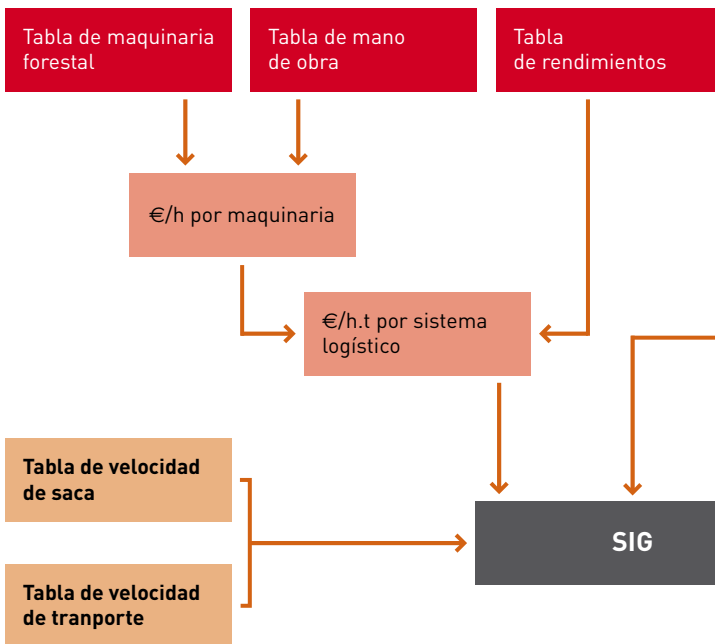
Una vez definidos los factores a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el cálculo de costes y definidas sus tablas de cálculo, en el siguiente esquema se presenta la descripción de dicho cálculo.



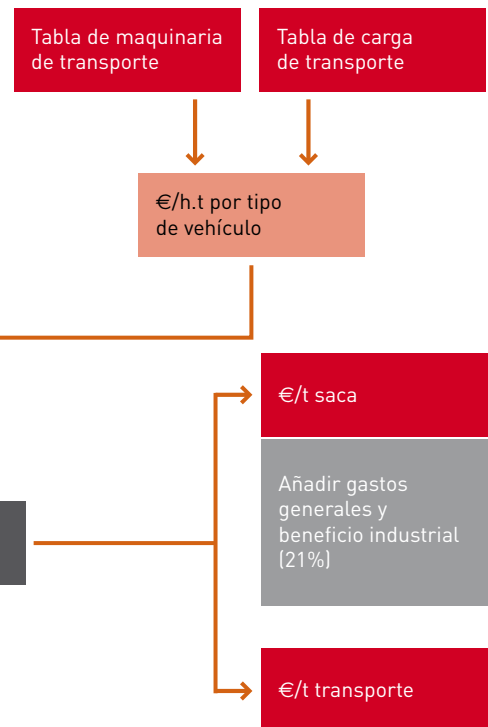
**Costes de aprovechamiento y de adecuación**



**Costes de saca**



**Costes de transporte**



Es decir, respecto a los costes de aprovechamiento y adecuación, a partir del sistema logístico seleccionado y el coste horario de la mano de obra y maquinaria establecidos se calcula el coste horario de cada proceso (apeo, reunión y adecuación de la biomasa) para cada tratamiento definido en los itinerarios selvícolas de cada especie forestal. Una vez calculado el coste horario se aplica el rendimiento de cada proceso definido para cada tipo de maquinaria en la tabla de rendimientos, con lo que se obtendría el coste en €/t de cada proceso para cada intervención, los cuales sumados por intervención proporcionan el coste en €/t de cada intervención. Dado que cada especie tiene un itinerario selvícola con una serie de intervenciones (tratamientos) anteriormente definidos y las cuales proporcionan una cantidad de biomasa (t/ha-año), se pondera el coste de cada intervención (€/t) por la cantidad de biomasa procedente de cada una de las intervenciones (t/ha-año), lo cual proporciona el coste en €/t de cada sistema logístico y para cada especie. En cuanto a los costes de saca y transporte, se obtiene el coste horario de cada una de las maquinarias seleccionadas (tractor o autocargador en el caso de la saca a cargadero y camión rígido, con remolque, trailer o piso móvil para el transporte hasta central) y se le aplica la capacidad de carga de la maquinaria seleccionada con el fin de obtener €/h·t. Por otro

lado mediante la herramienta SIG se lleva a cabo el cálculo de la distancia desde cargadero a central (punto que debe definirse) y se asocia a cada pista o vía asfaltada la velocidad de transporte según lo establecido en el apartado 3.1.1.4.4. Además se realiza el cálculo del coste de carga y descarga a partir de la capacidad de carga, tiempos de carga y descarga y el coste horario de la maquinaria que realiza la saca y el transporte (añadido el coste de una grúa cargadora para el transporte a central). De modo que,

$$\text{Coste} = [(\text{coste horario}_{\text{€/h}} / \text{velocidad}_{\text{km/h}}) \times D_{\text{km}}] / \text{carga}_t + [(\text{coste horario}_{\text{€/h}} \times \text{tiempo c/desc h}) / \text{carga}_t]$$

Así pues, de la suma del coste de aprovechamiento y adecuación por especie, saca y transporte y carga y descarga se obtiene el coste del sistema logístico.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de costes. Como hipótesis de partida se han considerado los siguientes datos:

- Especie: *Pinus sylvestris*. Cuyo itinerario selvícola es (ANEXO II. Técnicas de producción utilizadas: desarrollo de los itinerarios selvícolas o de cultivo para la producción de cultivos energéticos y los sistemas de silvicultura y aprovechamiento para los restos forestales.)

Intervención	Edad	Nº de pies (ud/ha)	D med (cm)	h med (m)	V total (m³)	d extr (cm)	h extr (m)	Fuste extr (m³)	Biomasa residual (ts)	Biomasa total (ts)
clareo	23	1.400	7	4,8	20,23	7	4,8	7,22	4,605	4,605
1ª clara	45	900	24	10	182,28	22	9,3	63,80	18,27	58,37
2ª clara	70	500	33	14	265,69	31	12	79,71	15,99	66,74
1 aclareo	100	300	43	15,5	297,23	43	16	196,17	23,82	146,95
corta final	120	100	47	16	124,57	47	17	124,57	12,73	91,06
turno	120									

- Pendiente: 15%.
- Coste del combustible 0,9 €/l.
- Coste empresarial de un maquinista es de 35.000 €/año.
- Distancia a central o centro de tratamiento y almacenamiento de 30 km con carreteras de velocidad media de 50 km/h.
- Humedad de los restos cuando se hacen los aprovechamientos del 40%.

Los costes de cada intervención serían las siguientes:

### Clareo

Sistema utilizado: apeo y reunión manual, saca autocargador, astillado cargadero y transporte en camión piso móvil

- Apeo: el volumen unitario es  $7,22/500=0,014 \text{ m}^3$ ,
  - Rendimiento en terreno llano  $R_o=1,56 \text{ t/h}$ , rendimiento en la pendiente del 15%  $R_{15}=1,56/(1+(10 \cdot 1,4^2-5 \cdot 1,4-5)/100)=1,56/(1+0,076)=1,45 \text{ t/h}$
  - Coste horario 20,64 €/h
  - Coste unitario 14,23 €/t
- Reunión:
  - Rendimiento en terreno llano  $R_o=1,67 \text{ t/h}$ , rendimiento en la pendiente del 15%  $R_{15}=1,67/(1+0,076)=1,55 \text{ t/h}$
  - Coste horario 15,84 €/h
  - Coste unitario 10,22 €/t
- Saca: distancia de saca  $D_d=350 \cdot 1,4=490 \text{ km}$ 
  - Rendimiento en terreno llano  $R_o=-0,014 \cdot D_d + 14,37 = -6,86 + 14,37 = 7,51 \text{ t/h}$ , como los

restos tienen un 40% de humedad, las t secas que transportan por hora son:  $T_s = T_h \cdot (1 - X) = T_h \cdot 0,6 = 4,51 \text{ ts/h}$ . El rendimiento en la pendiente del 15%  $R_{15} = 4,51 / (1 + 0,076) = 4,19 \text{ t/h}$

- Coste horario 75,72 €/h
- Coste unitario 18,07 €/t
- Astillado cargadero
  - Rendimiento 16,5 t/h, como son húmedas el rendimiento es en t s,  $16,5 \cdot 0,6 = 9,9 \text{ ts/h}$
  - Coste horario 135,6 €/h
  - Coste unitario 13,7 €/t
- Transporte a la central
  - Rendimiento  $24,5 / (0,42 + \sum T_i/v_i) = 24,5 / (0,42 + 2 \cdot 30/50) = 15,1 \text{ t/h}$ , como son t húmedas, las t secas que transportan son  $15,1 \cdot 0,6 = 9,06 \text{ ts/h}$
  - Coste horario 88,8 €/h
  - Coste unitario 9,8 €/t

Coste total unitario  $14,23 + 10,22 + 18,07 + 13,7 + 9,8 = 66,02 \text{ €/t}$

Operación	Rendimiento básico	Rendimiento real	Coste horario	Coste unitario
Apeo	$60 / (6,37 + 0,45 / 0,014) = 1,56$	$1,56 / (1 + 0,076) = 1,45$	20,64	14,23
Reunión	1,67	$1,67 / (1 + 0,076) = 1,55$	15,84	10,22
Saca	$-0,014 \cdot 350 \cdot 1,4 + 14,37 = 7,51$	$7,51 \cdot 0,6 / (1 + 0,076) = 4,16$	75,72	18,07
Astillado	16,5	$16,5 \cdot 0,6 = 9,9$	135,6	13,7
Transporte	$24,5 / (0,42 + 2 \cdot 30/50) = 15,1$	$15,1 \cdot 0,6 = 9,06$	88,8	9,80
<b>Total</b>				<b>66,02</b>

1ª Clara: sistema utilizado, aprovechamiento del árbol entero (biomasa competitiva) por apeo cosechadora multitaladora, saca autocargador, astillado cargadero y transporte camión piso móvil.

Operación	Rendimiento básico	Rendimiento real	Coste horario	Coste unitario
Apeo	$1,45 \cdot 22 - 15,2 = 16,7$	$16,7 / (1 + 0,076) = 15,52$	76,72	4,94
Saca	$-0,014 \cdot 350 \cdot 1,4 + 14,37 = 7,51$	$7,51 \cdot 0,6 / (1 + 0,076) = 4,16$	75,72	18,07
Astillado	16,5	$16,5 \cdot 0,6 = 9,9$	135,6	13,7
Transporte	$24,5 / (0,42 + 2 \cdot 30/50) = 15,1$	$15,1 \cdot 0,6 = 9,06$	88,8	9,80
<b>Total</b>				<b>46,51</b>

2ª Clara: sistema utilizado, aprovechamiento y procesado del árbol con cosechadora, saca autocargador, astillado cargadero y transporte camión piso móvil.

Operación	Rendimiento básico	Rendimiento real	Coste horario	Coste unitario
Apeo	0	0	0	0
Saca	$-0,014 \cdot 350 \cdot 1,4 + 14,37 = 7,51$	$7,51 \cdot 0,6 / (1 + 0,076) = 4,16$	75,72	18,07
Astillado	16,5	$16,5 \cdot 0,6 = 9,9$	135,6	13,7
Transporte	$24,5 / (0,42 + 2 \cdot 30 / 50) = 15,1$	$15,1 \cdot 0,6 = 9,06$	88,8	9,80
<b>Total</b>				<b>41,57</b>

1er Aclareo: sistema utilizado, aprovechamiento con cosechadora, saca autocargador, astillado cargadero y transporte camión piso móvil.

Operación	Rendimiento básico	Rendimiento real	Coste horario	Coste unitario
Apeo	0	0	0	0
Saca	$-0,014 \cdot 350 \cdot 1,4 + 14,37 = 7,51$	$7,51 \cdot 0,6 / (1 + 0,076) = 4,16$	75,72	18,07
Astillado	16,5	$16,5 \cdot 0,6 = 9,9$	135,6	13,7
Transporte	$24,5 / (0,42 + 2 \cdot 30 / 50) = 15,1$	$15,1 \cdot 0,6 = 9,06$	88,8	9,80
<b>Total</b>				<b>41,57</b>

Corta final aclareo: sistema utilizado, aprovechamiento con cosechadora, saca autocargador, astillado cargadero y transporte camión piso móvil.

Operación	Rendimiento básico	Rendimiento real	Coste horario	Coste unitario
Apeo	0	0	0	0
Saca	$-0,014 \cdot 350 \cdot 1,4 + 14,37 = 7,51$	$7,51 \cdot 0,6 / (1 + 0,076) = 4,16$	75,72	18,07
Astillado	16,5	$16,5 \cdot 0,6 = 9,9$	135,6	13,7
Transporte	$24,5 / (0,42 + 2 \cdot 30 / 50) = 15,1$	$15,1 \cdot 0,6 = 9,06$	88,8	9,80
<b>Total</b>				<b>41,57</b>

Coste medio de aprovechamiento de la biomasa (competitiva) del pinar del silvestre:

$$(4,605 \cdot 66,02 + 58,37 \cdot 46,51 + (66,74 + 146,95 + 91,06) \cdot 41,57) = 15.686 \text{ €}$$

El gasto total de 15.686 € permite aprovechar 367,7 ts, lo que supone un gasto medio de 42,66 €/ts.

Expresado en t al 40% de humedad, como las th –verdes- (40%) que se obtienen son 612,83, el coste medio en t húmedas es de **25,6 €**.

### 3.1.1.5 Estructura de los resultados

Como objetivo del estudio de la biomasa procedente de masas forestales existentes se presentan los resultados considerando el aprovechamiento actual de las distintas especies así como principales sistemas logísticos empleados. Ahora bien, debido a la gran variabilidad existente en España (tanto referente a las masas, como a la disponibilidad de maquinaria, distribución de la propiedad, etc.) se ha llevado a cabo una regionalización previa del territorio español de modo que para cada región se definen los parámetros de entrada de la herramienta informática (tipo de biomasa aprovechada, sistemas logísticos más frecuentemente empleados en la región, etc.) y se presentan los resultados obtenidos a partir de cada parametrización.

Los resultados que se presentan para cada región son los que se enumeran a continuación:

- Definición de la región.
- Parámetros de cálculo.
- Tablas de disposición de biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola por provincia y comunidad autónoma (t/ha-año).
- Mapa de distribución de biomasa potencial disponible por municipio (t/ha-año).
- Tablas de costes medios de obtención de biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola por provincia y comunidad autónoma (€/t).
- Mapa de costes de obtención de biomasa por municipio (€/t).

## 3.1.2 Biomasa procedente de masas susceptibles de implantación en terreno forestal

Las masas forestales o leñosas susceptibles de implantación son aquellas que, junto con una silvicultura específica, su fin único es el energético. Por tanto, se denominarán masas forestales o leñosas susceptibles de implantación a aquellas repoblaciones (por tanto llevadas a cabo en terreno forestal) cuyo fin último es la valorización energética.

En este apartado se trata la metodología seguida para el cálculo de la biomasa procedente de dichas repoblaciones de secano implantados en terreno forestal (géneros *Quercus*, *Eucalyptus* y *Pinus*) para fines energéticos.

### 3.1.2.1 Definición de itinerarios selvícolas y posibilidades anuales

La estimación de la biomasa de cultivos energéticos se basa fundamentalmente, al igual que sucedía en el caso de restos de aprovechamientos forestales y de árboles completos, en el itinerario selvícola de cada especie y su posibilidad potencial. Por ello, la elección de especie se ha realizado en función de la existencia o no de suficiente experiencia de cultivo en España, y por tanto de la información contrastada disponible, así como de su potencialidad de implantación.

**Tabla 18. Especies forestales susceptibles de implantación en terreno forestal con fin energético**

Género	Especie
<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>
	<i>Eucalyptus calmadulensis</i>
	<i>Eucalyptus nitens</i>
<i>Quercus</i>	<i>Quercus faginea</i>
	<i>Quercus ilex</i>
	<i>Quercus pubescens</i>
	<i>Quercus canariensis</i>
	<i>Quercus pyrenaica</i>
	<i>Quercus suber</i>
<i>Pinus</i>	<i>Pinus pinaster</i>
	<i>Pinus radiata</i>
	<i>Pinus sylvestris</i>
	<i>Pinus nigra</i>
	<i>Pinus pinea</i>
	<i>Pinus halepensis</i>
	<i>Pinus canariensis</i>

Como introducción a los itinerarios selvícolas propuestos para el caso de cultivos energéticos forestales se presenta una breve descripción de todas aquellas labores a tener en cuenta en la implantación, mantenimiento y corta principalmente en los cultivos artificiales de secano. Así pues las principales labores a llevar a cabo son:

#### **A. Selección del material base**

La selección del material base debe conllevar un estudio comparativo de los clones que se hayan desarrollado para así conseguir producciones elevadas, al mismo tiempo que se atienden otras características de interés para el cultivo en alta densidad como pueden ser resistencia a plagas y enfermedades, capacidad de rebrote tras la corta, etc. Por lo tanto, el conocimiento de la aptitud de los materiales para las diferentes zonas potenciales de cultivo, a través de ensayos de comparación clonal, permitirá la elección del genotipo más idóneo, siendo este un requisito necesario para la correcta implantación de estos cultivos (INIA, 2007).

#### **B. Estaquillas**

De un modo general, las características de las estaquillas son:

- Porciones de brotes de un año.
- Grosor de 1-3 cm.
- Longitud entre 20-25 cm (mayor en rotaciones largas).
- Pueden proceder del propio cultivo.
- Para rotaciones largas, se consideran también plantones de raíz de 2-3 años.

#### **C. Tratamiento de la vegetación preexistente**

La existencia de una vegetación preexistente en la zona de implantación de una nueva masa forestal ejerce una fuerte competencia al crecimiento de esa nueva masa (ya sea por la luz, el agua, los nutrientes o incluso por las relaciones de alelopatía) pudiendo llegar a suponer su muerte. Por ello, en la mayoría de los casos, es necesario reducir la presencia y retrasar el crecimiento de la vegetación preexistente para asegurar el correcto desarrollo de las plantas introducidas.

Frente a las ventajas en el crecimiento de la masa nueva por la eliminación de la vegetación preexistente, se presentan inconvenientes de índole medioambiental, como es la eliminación de la composición florística natural y el posible aumento de la erosión que se producen en los suelos desnudos

que puede hacer desaconsejable su realización al menos de forma masiva.

Es por ello por lo que la operación de desbroce en una repoblación puede no ser necesaria en función del grado de competencia que se haya previsto, y debe ser concordante con la preparación del suelo y con la forma de introducción de la nueva vegetación.

Para determinar la realización o no del desbroce, y en el caso de que se realice la intensidad de la actuación, se evalúa por una parte el grado de competencia y por otra los daños medioambientales. El grado de competencia que pueda establecerse depende de las características de la vegetación preexistente (composición específica, sistemas de reproducción, forma, altura y espesura de la parte aérea, opacidad de las copas, forma y profundidad del sistema radical, y posibles relaciones de alelopatía), especie a introducir y la estación.

Los posibles procedimientos de desbroce y sus características son los que se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 19. Procedimientos de desbroce para la preparación de terrenos forestales a implantar por masas con fin energético**

Procedimiento	Especies afectadas	Extensión	Forma de ejecución	Cómo afecta al matorral
Desbroce manual	Selectivo	Fajas	Manual	Roza
		Casillas		Arranque
Quema de matorral en pie	Total	A hecho	Manual	Roza
Desbroce mecanizado por laboreo	Poco selectivo	Fajas	Mecanizado	Arranque
		A hecho		
Desbroce mecanizado por trituración	Poco selectivo	Fajas	Mecanizado	Roza
		A hecho		
Desbroce mecanizado por cuchilla de angledozer	Poco selectivo	Fajas	Mecanizado	Roza
		A hecho		Arranque
Desbroce con herbicidas	Selectivo Total	Fajas	Manual Mecanizado	Roza
		Casillas		
		A hecho		
Destoconados	Selectivo	Casillas	Mecanizado	Arranque

**Ilustración 12. Desbroce mecanizado por trituración mediante tractor agrícola con apero desbrozador de martillos**



**Ilustración 13. Detalle del eje triturador**



Fuente: Cátedra de Aprovechamientos Forestales. ETSIM

**Ilustración 14. Destoconadora sobre tractor oruga de cabina giratoria**



Fuente: Cátedra de Aprovechamientos Forestales. ETSIM

**D. Preparación del terreno**

La preparación del suelo para la repoblación forestal tiene otra justificación en la debilidad y poca edad de las plantas de la nueva masa a las que hay que facilitar el arraigo y el primer desarrollo; aunque, en la mayor parte de los casos, se justifica la preparación del suelo debido a que las deficientes condiciones edáficas del monte necesitan ser mejoradas.

Así pues, los objetivos pueden ser todos o varios de los que se exponen a continuación, según las condiciones edáficas iniciales:

- Facilitar las labores de plantación o siembra y mejorar la supervivencia de las plantas introducidas.
- Aumentar la profundidad útil del perfil, disgregando capas profundas mediante acción mecánica, para conseguir una mayor profundización de los sistemas radicales.
- Aumentar la capacidad de retención de agua del perfil, disgregando capas profundas mediante acción mecánica, para conseguir una mayor profundización de los sistemas radicales.
- Aumentar la velocidad de infiltración del agua mediante un mullido que posibilite anular la escorrentía o creando estructuras que contengan el agua.
- Facilitar la penetración mecánica de las raíces de las plantas introducidas mejorando transitoriamente la permeabilidad mediante labores.
- Reducir las posibilidades de invasión del matorral después de la siembra o plantación que había sido conseguida con los desbroces.

Para definir claramente estos objetivos, es necesario en cada caso estudiar el perfil edáfico del suelo y diagnosticar sus carencias, estado de degradación, posibilidades de evolución, riesgos que pueden inducir labores no adecuadas y finalmente decidir el procedimiento de preparación óptimo.

Los posibles procedimientos de preparación del suelo y sus características se encuentran descritos en la siguiente tabla:

**Tabla 20. Procedimientos de preparación de terrenos forestales a implantar por masas con fin energético**

Procedimiento	Extensión superficial	Acción sobre el perfil	Forma de ejecución	Profundidad
Ahoyado manual	Puntual	Sin inversión	Manual	Media
Raspas o casillas	Puntual	Sin inversión	Manual	Baja
Ahoyado con barrena	Puntual	Inversión parcial	Mecanizado	Media-alta
Ahoyado con pico mecánico	Puntual	Sin inversión	Mecanizado/manual	Media-alta
Ahoyado con retroexcavadora	Puntual	Sin inversión	Mecanizado	Alta
Ahoyado mecanizado con ripper	Puntual	Sin inversión	Mecanizado	Alta
Cuencas de contorno discontinuo	Puntual	Inversión parcial	Mecanizado	Alta



(Continuación)

Procedimiento	Extensión superficial	Acción sobre el perfil	Forma de ejecución	Profundidad
Subsolado lineal	Lineal	Sin inversión	Mecanizado	Alta
Acaballonado superficial	Lineal	Con inversión	Mecanizado	Alta
Acaballonado con desfonde	Lineal	Con inversión	Mecanizado	Alta
Acaballonado foresta	Lineal	Con inversión	Mecanizado	Alta
Laboreo pleno	A hecho	Con inversión	Mecanizado	Media
Acaballonado superficial completo	A hecho	Con inversión	Mecanizado	Alta
Acaballonado completo en llano	A hecho	Con inversión	Mecanizado	Alta
Subsolado pleno	A hecho	Sin inversión	Mecanizado	Alta

La preparación del terreno se compone de las siguientes actividades:

- Arado del suelo (50-100 cm). Abrir surcos y remover la tierra. La alternativa puede ser subsolador y arado superficial (70-100 cm y 30 cm).
- Subsólado, consiste en soltar el suelo bajo la profundidad normal de cultivo, usando un arado de uno o más brazos rígidos, con el objetivo de romper capas de suelos compactadas. Los subsoladores normalmente trabajan a profundidades de 30-70 cm. Existe también la alternativa de usar algún tipo de arado de vertedera, teniendo en consideración que la capacidad de profundizar es menor y tiene mayores requerimientos de potencia. Cuando el subsolador pasa por el suelo va soltando las capas compactadas, levantándolas y disgregándolas, formándose una red de macroporos interconectados, algunos de los cuales van desde el subsuelo suelto hasta la superficie, actuando como vías para la penetración de raíces y el flujo de agua y aire.
- Escarificado, "arañar" superficialmente el terreno para romper y eliminar todo lo posible el fieltro.

**Ilustración 15. Subsólador D6**



Fuente: Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales. ETSIM

**Ilustración 16. Subsólado lineal, mediante bulldozer**



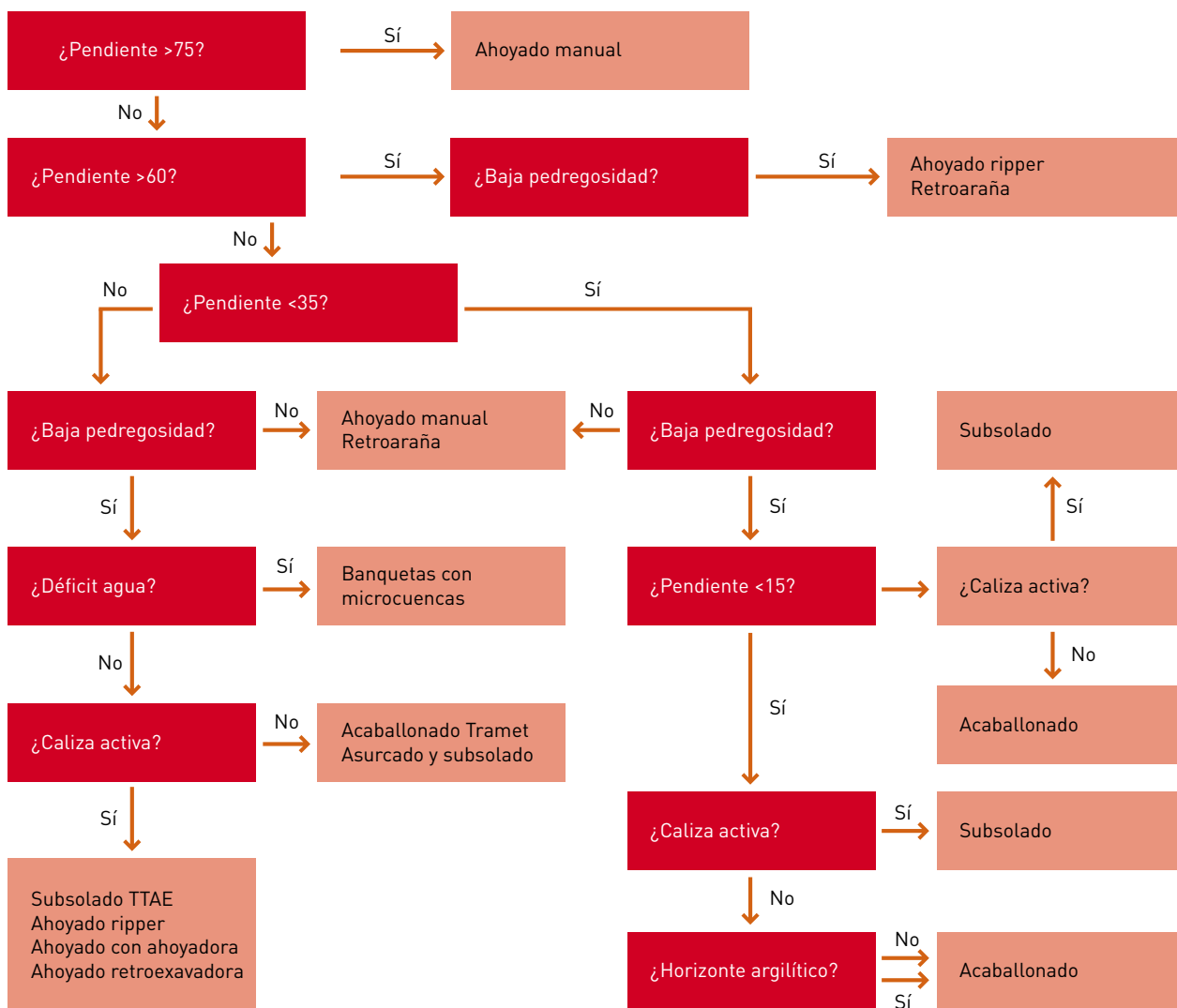
Fuente: Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales. ETSIM

**Ilustración 17. Ahoyadora sobre retroaraña, con apero desbrozador**



Fuente: Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales. ETSIM

La elección del método de preparación del terreno varía con la pendiente, la pedregosidad del terreno, el tipo de roca madre, el régimen de lluvias y pluviometría, además del valor ambiental del terreno y la posible erosión. Así pues la elección del método de preparación del terreno se puede realizar siguiendo el siguiente organigrama:



### E. Introducción de las nuevas plantas: plantación

La densidad de plantación varía en función de la especie entre 1.000-20.000 plantas/ha. El tipo de plantación es mecanizada con el fin de alcanzar una productividad elevada en términos de plantas/hora.

Por método de repoblación forestal se entiende la forma de introducir las nuevas plantas. Hay dos métodos básicos, que se pueden combinar en una misma repoblación y que se denominan: método de siembra y método de plantación.

El método de siembra es menos costoso, menos agresivo con el suelo y además requiere menor esfuerzo; ahora bien, la plantación proporciona una mayor tasa de éxito, mejor arraigo y por tanto un recubrimiento más rápido. Así pues, aunque a primera vista puede parecer más sencillo y menos costoso el método de siembra, en la actualidad, la ejecución de repoblaciones por siembra es casi una excepción y a pesar de esta práctica habitual es necesario en cada proyecto de repoblación forestal decidir razonadamente sobre esta cuestión. En la actualidad el método de siembra está más dirigido a las plantaciones herbáceas (de crecimiento rápido), mientras que el de plantación se centra en leñosas (cuyo crecimiento es más lento).

Referente a la plantación, no se presentan limitaciones de la estación, que no sean las que se aplican a la repoblación en sí misma. Es el método más adecuado para estaciones climáticamente difíciles y el que mejor aprovecha las labores de corrección de las dificultades edáficas.

Las características que deben definirse en la plantación son las siguientes:

- **Densidad de introducción:** expresada en número de pies por hectárea, determina el espaciamiento correspondiente a esta densidad que es el que define la geometría de las operaciones de desbroce y preparación del suelo cuando se utilizan plantaciones y siembras por puntos. La densidad de introducción va a estar condicionada por una serie de factores selvícolas y económicos, que analizados conjuntamente determinarían la densidad óptima de la repoblación.
- **Las características de la planta,** tanto si se refiere al número de savia de la planta, si es a raíz desnuda o con cepellón y si dispone o no de protectores de algún tipo. Todas estas características dependen de las características del terreno y de la preparación realizada, de las características específicas de

la propia planta que se quiere introducir y de los riesgos de marras por caza u otra forma que tenga la zona donde se va a realizar.

- **Procedimientos de plantación.** Pueden ser los siguientes:
  - Plantación manual de plantas a raíz desnuda.
  - Plantación manual de plantas en envase.
  - Plantación mecanizada de planta a raíz desnuda o con envase.
  - Plantación simultánea con barrón.
  - Plantación simultánea entre vertederas de arado bisurco en el acaballado con desfonde.
  - Plantación simultánea de chopos con retroexcavadora.

#### Ilustración 18. Plantación manual



Fuente: Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales. ETSIM

#### Ilustración 19. Tractor plantador



Fuente: Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales. ETSIM

## F. Fertilización y abonado

El abonado y la fertilización son trabajos que se aplican cuando existe déficit de nutrientes y económicamente resultan rentables.

Lo más normal es aplicarlo en forma de granulado realizándolo la primera vez conjuntamente con la plantación, reponiendo tantas veces como sea necesario. La cantidad que debe aplicarse anualmente depende del tipo de suelo y de la planta que quiere instalarse, siendo normal que se aplique alrededor de 100-120 kg N, 60-80 kg K y 15 kg P.

El primer abonado se realiza de forma similar a como se ha realizado la plantación, es decir, si esta se realiza manualmente el abonado también y si esta se realiza de forma mecanizada el abonado también.

En el caso de que la plantación sea de regadío, es muy frecuente que la fertilización se realice incorporada al agua de regadío (más frecuente, en sistemas de goteo).

De forma general es necesario realizar un análisis previo del suelo para ver las deficiencias del mismo. La fertilización hay que realizarla en rotaciones anuales. Los fertilizantes se presentan como una alternativa de los restos orgánicos.

Los valores aproximados por hectárea son:

- 100-120 kg N
- 60-80 kg K
- 15 kg P

## G. Tratamientos fitosanitarios

Son tratamientos que se aplican a la plantación, bien preventivos, o más comúnmente curativos, que tienen como objetivo eliminar los hongos o insectos que bien hace peligrar la vida de las plantas o cuando menos reducir su crecimiento.

Los tipos y métodos de tratamiento son muy variados, tantos como tipo de plagas o enfermedades pueda presentar la planta. Así, pueden aplicarse desde insecticidas o fungicidas por pulverización desde un tractor, por calles de plantación, en parcelas de escasa superficie, o por aplicación de soluciones de ultrabajo volumen desde boquillas incorporadas en aviones a cría y suelta de parásitos o depredadores de la plaga principal, en lo que se llama lucha biológica.

## H. Limpia y control de la competencia

La limpia es una operación que busca eliminar la vegetación no deseada para evitar que la especie

principal, en competencia con las plantas no deseadas, pierda crecimiento.

La limpia se puede hacer, siempre que la operación resulte económica, bien por procedimientos físicos, manual o mediante maquinaria, o por procedimientos químicos mediante la aplicación de herbicidas foliares, ya sea por procedimientos manuales o mediante tractor.

En el caso de tratamientos físicos, lo más usual son los gradeos utilizando tractores de tipo agrícola con apero de grada. Naturalmente la disposición de la plantación debe hacerse con calles de al menos 3 m para que pueda pasar el tractor sin poner en riesgo la planta principal.

La limpia por procedimientos químicos es cada vez más frecuente dada su mayor economía, ya sea aplicándolo manualmente mediante mochila o como es más frecuente mediante el uso de tractores. Los herbicidas que se utilizan son bs de contacto del tipo RONSTAR 2G en líquido de baja solubilidad para que no sean absorbidos por las raíces. La época de aplicación suele ser en primavera, cuando las malas hierbas inician su crecimiento.

La competencia ejercida por las malas hierbas es la causa más común del fracaso de las plantaciones de cultivo energético de rotaciones cortas. La forma de eliminar esta competencia es a través de escardadas.

Escarda mecánica: labor que impide el desarrollo de las malas hierbas por corte, siega, arranque o enterramiento de las mismas. Debe ejecutarse antes de la floración de las malas hierbas para evitar su diseminación. Suele realizarse por laboreo durante el mes de mayo, mediante motoazadas de pequeña dimensión que arrancan y entierran las malas hierbas simultáneamente, consiguiéndose al mismo tiempo airear el suelo y facilitar la infiltración del agua.

Escarda manual: arrancado a tirón o con golpes de azada, y con suficiente humedad en el suelo. Con esta técnica se puede eliminar fácilmente todas las malas hierbas con excepción del bálago o vallico que crece alrededor de la cepa de la mimbrera. Actualmente apenas se realiza por sus bajos rendimientos. Su uso suele limitarse al primer año de puesta en producción del mimbre, aunque existen explotaciones en las que se realiza en febrero junto con la limpieza de hojas y en bs meses de agosto o septiembre para eliminar en la medida de lo posible la correhuela y facilitar la operación de tallado.

Escarda química: labor que consiste en la aplicación directa sobre las malas hierbas de productos herbicidas, realizando esta operación sobre los meses de abril o mayo. Actualmente se tiende al no laboreo y a la utilización de la escarda química debido a los elevados gastos de cultivo que supone la escarda manual.

### I. Corta final

La corta final o cosecha se realiza siempre con maquinaria, que depende del diámetro que alcanza la planta que se quiere cosechar y de la pedregosidad del terreno.

Para cuando el diámetro en la base es menor a 8 cm, y no existe pedregosidad, se puede utilizar desde la cosechadora de tipo agrícola como la Bender ([http://www.esf.edu/willow/PDF/newsletters/newsletter5\\_1.pdf](http://www.esf.edu/willow/PDF/newsletters/newsletter5_1.pdf)) hasta la más productiva, la Claas Jaguar 880 ([http://www.claas.com/countries/generator/clpw/en/claasUS/products/fh/jaguar/start,lang=en\\_US.html](http://www.claas.com/countries/generator/clpw/en/claasUS/products/fh/jaguar/start,lang=en_US.html)) que cortan y astillan simultáneamente.

#### Ilustración 20. Cosechadora Bender con astillado incorporado



Fuente: [http://www.esf.edu/willow/PDF/newsletters/newsletter5\\_1.pdf](http://www.esf.edu/willow/PDF/newsletters/newsletter5_1.pdf)

#### Ilustración 21. Cosechadora Claas Jaguar 880



Fuente: [http://www.claas.com/countries/generator/clpw/en/claasUS/products/fh/jaguar/start,lang=en\\_US.html](http://www.claas.com/countries/generator/clpw/en/claasUS/products/fh/jaguar/start,lang=en_US.html)

Para diámetros mayores a 12 cm o en terrenos con pedregosidad superficial se utiliza maquinaria típica forestal, como puede ser un autocargador con cabezal multitalador que corta un pie, lo acumula en el cabezal, corta otro pie, así hasta tener de 3 a 5 pies acumulados, momento en el que lo deposita en su caja cargadora. Si la altura del árbol supera ampliamente la longitud de la caja (alrededor de 6 o más m), el cabezal, primero lo aplica a la mitad del árbol, lo acumula y luego lo aplica a la base del árbol, lo corta y lo acumula pasando al siguiente árbol y así sucesivamente.

#### Ilustración 22. Detalle del cabezal acumulador



Fuente: Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales. ETSIM

A la hora de establecer los itinerarios se ha considerado un modelo único para el género *Quercus*, otro modelo único para el género *Pinus* y cuatro modelos para el género *Eucalyptus* dependiente de la geografía (norte-sur) y del material base (clonal-seminal). A continuación se presentan los datos de posibilidades medias anuales y totales para los géneros y especies considerados para la implantación de cultivos forestales:

Tabla 21. Selvicultura de las especies susceptibles de implantación en terreno forestal

Género/especie	Descripción	Densidad (pies/ha)	Turno corta (años)	Ciclo hasta destocoñado (años)	Posibilidad total (th/ha)	Posibilidad media (ts/ha/a)	
						Con tocones	Sin tocones
<i>Eucalyptus</i>	Terreno forestal. Geografía Norte. Clonal.	1.650	5	26	640,0	<b>12,3</b>	11,7
	Terreno forestal. Geografía Norte. Seminal.				356,8	<b>6,9</b>	6,5
	Terreno forestal. Geografía Sur. Clonal.				482,5	<b>9,3</b>	8,8
	Terreno forestal. Geografía Sur. Seminal.				272,5	<b>5,2</b>	5,0
<i>Quercus</i>	Modelo único	2.000	25	175	1013,75	<b>2,9</b>	2,8
<i>Pinus</i>	<i>pinaster atlantica</i>	1670	20	na	260	na	<b>6,50</b>
	<i>pinaster mesogensis</i>		40	na	336	na	<b>4,20</b>
	<i>radiata</i>		16	na	379	na	<b>11,80</b>
	<i>sylvestris</i>		55	na	342,2	na	<b>3,11</b>
	<i>nigra</i>		60	na	345,4	na	<b>2,88</b>
	<i>pinea</i>		50	na	491,6	na	<b>4,90</b>
	<i>halepensis</i>		45	na	491,6	na	<b>1,45</b>
	<i>canariensis</i>		35	na	131	na	<b>2,88</b>

Fuente: Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales. ETSIM

A efectos de cálculo en la herramienta informática se tomarán los datos marcados en negrita, es decir, para los géneros *Eucalyptus* y *Quercus* se incluye la biomasa procedente de tocones, mientras que en *Pinus* no, ya que no existe destocoñado de la masa.

Siendo th las toneladas consideradas a una humedad del 50% y ts las toneladas secas, es decir, al 0% de humedad.

Los datos del potencial de biomasa se han presentado de diferentes formas y distintas variables. Por un lado, las posibilidades obtenidas a partir de la definición de los itinerarios selvícolas se encuentran dadas en peso seco (0% de humedad) y que, por tanto, tendrán que ser recalculadas para el contenido de humedad que se defina (un 45% por defecto en la herramienta informática).

$$Ph = Ps / 0,55$$

Del mismo modo se podrá calcular la posibilidad a una humedad determinada:

$$Ph = Ps / (1-h)$$

Además se presentan los resultados en "tep" (toneladas equivalentes de petróleo). Al igual que en el caso de biomasa procedente de restos y árboles completos forestales, para transformar a "tep" se

han tomado los datos medios del Poder Calorífico Superior al 0% de humedad proporcionados por el CIEMAT en diferentes provincias. Una vez definido el Poder Calorífico Superior se empleará la Normativa UNE164001EX para el cálculo del Poder Calorífico Inferior a una humedad determinada:

$$PCI (h\%) = [(PCS0 \cdot 1.000 \cdot (1-x) - 11,27 \cdot x\% - 1.322) / 1.000]$$

Ahora bien, según la equivalencia de unidades se aplica la siguiente fórmula para la obtención de las tep equivalentes a una tonelada de biomasa verde (h%):

$$tep/t = PCI (h\%) \cdot 0,0239$$

A continuación se presentan la posibilidad y Poder Calorífico Superior de cada una de las especies.

Los itinerarios productivos de las principales especies de aplicación en España de cultivos energéticos en terreno forestal son los que se describen a continuación:

**Tabla 22. Posibilidad potencial de las especies susceptibles de implantación en terreno forestal**

Especies susceptibles de implantación	Itinerario selvícola	Posibilidad (ts/ha-año)	Poder Calorífico Superior (H=0%)
<i>Quercus robur</i>	Único	2,90	19,30
<i>Quercus faginea</i>	Único	2,90	19,30
<i>Quercus ilex</i>	Único	2,90	18,40
<i>Quercus petraea</i>	Único	2,90	19,30
<i>Quercus pubescens</i>	Único	2,90	19,10
<i>Quercus canariensis</i>	Único	2,90	19,10
<i>Quercus pyrenaica</i>	Único	2,90	19,10
<i>Quercus suber</i>	Único	2,90	20,00
<i>Eucalyptus globulus</i>	Norte clonal	12,30	18,50
<i>Eucalyptus globulus</i>	Norte seminal	6,90	18,50
<i>Eucalyptus globulus</i>	Sur clonal	9,30	18,50
<i>Eucalyptus globulus</i>	Sur seminal	5,20	18,50
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Sur clonal	9,30	18,90
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Sur seminal	5,20	18,90

(Continuación)

Especies susceptibles de implantación	Itinerario selvícola	Posibilidad (ts/ha-año)	Poder Calorífico Superior (H=0%)
<i>Eucalyptus nitens</i>	Norte clonal	12,30	18,50
<i>Eucalyptus nitens</i>	Norte seminal	6,90	18,50
<i>Pinus pinaster</i>	Norte	6,50	20,93
<i>Pinus pinaster</i>	Centro y sur	4,20	20,93
<i>Pinus radiata</i>	Único	11,80	20,50
<i>Pinus sylvestris</i>	Único	3,11	21,10
<i>Pinus nigra</i>	Único	2,88	20,60
<i>Pinus pinea</i>	Único	4,90	20,20
<i>Pinus halepensis</i>	Único	1,45	20,40
<i>Pinus canariensis</i>	Único	2,88	21,10

### 3.1.2.1.1 Itinerario selvícola: género *Quercus* en terreno forestal

Previo a la descripción del itinerario selvícola es necesario definir las condiciones edafo-climáticas de cada especie para la identificación geográfica de aquellas superficies susceptibles de implantación por las distintas especies del género. Así pues, se presenta en la siguiente tabla la descripción de las condiciones (precipitación, suelo, altitud y climatología) óptimas para el desarrollo de cada especie:

**Tabla 23. Condicionantes ecológicos del género *Quercus* para su implantación con fines energéticos en terrenos forestales**

Especie	Precipitación (mm)	pH	Altitud (m)	Climatología
<i>Quercus suber</i>	>400	Calcífugo	0-1.000	Tª del mes más frío 0 °C. Fuera del área de heladas seguras
<i>Quercus ilex sbsp ilex</i>	>600	Indiferente al sustrato	0-1.400	Clima mediterráneo
<i>Quercus ilex sbsp ballota</i>	350-1000			Zonas sublitorales templado húmedas desde Asturias a Cataluña
<i>Quercus faginea sbsp faginea</i>	800	Neutros-calizos	500-1.000	Clima Mediterráneo continental no extremado o su mediterráneo
<i>Quercus faginea sbsp broteroi</i>		Acidófilo		



(Continuación)

Especie	Precipitación (mm)	pH	Altitud (m)	Climatología
<i>Quercus pyrenaica</i> y <i>Quercus pubescens</i>	600	Neutros ácidos	0-1.500	Sin límites en España
<i>Quercus canariensis</i>	>600	Neutro ácido	100-600	Termófilo e higrófilo

Una vez definidas las superficies de implantación se describen las labores a llevar a cabo a lo largo del ciclo de vida de la masa a implantar.

En el género *Quercus* se plantea un único itinerario selvícola, el cual lleva asociado una producción y sus costes de preparación del terreno, plantación, mantenimiento, aprovechamiento, saca, adecuación y transporte.

Como se ha comentado anteriormente y debido a las condiciones del suelo forestal son necesarias unas labores de eliminación de la cubierta vegetal previamente existente y una preparación y descompactación del suelo. Así pues se realiza un desbrozado de la vegetación preexistente y subsolado del terreno mediante un bulldozer.

A continuación se lleva a cabo la plantación con una densidad de 2.000 plantas/ha.

En cuanto a las labores de mantenimiento, no se consideran necesarias a lo largo del turno dado el carácter forestal de la plantación.

La primera cosecha se realiza a los 30 años, siendo el turno de siguientes cosechas 25 años hasta completar un ciclo de 175 años, año en el cual se procede además a realizar el destocoado. Así pues, el ciclo de vida de la plantación es de 175 años en el que se llevan a cabo 7 turnos de corta.

El destocoado se realiza al final del ciclo. La biomasa de los tocones se ha considerado como el 25% de la biomasa total extraída en la corta final y corresponde a la última fila de la tabla arriba indicada.

**Tabla 24. Posibilidad del género *Quercus***

Género	Densidad (pies/ha)	Edad	Diámetro (cm)	Posibilidad (th/ha-año)	Posibilidad (ts/ha-año)
<i>Quercus</i>	2.000	30	13,5	150	75
		55	12,5	138,2	69,1
		80		138,2	69,1
		105		138,2	69,1
		130		138,2	69,1
		155		138,2	69,1
		175		138,2	69,1
		175		34,6	17,3

Siendo th las toneladas consideradas a una humedad del 50% y ts las toneladas secas, es decir, al 0% de humedad.

Así pues, la producción a lo largo de los 175 años de la masa es de 1.013,5 toneladas húmedas, es decir, 506,9 toneladas secas por hectárea, lo cual supone una producción anual de 2,9 t/ha-año.

La siguiente tabla presenta el itinerario selvícola planteado para el género *Quercus* así como su producción:

**Tabla 25. Itinerario selvícola del género *Quercus***

Género	Edad	Diámetro (cm)	Labor	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)
<i>Quercus</i>	0		Subsolado		
	0		Plantación (2.000 pies/ha) y abonado		
	30	13,5	Corta	150	75
	55	12,5	Corta	138,2	69,1
	80		Corta	138,2	69,1
	105		Corta	138,2	69,1
	130		Corta	138,2	69,1
	155		Corta	138,2	69,1
	175		Corta	138,2	69,1
	175		Destoconado	34,6	17,3

Siendo th las toneladas a una humedad del 50% y ts las toneladas en materia seca (0% de humedad).

Por tanto, la posibilidad anual de las plantaciones del género *Quercus* es 2,9 ts/ha·año (materia seca).

Dicha posibilidad se verá variada por la calidad de la estación, la cual varía dependiendo de las condiciones climáticas y edáficas de la zona (mapa de Productividad Potencial Forestal).

### 3.1.2.1.2 Itinerario selvícola: género *Eucalyptus* en terreno forestal

Las condiciones ecológicas imprescindibles para el éxito del cultivo eucaliptos en terreno forestal son las que se presentan a continuación:

- Suelos: neutros o ácidos pH<6,5.
- Pedregosidad superficial: sin problemas.
- Climatología: sin riesgos de heladas.
- Precipitación media >600 mm.
- Altitud inferior a 650 m.

**Tabla 26. Condicionantes ecológicos del género *Eucalyptus* para su implantación con fines energéticos en terrenos forestales**

Especie	Precipitación (mm)	pH	Altitud (m)	Climatología
<i>Eucalyptus globulus</i>	>600	Ácido	≤400	Tª del mes más frío 0 °C. Fuera del área de heladas seguras
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	>400	Ácido	≤650	
<i>Eucalyptus nitens</i>	>600	Ácido	400-650	

La implantación del cultivo forestal comienza con la eliminación de la vegetación preexistente, el nivelado del terreno y eliminación de piedras así como un subsolado de 50 cm de profundidad.

Una vez preparado el terreno se procede a realizar una plantación de 1.650 plantas/ha con un marco aproximado de 3x2 m.

Al mismo tiempo que se realiza la plantación se va a realizar el primer abono. Aunque existen distintos tipos de combinaciones, para los tipos de cultivos que tenemos se ha decidido un abono N/P/K de concentración 11/22/9, de liberación lenta. Se considera una cantidad de 250 gramos por planta, es decir, 412,50 kg/ha.

En cuanto a las labores de mantenimiento, transcurrido un año desde la plantación, se lleva a cabo una limpia mediante la aplicación de un herbicida soluble foliar (3 l/ha).

Respecto al tratamiento contra plagas se realiza de forma circunstancial cuando la planta se vea afectada. Dado el caso, su aplicación se realizará mediante pulverización.

Para el terreno forestal se han considerado distintas producciones no sólo en función de la procedencia de la planta (clonal o seminal) sino también en función del entorno, es decir, asumiendo que estas se ven afectadas por el régimen de lluvias que de forma general son mayores en el Norte de la Península. Así pues se ha distinguido entre norte y centro-sur de España y entre eucalipto de origen clonal o seminal.

El turno de corta escogido para todas las variantes dentro de este terreno es de 26 años con una primera corta a los seis años y posterior cada cinco años.

Al final del turno se procede a llevar a cabo un des-toconado. Al igual que para el caso de los *Quercus*, la biomasa de los tocones se ha considerado como el 25% de la biomasa total extraída en la corta final correspondiente a la última fila de las tablas arriba indicadas.

En el siguiente cuadro se presentan las características y producciones de los distintos itinerarios propuestos (norte-sur y seminal-clonal). Se considera norte a la Cornisa Cantábrica y sur al resto de la geografía española.

**Tabla 27. Posibilidad del género *Eucalyptus*, procedencia clonal en el norte**

Género	Densidad (pies/ha)	Edad	Diámetro (cm)	Posibilidad (ts/ha)	Posibilidad (th/ha)
<i>Eucalyptus</i> clonal (Forestal Norte)	1.650	6	14	65,0	130
		11	13	60,0	120
		16		60,0	120
		21		60,0	120
		26		60,0	120
				15,0	30,0

Siendo th las toneladas consideradas a una humedad del 50% y ts las toneladas secas, es decir, al 0% de humedad.

**Tabla 28. Posibilidad del género *Eucalyptus*, procedencia seminal en el norte**

Género	Densidad (pies/ha)	Edad	Diámetro (cm)	Posibilidad (ts/ha)	Posibilidad (th/ha)
<i>Eucalyptus</i> seminal (Forestal Norte)	1.650	6	10	36,0	72
		11	9,5	33,5	67
		16		33,5	67
		21		33,5	67
		26		33,5	67
				8,4	16,8

**Tabla 29. Posibilidad del género *Eucalyptus*, procedencia clonal en el sur**

Género	Densidad (pies/ha)	Edad	Diámetro (cm)	Posibilidad (ts/ha)	Posibilidad (th/ha)
<i>Eucalyptus</i> clonal (Forestal Sur)	1.650	6	14	50,0	100
		11	13	45,0	90
		16		45,0	90
		21		45,0	90
		26		45,0	90
				11,25	22,5

Tabla 30. Posibilidad del género *Eucalyptus*, procedencia seminal en el sur

Género	Densidad (pies/ha)	Edad	Diámetro (cm)	Posibilidad (ts/ha)	Posibilidad (Th/ha)
<i>Eucalyptus</i> seminal (Forestal Sur)	1.650	6	9,2	30,0	60
		11	9	25,0	50
		16		25,0	50
		21		25,0	50
		26		25,0	50
				6,25	12,5

Así pues la posibilidad a lo largo del turno de vida de la masa es la que se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 31. Resumen posibilidad media a lo largo del ciclo del género *Eucalyptus*

Género/especie	Descripción	Densidad (pies/ha)	Turno corta (años)	Ciclo hasta destococonado (años)	Posibilidad total (th/ha)	Posibilidad media (ts/ha/a)	
						Con tocones	Sin tocones
<i>Eucalyptus</i>	Terreno forestal. Geografía Norte. Clonal	1.650	5	26	640,0	12,3	11,7
	Terreno forestal. Geografía Norte. Seminal				356,8	6,9	6,5
	Terreno forestal. Geografía Sur. Clonal				482,5	9,3	8,8
	Terreno forestal. Geografía Sur. Seminal				272,5	5,2	5,0

Siendo th las toneladas consideradas a una humedad del 50% y ts las toneladas secas, es decir, al 0% de humedad.

3.1.2.1.3 Itinerarios selvícolas: género *Pinus* en terreno forestal

Al igual que se describió para los géneros *Eucalyptus* y *Quercus*, resulta fundamental conocer las condiciones ecológicas sobre las que se puede implantar cada una de las especies de pino para asegurar el éxito del cultivo:

**Tabla 32. Condicionantes ecológicos del género *Pinus* para su implantación con fines energéticos en terrenos forestales**

Especie	Precipitación (mm/año)	pH	Altitud (m)	Climatología
<i>Pinus pinaster</i>	>300	Ácidos	<1.100	Climas calidos sin frío prolongados. Intolerancia a heladas
<i>Pinus radiata</i>	>900	No calizos	<600	Climas suaves y húmedos. Sin inviernos rigurosos
<i>Pinus sylvestris</i>	>400	Indiferente	1.000-1.800	Resistente a heladas y continentalidad
<i>Pinus nigra</i>	>600	Indiferente aunque prefiere calizos	800-1.600	Resistente a heladas
<i>Pinus pinea</i>	>250	No arcillosos	0-1.200	
<i>Pinus halepensis</i>	>200	No salinos ni arcillosos	<1.000	Resistente a sequías
<i>Pinus canariensis</i>	350-3.000	Ni calizos ni salinos	300-2.400	Resistente a sequías. Intolerante a las heladas

En general se precisa de un desbroce y subsolado lineal llevado a cabo en línea de máxima pendiente, previo a la plantación.

Para la plantación se precisa de 1.670 plantas/ha (plantación con marco aproximado 3x2 m).

El género *Pinus*, a efectos de producción de biomasa no precisa, en términos generales, ningún tratamiento cultural salvo quizás algún tratamiento de plaga y solo cuando ésta es muy intensa.

El turno está condicionado por la máxima renta en especie, aunque también la densidad de plantación marca un momento en el cual la competencia entre los pies debilita toda la masa, no pudiendo entonces alargarse la edad de corta, por ello el turno lo marca ese crecimiento y por tanto dependerá de la calidad de estación. En general el turno se establece en diferentes edades dependiendo de la especie considerada.

Los itinerarios selvícolas para las distintas especies del género *Pinus* consideradas se resumen a continuación:

**Tabla 33. Descripción de la selvicultura del género *Pinus* para su implantación con fines energéticos en terrenos forestales**

Especie	Desbroce y preparación del terreno	Plantación (pies/ha)	Tipo de planta	Abonado	Tratamientos culturales	Corta final (turno medio)
<i>Pinus pinaster</i> – Galicia y Cornisa Cantábrica	Subsolado lineal en línea de máxima pendiente y casilla picada sobre la línea subsolada	1.670 (2x3)	En envase	Sí, abono granulado	No precisa ningún tratamiento cultural, salvo quizás algún tratamiento de plaga y solo cuando ésta es muy intensa	20
<i>Pinus pinaster</i> – Meseta				NO		40
<i>Pinus radiata</i>				Sí, abono granulado		16
<i>Pinus sylvestris</i>						55
<i>Pinus nigra</i>						60
<i>Pinus pinea</i>						50
<i>Pinus halepensis</i>						50
<i>Pinus canariensis</i>						45*

\*No se dispone de tablas de producción para establecer un turno. Serrada propone realizar un clareo a los 25 años y una clara a los 35 para dejar 450–500 pies, esto significa que el turno para un cultivo energético debe situarse alrededor de los 35 años, a lo sumo 45

A diferencia del género *Quercus* y *Eucalyptus*, no se procederá a un destocoado cuando la implantación del cultivo forestal se lleve a cabo con especies del género *Pinus*. Esto se debe a que las cepas de pinos no tienen capacidad de rebrote. Por ello, se introducen las máquinas para realizar una nueva plantación mientras que las cepas se dejan para su posterior descomposición y abonado natural del terreno.

Las producciones resultantes para cada especie de pino son las siguientes:

**Tabla 34. Resumen posibilidad media a lo largo del ciclo del género *Pinus***

Especie	Densidad (ud/ha)	Edad	D med (cm)	V total (m <sup>3</sup> )	Biomasa total (ts)	Posibil. anual (th/ha)	Posibil. anual (ts/ha)	Total secas	
<i>Pinus pinaster</i>	<i>atlantica</i>	1.670	20	19	200	130	13	6,5	130
	<i>mesogensis</i>	1.670	40	21,5	200	168	8,4	4,2	168
<i>Pinus radiata</i>	1.670	16	19	170	189,5	23,7	11,8	189,5	
<i>Pinus sylvestris</i>	1.670	55	20	230	171,1	6,22	3,11	171,1	
<i>Pinus nigra</i>	1.670	60	19,5	300	172,7	5,76	2,88	172,7	
<i>Pinus pinea</i>	1.670	50	20	234	245,8	9,83	4,9	245,8	

(Continuación)

Especie	Densidad (ud/ha)	Edad	D med (cm)	V total (m <sup>3</sup> )	Biomasa total (ts)	Posibil. anual (th/ha)	Posibil. anual (ts/ha)	Total secas
<i>Pinus halepensis</i>	1.670	45	13,5	106,5	65,5	2,91	1,45	65,5
<i>Pinus canariensis</i>	1.670	35	14,5	-	100,9	5,76	2,88	100,9

A continuación se describe resumidamente el itinerario selvícola a seguir, así como sus producciones a lo largo del turno de la plantación.

**Tabla 35. Itinerarios selvícolas del género *Pinus* para su implantación con fines energéticos en terrenos forestales**

Especie	Edad	D med (cm)	Labor	Posibil. (th/ha)	Posibil. (ts/ha)	Posibil. anual (th/ha·año)	Posibil. anual (ts/ha·año)	
Todas las especies	0		Subsolado					
	0		Plantación (1.670 pies/ha) y abonado					
<i>Pinus pinaster</i>	<i>atlantica</i>	20	19	Corta	260,0	130,0	13	6,5
	<i>mesogensis</i>	40	21,5	Corta	336,0	168,0	8,4	4,2
<i>Pinus radiata</i>	16	19	Corta	377,6	188,8	23,7	11,8	
<i>Pinus sylvestris</i>	55	20	Corta	342,1	171,1	6,22	3,11	
<i>Pinus nigra</i>	60	19,5	Corta	345,6	172,8	5,76	2,88	
<i>Pinus pinea</i>	50	20	Corta	490,0	245,0	9,83	4,9	
<i>Pinus halepensis</i>	50	13,5	Corta	145,0	72,5	2,91	1,45	
<i>Pinus canariensis</i>	45	14,5	Corta	259,2	129,6	5,76	2,88	

En el ANEXO II. Técnicas de producción utilizadas: desarrollo de los itinerarios selvícolas o de cultivo para la producción de cultivos energéticos y los sistemas de silvicultura y aprovechamiento para los restos forestales, se detalla minuciosamente la caracterización y sistemas selvícolas a aplicar para cada género estudiado, además de hacer referencia a otros posibles géneros.

### 3.1.2.2 Estimación de biomasa

La única biomasa a tener en cuenta a efectos de cálculo en el caso de cultivos energéticos es la

biomasa potencial disponible de la fracción de árbol completo, es decir, la biomasa resultante de considerar como superficies susceptibles de implantación aquellas que cumplan las condiciones correspondientes al cultivo (pendiente) y a la especie a implantar (condicionantes ecológicos y climáticos de la especie) descritas en el apartado que se presenta a continuación.

#### 3.1.2.2.1 Base cartográfica

La base cartográfica empleada será la misma que la definida en el apartado 3.1.1.2.1 incluyendo el *mapa geológico de España y una limitación de especies por*



provincias debido a causas climatológicas (precipitaciones y riesgo de heladas). La geología y la climatología se consideran un factor limitante, de tipo ecológico fundamentalmente. Determinadas especies presentan preferencias por un tipo de sustrato específico y/o tienen unos requerimientos mínimos de precipitaciones anuales mientras otras se mantienen indiferentes. Por tanto, es importante su consideración a la hora de elegir la especie a implantar.

Así pues la base cartográfica a emplear es:

- *Mapa Forestal de España escala 1:50.000 (MFE50)*. A partir de esta cartografía se determinan y definen espacialmente las formaciones objeto de estudio, en este caso los sistemas forestales desarbolados.
- *Mapa de Parques Nacionales (PPNN) y otras figuras de protección*. Se elimina de la zona de estudio todos los Parques Nacionales. Además, en el caso de otras figuras de protección también se tendrá en cuenta la presencia de éstas.
- *Mapa de Pendientes*. La pendiente del terreno condiciona los rendimientos de los trabajos de aprovechamiento en función de los posibles sistemas logísticos.
- *Mapa de Productividad Potencial Forestal (Gandullo & Serrada)*. A partir de dicho mapa se obtiene información sobre la productividad de las estaciones forestales, en función del tipo de suelo y del clima de cada zona en la que se encuentran.
- *Mapa de Altitudes*. La altitud se considera un factor limitante a la hora de la implantación de las posibles especies en un lugar concreto.
- *Mapa geológico*. La geología, al igual que la altitud, va a limitar la implantación de una especie u otra en función de su ecología.
- *Mapa de Términos Municipales*. Se va a emplear la cartografía de Términos Municipales del INE.
- *Mapa de Red Viaria*. La red viaria existente será determinante a la hora del cálculo de costes de saca del monte y transporte hasta central.

### 3.1.2.2.2 Identificación cartográfica de las superficies susceptibles de aprovechamiento

- Únicamente se consideran susceptibles de implantación aquellos **sistemas forestales desarbolados** que cumplan alguna de las siguientes condiciones:
  - Matorral, es decir, aquellos territorios o ecosistemas identificadas en el MFE con el código 18.
  - Monte desarbolado sin vegetación superior identificadas en el MFE con el código 10.
  - Mosaicos (mosaico arbolado sobre cultivo –25, mosaico arbolado sobre forestal desarbolado

–26, mosaico desarbolado sobre cultivo –27), cultivos con arbolado (28) y pastizales-matorrales (35) *siempre y cuando* la especie con mayor ocupación sea forestal.

- Además, se limita el aprovechamiento por razones económicas, de mecanización y de erosión a terrenos con **pendiente igual o menor al 30% en toda España, excepto en la Cornisa Cantábrica** donde se considera la posibilidad de implantación hasta pendientes del **50%**.
- En cuanto a las especies consideradas como susceptibles de implantación, a continuación se presentan junto con su codificación a la hora de trabajar en la herramienta informática:

**Tabla 36. Especies consideradas en masas forestales con fines energéticos a implantar en terreno forestal y su codificación**

Género	Especie	Código
<i>Eucalyptus</i>	<i>E.globulus</i>	61
	<i>E.calmadulensis</i>	62
	<i>E.nitens</i>	63
<i>Quercus</i>	<i>Q.faginea</i>	44
	<i>Q.ilex</i>	45
	<i>Q.pubescens</i>	243
	<i>Q.canariensis</i>	47
	<i>Q.pyrenaica</i>	43
	<i>Q.suber</i>	46
	<i>P.pinaster</i>	26
<i>Pinus</i>	<i>P.radiata</i>	28
	<i>P.sylvestris</i>	21
	<i>P.nigra</i>	25
	<i>P.pinea</i>	23
	<i>P.halepensis</i>	24
	<i>P.canariensis</i>	27

- Como se ha comentado anteriormente se excluyen del análisis por razones ecológicas aquellas formaciones situadas en **cotas altitudinales** superiores a las propias de cada especie. Por tanto, para cada especie en particular se tienen en cuenta las siguientes límites altitudinales:

**Tabla 37. Limitación altitudinal de las especies forestales susceptibles de implantación con fines energéticos en terreno forestal**

Especie	Altitud (m)
<i>Quercus suber</i>	0-1.000
<i>Quercus ilex sbsp ilex</i>	0-1.400
<i>Quercus ilex sbsp ballota</i>	
<i>Quercus faginea sbsp faginea</i>	500-1.000
<i>Quercus faginea sbsp broteroi</i>	
<i>Quercus pyrenaica</i>	0-1.500
<i>Quercus pubescens</i>	0-1.500
<i>Quercus canariensis</i>	100-600
<i>Eucalyptus globulus</i>	≤400
<i>Eucalyptus calmadulensis</i>	≤650
<i>Eucalyptus nitens</i>	400-650
<i>Pinus pinaster</i>	<1.100
<i>Pinus radiata</i>	<600
<i>Pinus sylvestris</i>	1.000-1.800
<i>Pinus nigra</i>	800-1.600
<i>Pinus pinea</i>	0-1.200
<i>Pinus halepensis</i>	<1.000
<i>Pinus canariensis</i>	300-2.400

- Además, dependiendo de la especie, se limita su implantación mediante geología del terreno de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 38. Limitación geológica de las especies forestales susceptibles de implantación con fines energéticos en terreno forestal**

Especie	Suelos (pH)
<i>Quercus suber</i>	Calizos
<i>Quercus ilex sbsp ilex</i>	Indiferente al sustrato
<i>Quercus ilex sbsp ballota</i>	
<i>Quercus faginea sbsp faginea</i>	Neutros-calizos
<i>Quercus faginea sbsp broteroi</i>	Ácidos
<i>Quercus pyrenaica</i>	Neutros ácidos
<i>Quercus pubescens</i>	Ácidos
<i>Quercus canariensis</i>	Neutro/ácido
<i>Eucalyptus globulus</i>	Neutros o ácidos (pH<6,5)
<i>Eucalyptus calmadulensis</i>	
<i>Eucalyptus nitens</i>	
<i>Pinus pinaster</i>	Ácidos
<i>Pinus radiata</i>	Neutros/ácidos
<i>Pinus sylvestris</i>	Indiferente
<i>Pinus nigra</i>	Indiferente-calizos
<i>Pinus pinea</i>	No arcillosos
<i>Pinus halepensis</i>	Ni salinos ni arcillosos
<i>Pinus canariensis</i>	Ni calizos ni salinos

- Tomando como base el mapa de precipitaciones, se tendrá en cuenta la viabilidad de cada especie en función de sus requerimientos de agua de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 39. Limitación por precipitaciones de las especies forestales susceptibles de implantación con fines energéticos en terreno forestal**

Espece	Precipitación (mm)
<i>Quercus suber</i>	>400
<i>Quercus ilex sbsp ilex</i>	>600
<i>Quercus ilex sbsp ballota</i>	350-1.000
<i>Quercus faginea sbsp faginea</i>	800
<i>Quercus faginea sbsp broteroi</i>	
<i>Quercus pyrenaica</i>	600
<i>Quercus pubescens</i>	600
<i>Quercus canariensis</i>	>600
<i>Eucalyptus globulus</i>	>600
<i>Eucalyptus calmadulensis</i>	
<i>Eucalyptus nitens</i>	
<i>Pinus pinaster</i>	>300
<i>Pinus radiata</i>	>900
<i>Pinus sylvestris</i>	>400
<i>Pinus nigra</i>	>600
<i>Pinus pinea</i>	>250
<i>Pinus halepensis</i>	>200
<i>Pinus canariensis</i>	350-3.000

Ahora bien, a falta de una adecuada cartografía de precipitaciones se han limitado la ubicación de las distintas especies por **provincias geográficas**.

**Tabla 40. Limitación por provincias de las especies forestales susceptibles de implantación con fines energéticos en terreno forestal**

Espece	Geografía (por provincias o CCAA)
<i>Quercus suber</i>	Galicia, Gerona y algo en Barcelona, Extremadura, Huelva, Cádiz, Málaga, Córdoba
<i>Q. ilex</i>	Toda España menos Galicia
<i>Q. faginea</i>	Extremadura, Castilla-La Mancha, Andalucía (excepto Almería), Madrid, Castilla y León, Navarra, Aragón, La Rioja, Cataluña, Castellón
<i>Q. pubescens</i>	Cataluña, País Vasco, Cantabria, Asturias, Galicia, Castilla y León, La Rioja, Madrid, Cáceres, Castilla-La Mancha, Andalucía
<i>Q. pyrenaica</i>	Cataluña, País Vasco, Cantabria, Asturias, Galicia, Castilla y León, La Rioja, Madrid, Cáceres, Castilla-La Mancha, Andalucía
<i>Q. canariensis</i>	Cádiz
<i>Eucalyptus globulus</i>	Huelva, Cádiz, Badajoz, Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco
<i>Eucalyptus nitens</i>	Galicia
<i>Eucalyptus calmadulensis</i>	Huelva, Cádiz, Badajoz
<i>Pinus pinaster norte</i>	Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco

(Continuación)

Especie	Geografía (por provincias o CCAA)
<i>Pinus pinaster sur</i>	Castilla y León, Madrid, Castilla-La Mancha, Cáceres, Castellón, Valencia, Cataluña
<i>Pinus radiata</i>	Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Canarias
<i>Pinus sylvestris</i>	Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Navarra, La Rioja, Castilla y León, Madrid, Aragón, Cataluña, Castellón
<i>Pinus nigra</i>	Castilla y León, País Vasco, Navarra, La Rioja, Aragón, Cataluña, Castellón, Jaén, Granada
<i>Pinus pinea</i>	Cataluña, Comunidad Valenciana, Valladolid, Segovia, Madrid, Cuenca, Ciudad Real, Extremadura, Andalucía
<i>Pinus halepensis</i>	Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia, Almería, Granada, Málaga, Cádiz, Madrid, Castilla-La Mancha, Aragón, Navarra
<i>Pinus canariensis</i>	Canarias

Se van a distinguir aquellas superficies **pertencientes o no a Parques Nacionales**, por razones medioambientales y ecológicas. El resto de figuras de protección no se consideran restrictivas.

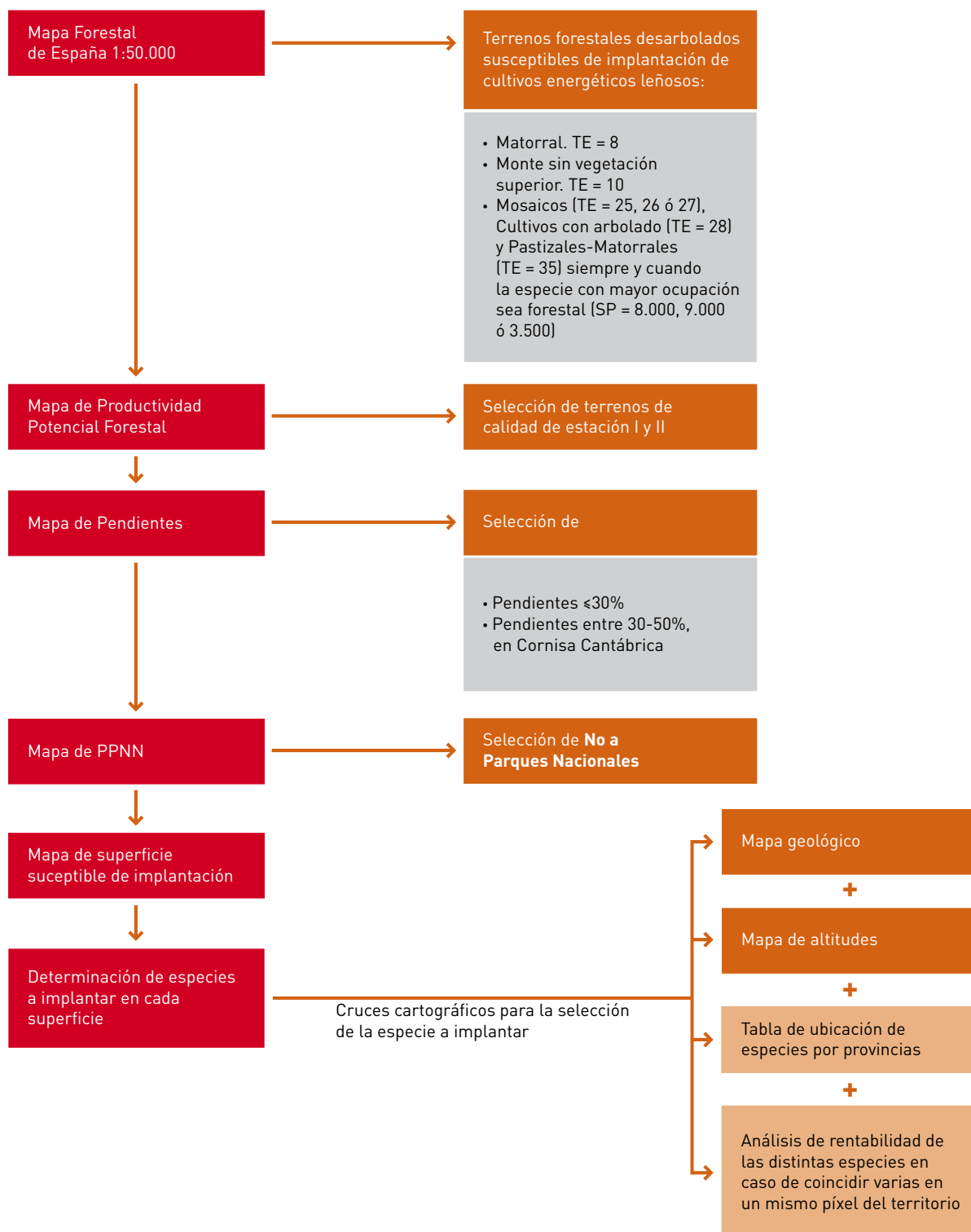
Se consideran únicamente las **zonas de altas productividades** (clases I y II del Mapa de Productividad Potencial Forestal) por razones de rentabilidad del cultivo.

Finalmente, para la asignación de la especie a implantar en cada superficie se realiza un **cálculo de rentabilidad** de modo que se le asigna a cada superficie aquella especie, o género, más rentable.

El análisis de rentabilidad lo lleva a cabo la herramienta informática mediante el cálculo de ingresos, a partir del cálculo de biomasa descrito

posteriormente y el precio de la biomasa definido para el estudio (por defecto 48 €/t) a la humedad que se haya elegido, y el cálculo de gastos, los cuales comprenden las labores de preparación del terreno, plantación, labores de mantenimiento (herbicidas, plaguicidas, etc.), labores de aprovechamiento o cosechado, destocado al final del ciclo de la plantación, adecuación, saca y transporte hasta el lugar de valorización o almacenamiento. Ver ANEXO III. Análisis de rentabilidad de masas a implantar.

Así pues, según lo definido anteriormente, en el siguiente esquema se presenta la metodología a seguir a la hora de la identificación de las superficies susceptibles de aprovechamiento:



La tabla de selección de especies para cada píxel susceptible de implantación es la que se presenta a continuación:

**Tabla 41. Resumen de limitaciones de las especies forestales susceptibles de implantación con fines energéticos en terreno forestal**

Especie	Suelos (pH)	Altitud (m)	Geografía (por provincias o CCAA)
<i>Quercus suber</i>	Ácido	0-1.000	Galicia, Gerona y algo en Barcelona, Extremadura, Huelva, Cádiz, Málaga, Córdoba
<i>Q. ilex</i>	Indiferente	0-1.400	Toda España menos Galicia
<i>Q. faginea</i>	Indiferente		Extremadura, Castilla-La Mancha, Andalucía (excepto Almería), Madrid, Castilla y León, Navarra, Aragón, La Rioja, Cataluña, Castellón
<i>Q. pubescens</i>	Ácido	0-1.500	Cataluña, País Vasco, Cantabria, Asturias, Galicia, Castilla y León, La Rioja, Madrid, Cáceres, Castilla-La Mancha, Andalucía
<i>Q. pyrenaica</i>	Ácido	0-1.500	Cataluña, País Vasco, Cantabria, Asturias, Galicia, Castilla y León, La Rioja, Madrid, Cáceres, Castilla-La Mancha, Andalucía
<i>Q. canariensis</i>	Ácido	100-600	Cádiz
<i>Eucalyptus globulus</i>	Ácido	≤400	Huelva, Cádiz, Badajoz, Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco
<i>Eucalyptus nitens</i>	Ácido	400-650	Galicia
<i>Eucalyptus calmadulensis</i>	Ácido	≤650	Huelva, Cádiz, Badajoz
<i>Pinus pinaster norte</i>	Ácido	<1.100	Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco
<i>Pinus pinaster sur</i>	Ácido		Castilla y León, Madrid, Castilla-La Mancha, Cáceres, Castellón, Valencia, Cataluña
<i>Pinus radiata</i>	Ácido	<600	Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Canarias
<i>Pinus sylvestris</i>	Ácido	1.000-1.800	Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Navarra, La Rioja, Castilla y León, Madrid, Aragón, Cataluña, Castellón
<i>Pinus nigra</i>	Básico	800-1.600	Castilla y León, País Vasco, Navarra, La Rioja, Aragón, Cataluña, algo en Castellón, Jaén, Granada
<i>Pinus pinea</i>	Ácido	0-1.200	Cataluña, Comunidad Valenciana, Valladolid, Segovia, Madrid, Cuenca, Ciudad Real, Extremadura, Andalucía

(Continuación)

Espece	Suelos (pH)	Altitud (m)	Geografía (por provincias o CCAA)
<i>Pinus halepensis</i>	Básico	<1.000	Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia, Almería, Granada, Málaga, Cádiz, Madrid, Castilla-La Mancha, Aragón, Navarra
<i>Pinus canariensis</i>	Ácido	300-2.400	Canarias

Como se ha comentado, tras la determinación de qué especies son susceptibles de implantación en el territorio seleccionado es necesario un análisis de rentabilidad de la plantación con el fin de definir qué especie es más conveniente implantar en aquellas zonas donde coincidan varias especies como susceptibles de implantación. Es decir, si un mismo píxel es susceptible de implantación *Eucalyptus globulus* clonal y *Pinus pinaster*, obviamente se selecciona a la hora de la implantación el *Eucalyptus globulus* clonal, dado que es más rentable.

El análisis de rentabilidad va a depender del precio de la biomasa, posibilidad anual de la masa a implantar, contenido de humedad del material, costes horarios de la maquinaria y sus rendimientos, y finalmente de la tasa de interés anual tomada a la hora de actualizar gastos e ingresos. Así pues, tomado como ejemplo para el análisis de rentabilidad una tasa de interés anual del 4%, un contenido de humedad del 50%, los costes horarios definidos por defecto en la herramienta y que se exponen en el apartado 3.1.1.4.1 Coste horario de la maquinaria a emplear y los rendimientos definidos en 3.1.1.4.2, las especies según su orden de rentabilidad, teniendo en cuenta todas las labores a realizar (preparación del terreno, plantación, etc.) son las que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 42. Orden de rentabilidad de las especies forestales susceptibles de implantación con fines energéticos en terreno forestal**

Especies por orden descendente de rentabilidad
<i>Eucalyptus globulus</i> clonal norte
<i>Eucalyptus nitens</i> clonal norte
<i>Eucalyptus globulus</i> clonal sur
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> clonal sur
<i>Pinus radiata</i>
<i>Eucalyptus globulus</i> seminal norte
<i>Eucalyptus nitens</i> seminal norte
<i>Pinus pinaster</i> norte
<i>Eucalyptus globulus</i> seminal sur
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> seminal sur
<i>Pinus halepensis</i>
<i>Pinus pinaster</i> meseta
<i>Pinus pinea</i>
<i>Quercus</i> (todas las especies)
<i>Pinus sylvestris</i>
<i>Pinus nigra</i>
<i>Pinus canariensis</i>

En el ANEXO III. Análisis de rentabilidad de masas a implantar se presenta el análisis de rentabilidad detallado.

### 3.1.2.2.3 Cálculo de biomasa forestal potencial disponible

En el caso de la estimación de la biomasa procedente de masas a implantar en terrenos forestales únicamente cabe hablar de biomasa potencial disponible, eliminando los conceptos de biomasa potencial total y biomasa potencial accesible.

Una vez determinada la superficie forestal susceptible de implantación, el cálculo de la biomasa potencial disponible va a depender de la especie de aprovechamiento (su itinerario selvícola y su posibilidad potencial previamente definidos), la superficie neta de cultivo (tras eliminar superficies de giro y de caminos), así como de la calidad de la estación (geología y climatología).

- **Superficie neta de aprovechamiento**

Dado que, por lo general, se trata de formaciones monoespecíficas (ocupación de la especie=100%) donde se trata de buscar la fracción de cabida cubierta completa (FCC=1), la superficie neta de aprovechamiento será considerada igual a la superficie de cada tesela de vegetación del MFE50 seleccionada en la evaluación cartográfica reducida un 10% debido a la pérdida de superficie dedicada a creación de caminos y zonas de giro

de maquinaria. Así pues, la superficie neta de implantación es:

$$S_N = FCC_a \cdot O \cdot St \cdot (1-PS)$$

donde,

FCC<sub>a</sub>, fracción de cabida cubierta arbolada es del 100%.

O, ocupación es el 100%.

St, es la superficie total de la tesela.

Ps, es la pérdida de superficie en %.

- **La calidad de la estación:** viene definida por la Productividad Potencial Forestal la cual representa la máxima productividad, expresada en m<sup>3</sup>/ha-año de madera, de una estación forestal con las restricciones que la imponen el suelo y clima. En el caso de biomasa a implantar en terreno forestal, únicamente se tendrán en cuenta aquellos terrenos con calidad de estación media-alta por motivos de rentabilidad del uso, es decir, se centrará el estudio a aquellas zonas con clases I (Ia, Ib y Ic) y II (IIa y IIb).

Cada clase tiene asociado un rango de productividad en m<sup>3</sup>/ha-año, del cual se ha obtenido la media (valor de la clase), estableciendo en base a ella un coeficiente de corrección de las posibilidades expuestas en la tabla del punto anterior (coeficiente multiplicador de mayoración o minoración).

**Tabla 43. Productividad potencial forestal de España Peninsular para cultivos energéticos en terreno forestal para la implantación de masas forestales**

Clase	Productividad (m <sup>3</sup> /ha-año)			
	Mín.	Máx.	Valor de la clase	Coefficiente de mayoración/minoración
Ia	9	(9,75)	9,375	2,05
Ib	8,25	9	8,625	1,88
Ic	7,5	8,25	7,875	1,72
IIa	6,75	7,5	7,125	1,56
IIb	6	6,75	6,375	1,39

- **Coefficiente de recogida:** dado que el uso de estas plantaciones es energético el coeficiente de recogida (o efectividad en la recogida) deberá encontrarse próximo, si no igual, al 100%. Por tanto, se define Cr=100%.



Según lo establecido anteriormente la ecuación de cálculo de la biomasa potencial disponible es:

$$BCF (t/año) = Ppot \cdot SN \cdot MPPF \cdot Cr = Ppot \cdot St \cdot (1 - PS) \cdot MPPF \cdot Cr$$

$$BCF (t/ha \cdot año) = Ppot \cdot (1 - PS) \cdot MPPF \cdot Cr$$

Siendo,

BCF, la biomasa potencial disponible procedente del aprovechamiento de cultivos energéticos en terreno forestal.

PPot, la posibilidad potencial de la especie seleccionada en el píxel.

St, la superficie del píxel (trabajamos con píxeles de 1 ha).

Cr, el coeficiente de recogida según la pendiente de la tesela (100%).

PS, pérdida de superficie (10%).

MPPF, la productividad potencial forestal del terreno.

Se ha considerado en las tablas de cálculo que el material posee un contenido de humedad del 0%. Por ello, para el cálculo de la cantidad de biomasa obtenida a un contenido de humedad x% se aplicará la siguiente fórmula matemática: Biomasa x% = Biomasa 0%/(1-x).

### 3.1.2.3 Definición de sistemas logísticos

Un sistema logístico se compone de distintos procesos generales y de la maquinaria que cada uno lleva asociada. Dichos procesos han sido resumidos de manera general en apartados anteriores con el fin de poder explicar los itinerarios selvícolas para cada especie.

En el caso de implantación de masas en terreno forestal cada especie lleva asociado dos únicos sistemas logísticos considerados como los dos más representativos de las actuaciones realizadas hasta ahora en España, referentes a la forma de aprovechamiento de la biomasa al final de cada turno. Así pues, a la hora del aprovechamiento de las masas se plantean dos opciones: astillado en cargadero para su transporte posterior del material astillado o el transporte en bruto del material hasta central o centro de adecuación y almacenamiento con su posterior astillado hasta las dimensiones requeridas para posibilitar su valorización energética.

En las siguientes tablas se presentan las distintas operaciones y la maquinaria empleada en cada tipo de masa a implantar:

**Tabla 44. Sistemas logísticos para la obtención de biomasa procedente de masas del género *Eucalyptus* susceptibles de implantación en terreno forestal**

Descripción general	Preparación terreno. Subsulado	Abonado y plantación	Limpia (aplic. herb)	Tratamiento plagas	Corta y saca a cargadero	Tratamiento en cargadero	Transporte a central	Tratamiento en central	Destoconado				
									Extracción	Reunión de tocones	Saca a cargadero	Transporte a central	Trat. en central
<i>Eucalyptus</i> clonal norte astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	Astilladora en cargadero	Transporte en camión piso móvil	na	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
<i>Eucalyptus</i> clonal norte astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	na	Transporte en camión rígido del árbol completo	Astilladora en central	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque

(Continuación)

Descripción general	Preparación terreno. Subsolado	Abonado y plantación	Limpia (aplic. herb)	Tratamiento plagas	Corta y saca a cargadero	Tratamiento en cargadero	Transporte a central	Tratamiento en central	Destocoñado				
									Extracción	Reunión de tocones	Saca a cargadero	Transporte a central	Trat. en central
<i>Eucalyptus</i> seminal norte astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	Astilladora en cargadero	Transporte en camión piso móvil	na	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
<i>Eucalyptus</i> seminal norte astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	na	Transporte en camión rígido del árbol completo	Astilladora en central	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
<i>Eucalyptus</i> clonal sur astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	Astilladora en cargadero	Transporte en camión piso móvil	na	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
<i>Eucalyptus</i> clonal sur astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	na	Transporte en camión rígido del árbol completo	Astilladora en central	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
<i>Eucalyptus</i> seminal sur astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	Astilladora en cargadero	Transporte en camión piso móvil	na	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
<i>Eucalyptus</i> seminal sur astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	na	Transporte en camión rígido del árbol completo	Astilladora en central	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque

- La preparación del terreno se lleva a cabo mediante un Bulldozer 120 CV que efectúa el subsolado.
- La plantación se realiza con tractor agrícola con apero plantador que realiza el primer y único abonado simultáneamente.
- Tanto la aplicación del herbicida para la limpia (realizada al año de plantación) como del plaguicida, se aplica con un tractor agrícola dotado de una cuba.
- La cosecha se realizará utilizando un tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador

cuya productividad depende de los diámetros de cada producción (se especificará en detalle en el siguiente apartado). La característica fundamental de la plantación de eucalipto es que no se pueden aplicar cosechadoras típicas agrícolas debiendo utilizarse cosechadoras forestales, en las que el rendimiento depende del tamaño de los árboles, por eso se necesita aplicar turnos un poco más largos con un número de pies ligeramente inferior.

- La adecuación del material a las dimensiones deseadas se puede llevar a cabo mediante un astillado en cargadero o un astillado en central o centro de almacenamiento.
- El transporte de cargadero a central se lleva a cabo a través de un camión piso móvil, en caso de astillado en cargadero, o camión rígido en caso de astillado en central o centro de almacenamiento.

La herramienta presenta la posibilidad de astillar en cargadero de monte o en central o centro de almacenamiento, pudiendo seleccionarse ambos sistemas de modo que se puedan establecer comparaciones entre ambos.

**Tabla 45. Sistemas logísticos para la obtención de biomasa procedente de masas del género *Quercus* susceptibles de implantación en terreno forestal**

Descripción general	Preparación terreno. Subsolado	Abonado y plantación	Limpia (aplic. herb)	Trat. plagas	Corta y saca a cargadero	Tratamiento en cargadero	Transporte a central	Tratamiento en central	Destoconado				
									Extracción	Reunión de tocones	Saca a cargadero	Transporte a central	Trat. en central
<i>Quercus</i> astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	Astilladora en cargadero	Transporte en camión piso móvil	na	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
<i>Quercus</i> astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	na	Transporte en camión rígido del árbol completo	Astilladora en central	Retroexcav.	Bulldozer empujador	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque

En el caso del género *Quercus*:

- La preparación del terreno (desbroce y preparación simultánea del terreno) se realiza mediante un Bulldozer 120 CV con desbrozadora de martillos y subsoladora que prepara el terreno con subsolado cruzado.
- La plantación se lleva a cabo con tractor agrícola con apero plantador.
- La cosecha se realizará utilizando un tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador que a su vez realiza el transporte hasta cargadero.
- La adecuación del material se puede llevar astillando en cargadero o astillando en central o centro de almacenamiento.
- El transporte de cargadero a central se lleva a cabo mediante un camión piso móvil en caso de que se transporte astilla, o un camión rígido en caso de transportar árboles completos.
- De forma general para el destoconado se ha optado por el mismo sistema tanto para el género *Quercus* como para el *Eucalyptus*. Se trata de una retroexcavadora que realiza la extracción de los tocones, seguida de un bulldozer que bs empuja

para reunirlos a pie de pista. Para el transporte a central se utilizará un camión tráiler.

- Una vez en central los tocones son pretriturados, cribados para quitar las impurezas y posteriormente el proceso se cierra con un triturado final.

**Tabla 46. Sistemas logísticos para la obtención de biomasa procedente de masas del género *Pinus* susceptibles de implantación en terreno forestal**

Descripción general	Preparac. terreno Subsolado	Abonado y plantac.	Limpia (aplic. herb)	Trat. plagas	Corta y saca a cargadero	Tratamiento en cargadero	Transporte a central	Trat. en central	Destoc.
<i>Pinus pinaster</i> norte astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	Astilladora en cargadero	Transporte en camión piso móvil	na	na
<i>Pinus pinaster</i> meseta astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus radiata</i> astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus sylvestris</i> astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus nigra</i> astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus pinea</i> astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus halepensis</i> astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus canariensis</i> astillado en cargadero	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				

(Continuación)

Descripción general	Preparac. terreno Subsolado	Abonado y plantac.	Limpia (aplic. herb)	Trat. plagas	Corta y saca a cargadero	Tratamiento en cargadero	Transporte a central	Trat. en central	Destoc.
<i>Pinus pinaster</i> norte astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	na	Transporte en camión rígido del árbol completo	Astill. en central	na
<i>Pinus pinaster</i> meseta astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus radiata</i> astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus sylvestris</i> astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus nigra</i> astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus pinea</i> astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus halepensis</i> astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				
<i>Pinus canariensis</i> astillado en central	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	na	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)				

En el caso del género *Pinus*:

- La preparación del terreno se lleva a cabo mediante un Bulldozer 120 CV con desbrozadora de martillos y subsoladora que prepara el terreno con subsolado lineal en línea de máxima pendiente.
- La plantación y el abonado se realizan simultáneamente con tractor agrícola con apero plantador.
- El apeo se lleva a cabo con autocargador dotado con cabezal cosechador en punta de grúa, que después del apeo de varios pies, carga estos en su remolque, dejando la punta hacia fuera del tractor. Es el mismo autocargador quien realiza el transporte desde monte a cargadero. Dado que en el momento de la corta el diámetro es inferior a 15 cm en el *Pinus halepensis* y *Pinus*

*canariensis*, el autocargador va dotado de un cabezal multitalador.

- Una vez el material se encuentra en cargadero, puede ser astillado y transportado mediante camión piso móvil hasta central o cargar los árboles completos en un camión rígido para su posterior astillado en central.

### 3.1.2.4 Cálculo de costes de obtención de biomasa

Se van a distinguir seis tipos de costes en función de los conceptos y procesos a los que hace referencia:

- **Costes de preparación y mantenimiento (€/ha).** Costes necesarios para la preparación del terreno antes de la repoblación (subsulado, abonado, etc.)

y posterior mantenimiento de la masa (herbicida, plaguicida, etc.).

- **Costes de destocoñado (€/ha).** En estos costes se incluye el coste del destocoñado al final del turno de la masa.
- **Costes de aprovechamiento (€/t).** En estos costes se incluye el apeo y la reunión del material.
- **Costes de adecuación del material (€/t):** incluye todos aquellos procesos dirigidos a la transformación del material en bruto (empacado, triturado, astillado) ya sea en campo, cargadero o en el parque de la central o centro de tratamiento y almacenamiento.
- **Costes de saca (€/ha/t)** hasta cargadero donde se cargará el camión con el que se realiza el transporte por vías asfaltadas (compuesto por coste de carga en monte, saca y descarga en cargadero). Se ha considerado cargadero, el punto más cercano de conexión con las vías asfaltadas digitalizadas, evitándose masas y cursos de agua, así como elevadas pendientes.
- **Costes de transporte (€/ha/t):** abarca el transporte por vías asfaltadas desde el cargadero hasta el lugar en el que se ha ubicado la central o centro de almacenado (compuesto por carga en cargadero, transporte y descarga en central).

### 3.1.2.4.1 Costes unitarios

#### 3.1.2.4.1.1 Coste horario de la maquinaria a emplear

Los principales parámetros que componen el coste horario de la maquinaria son los definidos en el apartado 3.1.1.4.1 Coste horario de la maquinaria a emplear.

Teniendo en cuenta los sistemas logísticos diseñados para cada especie y los parámetros considerados para el caso de la biomasa procedente de restos de aprovechamientos forestales y de árboles completos, los costes horarios de la maquinaria fueron calculados mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Coste horario de la maquinaria (€/h)} = [Pa \cdot (1 - \text{Sub} - \text{Re}) / Vu] + [[Pa \cdot (1 - \text{Sub} - \text{Re})] \cdot Ti \cdot ((Vu / \text{HAT}) + 1) / (2 \cdot Vu)] + Se \cdot [Pa / \text{HAT}] + Cc \cdot Pc + [MR\% \cdot (Pa / Vu)] + OC + MO + C \text{ fijo explotac}$$

Siendo:

- VU, vida útil (h).
- Pa, precio de adquisición de la máquina.
- Sub, subvenciones. Valor predefinido del 25%.
- Re, precio de reventa (€).
- Ti, tipo de interés. Valor predefinido del 4%.
- HAT, horas anuales de trabajo (h).

- MO: mano de obra.
- Cc: consumo de combustible (l/h).
- Ce: coste fijo de explotación (€/h).
- MR%, mantenimiento y reparaciones. Valor predefinido del 25%.
- OC, otros combustibles (€/h).
- Cfijo explotac, coste fijo de explotación (incluye coste de transporte de la maquinaria al lugar de trabajo).

La herramienta informática permite la variación del precio de adquisición de la maquinaria, porcentaje de subvenciones, porcentaje de tipo de interés y porcentaje de mantenimiento y reparaciones de la maquinaria, de modo que se pueda establecer el coste horario adecuado para cada circunstancia concreta de trabajo.

A continuación se presentan los costes horarios de las distintas maquinarias consideradas por los sistemas logísticos definidos:

**Tabla 47. Costes horarios de la maquinaria empleada para el aprovechamiento de masas forestales susceptibles de implantación en terrenos forestales**

Máquina	Coste horario (€/h)
Bulldozer 120	60,38
Tractor agrícola con remolque, cuba, apero plantador o con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	41,06
Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador o multitalador	79,9
Astilladora cargadero	98,58
Astilladora parque	86,53
Retroexcavadora	51,51
Trituradora parque	109,1
Pretrituradora central	92,15

(Continuación)

Máquina	Coste horario (€/h)
Cribadora	57,59
Camión remolque	71,05
Piso móvil	82,41

En el ANEXO III. Parámetros básicos de cálculo se describe detalladamente el cálculo de los costes horarios.

#### 3.1.2.4.1.2 Otros costes

A la hora de implantación de nuevas masas en terreno forestal (replantaciones) existen otros costes

independientes de los costes horarios; son aquellos costes derivados de los precios del abono, herbicida y plaguicida. Estos precios se han considerado constantes para todas las especies, si bien se trata de un parámetro que se podría modificar y adaptar a las condiciones actuales o hipotéticas de mercado.

Otro coste independiente de los costes horarios, pero que a diferencia de los precios descritos anteriormente sí depende del género/especie de la plantación así como de su procedencia, es el precio de la planta.

En la siguiente tabla se presentan los distintos precios tomados como de referencia, así como las cantidades necesarias para cada género, procedencia y distribución.

**Tabla 48. Otros costes derivados de la implantación de masas forestales en terreno forestal**

Descripción general	Precio abono (€/kg)	Abono necesario (kg/ha)	Coste abono (€/ha)	Precio planta (€/ud)	Planta necesaria (ud/ha)	Coste planta (€/ha)	Precio herbicida (€/l)	Herbicida necesario (l/ha)	Coste herbicida (€/ha)	Precio plaguicida (€/l)	Plaguicida necesario (l/ha)	Coste plaguicida (€/ha)
<i>Eucalyptus</i> clonal norte	0,24	412,50	96,94	0,50	1.650,00	825,00	6,00	3,00	18,00	6,00	3,00	18,00
<i>Eucalyptus</i> seminal norte	0,24	412,50	96,94	0,11	1.650,00	181,50	6,00	3,00	18,00	6,00	3,00	18,00
<i>Eucalyptus</i> clonal sur	0,24	412,50	96,94	0,50	1.650,00	825,00	6,00	3,00	18,00	6,00	3,00	18,00
<i>Eucalyptus</i> seminal sur	0,24	412,50	96,94	0,11	1.650,00	181,50	6,00	3,00	18,00	6,00	3,00	18,00
<i>Quercus</i>	0,24	500,00	117,50	0,44	2.000,00	880,00						
<i>Pinus pinaster</i> norte	0,24	167,00	39,25	0,25	1.670,00	417,50						
<i>Pinus pinaster</i> meseta	0,24	167,00	39,25	0,25	1.670,00	417,50						
<i>Pinus radiata</i>	0,24	167,00	39,25	0,25	1.670,00	417,50						
<i>Pinus sylvestris</i>	0,24	167,00	39,25	0,25	1.670,00	417,50						
<i>Pinus nigra</i>	0,24	167,00	39,25	0,25	1.670,00	417,50						
<i>Pinus pinea</i>	0,24	167,00	39,25	0,25	1.670,00	417,50						
<i>Pinus halepensis</i>	0,24	167,00	39,25	0,25	1.670,00	417,50						
<i>Pinus canariensis</i>	0,24	167,00	39,25	0,25	1.670,00	417,50						

### 3.1.2.4.2 Rendimientos

El uso de tractor agrícola en la plantación de sistemas forestales y agrícolas así como en la aplicación de herbicidas para la limpia y plaguicidas se encuentra ampliamente extendido. Por ello, se conoce que su rendimiento es de 0,5 ha/h en la plantación y 0,25 ha/h en la aplicación de tratamiento culturales. En el caso de la plantación del género *Pinus* estos rendimientos son menores, 0,14 ha/h.

Para el resto de operaciones, el tiempo productivo de las máquinas empleadas se ha calculado a partir de las fórmulas expuestas en la siguiente tabla:

**Tabla 49. Rendimientos de la maquinaria a emplear en cada operación en masas forestales susceptibles de implantación en terreno forestal**

Operación	Máquina	Rendimiento (th/h)
Apeo	Cosechadora (Para $8 < d < 15$ )	$0,049 \cdot d^2,174$
	Cosechadora (Para $d > 15$ )	$1,45 \cdot d - 15,2$
	Multitaladora	$1,17 \cdot d - 6,5$
Saca	Tractor agrícola	$-0,01Dd + 10,06$
	Autocargador	$-0,014 \cdot Dd + 14,37$
Tratamiento en cargadero	Astilladora	16,5
Tratamiento en parque	Astilladora	16,67
Destoconado	Pretritadora parque	15,32
	Cribadora en parque	82,8
	Tritadora	13,89

d es el diámetro en cm.

Dd es la distancia de desembosque que para este estudio se ha fijado en 350 metros.

th, toneladas húmedas supuesta una humedad del 40% para la estimación de rendimientos.

A este rendimiento, en función de la pendiente, se le aplica un coeficiente de movilidad (cm).

**Tabla 50. Coeficiente de movilidad de la maquinaria en función de la pendiente del terreno en masas forestales susceptibles de implantación en terreno forestal**

	Pendiente (%)	Cm	Dist. fijada (km)	Dist. final (km)
Terreno forestal	12,5-30	1,4	0,350	0,49
Terreno agrícola	<12,5	1	0,350	0,35

Como resultado de su aplicación, se han obtenido los valores que se exponen a continuación:



**Tabla 51. Rendimientos de trabajo calculados para el aprovechamiento de biomasa procedente de masas del género *Eucalyptus* susceptibles de implantación en terreno forestal**

Descripción general	Preparación terreno. Subsolado (ha/h)	Abonado y plantación (ha/h)	Limpia (aplic.herb) (ha/h)	Tratamiento plagas (ha/h)	Corta (th/h)	Tratamiento en cargadero (th/h)	Tratamiento en central (th/h)	Destoconado					
								Extracción (ha/h)	Reunión de tocones (ha/h)	Tratamiento en central			
										Rto. pre-trituradora (th/h)	Rto. cribadora (th/h)	Rto. grúa (th/h)	Rto. trituradora (th/h)
<i>Eucalyptus</i> clonal norte astillado en cargadero	0,70	0,50	0,25	0,25	12,94	16,50		0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89
<i>Eucalyptus</i> clonal norte astillado en central	0,70	0,50	0,25	0,25	12,94		16,67	0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89
<i>Eucalyptus</i> seminal norte astillado en cargadero	0,70	0,50	0,25	0,25	6,54	16,50		0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89
<i>Eucalyptus</i> seminal norte astillado en central	0,70	0,50	0,25	0,25	6,54		16,67	0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89
<i>Eucalyptus</i> clonal de sur astillado en cargadero	0,70	0,50	0,25	0,25	12,94	16,50		0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89
<i>Eucalyptus</i> clonal sur astillado en central	0,70	0,50	0,25	0,25	12,94		16,67	0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89
<i>Eucalyptus</i> seminal sur astillado en cargadero	0,70	0,50	0,25	0,25	6,54	16,50		0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89
<i>Eucalyptus</i> seminal sur astillado en central	0,70	0,50	0,25	0,25	6,54		16,67	0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89

**Tabla 52. Rendimientos de trabajo calculados para el aprovechamiento de biomasa procedente de masas del género *Quercus* susceptibles de implantación en terreno forestal**

Descripción general	Preparación terreno. Subsulado (ha/h)	Abonado y plantación (ha/h)	Limpia (aplic. herb) (ha/h)	Tratamiento plagas (ha/h)	Corta (th/h)	Trat. en cargadero (th/h)	Trat. en central (th/h)	Destoconado					
								Extracción (ha/h)	Reunión de tocones (ha/h)	Tratamiento en central			
										Rto. pre-trituradora (th/h)	Rto. cribadora (th/h)	Rto. grúa (th/h)	Rto. trituradora (th/h)
<i>Quercus</i> astillado en cargadero	0,70	0,50	0,00	0,00	11,88	16,50		0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89
<i>Quercus</i> astillado en central	0,70	0,50	0,00	0,00	11,88		16,67	0,30	0,30	15,32	82,80	15,32	13,89

**Tabla 53. Rendimientos de trabajo calculados para el aprovechamiento de biomasa procedente de masas del género *Pinus* susceptibles de implantación en terreno forestal**

Descripción general	Preparación terreno. Subsulado (ha/h)	Abonado y plantación (ha/h)	Limpia (aplic. herb) (ha/h)	Tratamiento plagas (ha/h)	Corta (th/h)	Trat. en cargadero (th/h)	Trat. en central (th/h)
<i>Pinus pinaster</i> norte astillado en cargadero	0,70	0,14	0,00	0,00	12,35	16,50	0,00
<i>Pinus pinaster</i> meseta astillado en cargadero	0,70	0,14	0,00	0,00	15,98	0,00	16,67
<i>Pinus radiata</i> astillado en cargadero	0,70	0,14	0,00	0,00	12,35	16,50	0,00
<i>Pinus sylvestris</i> astillado en cargadero	0,70	0,14	0,00	0,00	13,80	0,00	16,67
<i>Pinus nigra</i> astillado en cargadero	0,70	0,14	0,00	0,00	13,08	16,50	0,00
<i>Pinus pinea</i> astillado en cargadero	0,70	0,14	0,00	0,00	13,80	0,00	16,67
<i>Pinus halepensis</i> astillado en cargadero	0,70	0,14	0,00	0,00	9,30	16,50	0,00

(Continuación)

Descripción general	Preparación terreno. Subsulado (ha/h)	Abonado y plantación (ha/h)	Limpia (aplic. herb) (ha/h)	Tratamiento plagas (ha/h)	Corta (th/h)	Trat. en cargadero (th/h)	Trat. en central (th/h)
<i>Pinus canariensis</i> astillado en cargadero	0,70	0,14	0,00	0,00	10,47	0,00	16,67
<i>Pinus pinaster</i> norte astillado en central	0,70	0,14	0,00	0,00	12,35	16,50	0,00
<i>Pinus pinaster</i> meseta astillado en central	0,70	0,14	0,00	0,00	15,98	0,00	16,67
<i>Pinus radiata</i> astillado en central	0,70	0,14	0,00	0,00	12,35	16,50	0,00
<i>Pinus sylvestris</i> astillado en central	0,70	0,14	0,00	0,00	13,80	0,00	16,67
<i>Pinus nigra</i> astillado en central	0,70	0,14	0,00	0,00	13,08	16,50	0,00
<i>Pinus pinea</i> astillado en central	0,70	0,14	0,00	0,00	13,80	0,00	16,67
<i>Pinus halepensis</i> astillado en central	0,70	0,14	0,00	0,00	9,30	16,50	0,00
<i>Pinus canariensis</i> astillado en central	0,70	0,14	0,00	0,00	10,47	0,00	16,67

Los rendimientos se han calculado supuesto un contenido de humedad del material del 40%. El material húmedo experimenta una pérdida de productividad de toneladas·(1-X) siendo X la humedad de la biomasa expresado en base húmeda.

### 3.1.2.4.3 Capacidad de carga y tiempos de carga y descarga

La capacidad de carga y tiempos de carga y descarga van a ser considerados tanto en la saca del material en bruto hasta un cargadero como en el transporte por vías asfaltadas del material ya sea en bruto o habiendo sido tratado en cargadero (astillado) según el sistema logístico

seleccionado. La carga de cada tipo de transporte nos definirá el coste de cada medio de transporte en €/t·h.

#### A. Saca

En la siguiente tabla se presentan la capacidad de carga y tiempos de carga y descarga de cada tipo de maquinaria indicada para la saca (tractor o autocargador) en función del tipo de material: en bruto o astillado.

**Tabla 54. Capacidad de carga y tiempos de carga y descarga en la saca del aprovechamiento de biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno forestal**

Medio de saca	Carga (t)	Tiempo de carga y descarga (h)
Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador (Harwarder)	5,10	0,50
Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo	2,55	0,38

Nota: datos supuesta una humedad del material del 40%.

**Tabla 55. Capacidad de carga y tiempos de carga y descarga, según legislación nacional y europea, en el transporte a central de la biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno forestal**

Camión	Tipo de material a transportar	Carga nacional (th)	Carga internacional (th)	T carga-descarga nacional (h)	T carga-descarga internacional (h)
Piso móvil	Astilla	24,50	27,68	0,42	0,47
Camión rígido	Material en bruto	7,38	7,38	0,47	0,47
Tráiler	Tocones	17,28	17,28	0,96	0,96

#### 3.1.2.4.4 Velocidad de saca y transporte

Dada la ausencia de una adecuada cartografía de pistas en el monte se ha estimado una velocidad media de saca, ya sea mediante tractor o autocargador, en vías digitalizadas de 15 km/h y un cálculo de velocidades medias de vías no digitalizadas en función de la pendiente según se presenta en la siguiente tabla:

#### B. Transporte hasta central

A diferencia de lo expuesto para el transporte de biomasa procedente de masas forestales ya existentes, se ha considerado que el transporte desde cargadero a central se puede realizar por un tipo de camión que varía en función del material a transportar. Al igual que en el caso de la saca se define la capacidad de carga y tiempos empleados en su carga y descarga de cada tipo de camión.

Además se ha expuesto dos tipos de carga en función de la legislación seleccionada para regir el transporte (nacional o europea).

**Tabla 56. Velocidad de saca por pistas no digitalizadas de la biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno forestal**

Pistas	Pendiente			Velocidad (km/h)
	Mín.	Máx.	Media	
No digitalizadas	0	12,5	6,25	16,00
	12,5	25	18,75	13,46
	25	35	30	11,17
	35	50	42,5	8,63
	50	70	60	5,08
	70	100	85	0,00
Digitalizadas				14,73

Respecto a la velocidad de transporte por vías digitalizadas se asigna la velocidad media de cada tipo de vía al proceso de transporte disminuyendo ésta en un 30% debido al tipo de vehículo empleado y carga a transportar.

#### 3.1.2.4.5 Estimación de costes de biomasa disponible

Una vez definidas las tablas y su forma de asociación en el siguiente esquema se presenta la descripción del cálculo de costes.

#### Costes de preparación (itinerario selvícola) y destocoado

$$\text{Coste abono/herbicida/agua} + \left( \frac{\text{Coste de maquinaria y mano de obra (€/h)}}{\text{Rto. de maquinaria y mano de obra (ha/h)}} \right) = \text{€/ha por sistema logístico y especie}$$

#### Costes de aprovechamiento y de adecuación

$$\frac{\text{Coste de maquinaria y mano de obra (€/h)}}{\text{Rto. de maquinaria y mano de obra (th/h)}} = \text{€/t por sistema logístico y especie}$$

### Cálculo de coste de saca y transporte

$$\text{Coste saca (€/t)} = \frac{\left( \frac{\text{Coste horario máquina (€/h)}}{\text{Velocidad (km/h)}} \times \text{Distancia de saca (km)} \right)}{\text{Carga (th)}} + \frac{\text{Coste horario máquina (€/h)} \times \text{Tiempo de carga (h)}}{\text{Carga (th)}}$$

**Tabla de velocidad de saca**

Pistas	Pendiente			Velocidad (km/h)
	mín.	máx.	media	
No digitalizadas	0	12,5	6,25	16,00
	12,5	25	18,75	13,46
	25	35	30	11,17
	35	50	42,5	8,63
	50	70	60	5,08
70	100	85	0,00	
Digitalizadas				14,73

**Tabla de carga y descarga**

Sistema logístico	
Máquina	
Carga nacional (t húmedas)	
Carga internacional (t húmedas)	
T carga descarga nacional (h)	
T carga descarga internacional (h)	

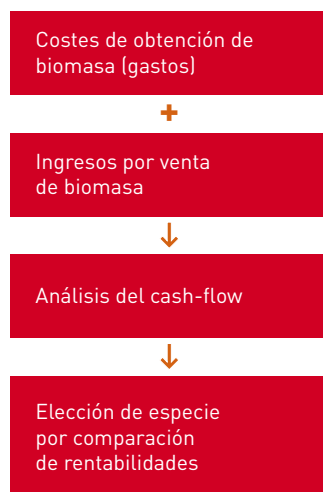
**Tabla de velocidad de transporte**

Tipo de vía	Velocidad media (km/h)
Autopista/autovía	72
Nacional	64
1º Orden	56
2º Orden	40
3º Orden	32

(Continuación)

### 3.1.2.4.6 Decisor forestal

Cuando una misma superficie es susceptible de ser repoblada por dos especies distintas, se llevará un análisis de rentabilidad de ambas plantaciones de modo que se adjudique dicha superficie a aquellas masas económicamente más rentables.



Es decir, se lleva a cabo un estudio de rentabilidades en base a los costes (gastos) e ingresos de cada tipo de plantación, todos ellos actualizados al año 0.

Se tiene la posibilidad de introducir el coste de la biomasa a la humedad elegida para el estudio, de modo que se calcula el ingreso a partir de la biomasa producida.

Bajo los parámetros definidos a lo largo del apartado 3.1.2 Biomasa procedente de masas susceptibles de implantación en terreno forestal, en la siguiente tabla se presenta en orden de mayor rentabilidad (analizados todos los costes excepto transporte de cargadero a central, el cual es constante, ya sea elegido astillado en cargadero o en central):

Especies por orden descendente de rentabilidad
<i>Eucalyptus globulus</i> clonal norte
<i>Eucalyptus nitens</i> clonal norte
<i>Eucalyptus globulus</i> clonal sur
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> clonal sur
<i>Pinus radiata</i>

### Especies por orden descendente de rentabilidad

<i>Eucalyptus globulus</i> seminal norte
<i>Eucalyptus nitens</i> seminal norte
<i>Pinus pinaster</i> norte
<i>Eucalyptus globulus</i> seminal sur
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> seminal sur
<i>Pinus halepensis</i>
<i>Pinus pinaster</i> meseta
<i>Pinus pinea</i>
<i>Quercus</i> (todas las especies)
<i>Pinus sylvestris</i>
<i>Pinus nigra</i>
<i>Pinus canariensis</i>

En el ANEXO III. Análisis de rentabilidad de masas a implantar, se detalla exhaustivamente el cálculo de rentabilidades.

### 3.1.2.5 Estructura de los resultados

Como objetivo del estudio de la biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno forestal existentes se presentan los resultados que se enumeran a continuación:

- Parámetros de cálculo.
- Mapa de distribución de géneros/especies susceptibles de implantación.
- Tablas de disposición de biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola por provincia y comunidad autónoma (t/ha·año).
- Mapa de distribución de biomasa potencial disponible por municipio (t/ha·año).
- Tablas de costes medios de obtención de biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola por provincia y comunidad autónoma (€/t).
- Mapa de costes de obtención de biomasa por municipio (€/t).

## 3.2 BIOMASA PROCEDENTE DE TERRENO AGRÍCOLA

### 3.2.1 Biomasa existente y biomasa herbácea susceptible de implantación en terreno agrícola

En el presente apartado se van a tratar tanto la biomasa procedente de restos de cultivos agrícolas existentes en la actualidad como biomasa procedente de masas herbáceas con fines energéticos susceptibles de implantación. Así pues, para el desarrollo de ambas partes la herramienta consta de dos módulos, uno para la evaluación de los recursos de biomasa procedente de masas energéticas herbáceas susceptibles de implantación y otro para la evaluación de la biomasa procedente de los restos de los cultivos tradicionales.

La estructura básica de la herramienta consiste en unas tablas principales de partida y unas tablas finales de resultados:

Las *Tablas Principales de Partida* que contemplan el Escenario Base son las que se presentan a continuación:

- Tabla principal.
- Tabla de cultivos.
- Tabla de sistemas de riego.
- Tabla de itinerarios técnicos.
- Tabla de estudios económicos de los cultivos.

Además existe un *Motor de Cálculo*, que engloba las Reglas de Decisión:

- Biomasa potencial y disponible de los cultivos.
- Disposición al cambio de cultivos.
- Limitadores de cultivo.
- Limitadores de agrosistema.

Y finalmente unos *Tablas de Resultados*:

- Tabla final resultado.
- Listado de vistas GIS.

Para el manejo de la herramienta se presenta un cuestionario básico en el que puede elegir los elementos básicos del estudio:

1. Selección del ámbito del estudio: un municipio, una provincia o una Comunidad Autónoma.
2. Opción de cargar tu propia tabla principal.
3. Elección (de la tabla cultivos) de los cultivos sustituibles, los cultivos de biomasa y los cultivos con aprovechamiento de biomasa.
4. Elección de los precios de la biomasa herbácea y leñosa; de los fertilizantes N-P-K; del gasóleo y del agua.

El resto de tablas tendrían un acceso restringido.

#### 3.2.1.1 Definición del Escenario de Partida o Escenario Base

##### 3.2.1.1.1 Análisis de las superficies agrícolas y rendimientos

###### Tabla principal

La tabla principal que se describe a continuación tiene una "actualización" externa al gestor GIS, lo que permite refrescar el escenario de base para su uso en escenarios futuros, bien cuando las condiciones hayan evolucionado o en periodos de tiempo fijos a determinar con el IDAE (por ejemplo, anualmente).

No es posible hacer una actualización mecánica de esta tabla dado que las bases de datos de las que se alimenta son extremadamente complejas y no están disponibles de modo uniforme en una fecha determinada.

De hecho, la base de datos PAC no ha sido posible recuperarla íntegramente, ya que se encuentra ubicada en cada una de las Comunidades Autónomas, siendo necesario utilizar una base construida a partir de la 2005 y 2006, suministradas por el Ministerio de Agricultura.

Esta tabla deberá contener tanto las superficies como los rendimientos en t/ha-año (denominado en la parte forestal posibilidad) para cada cultivo y unidad de superficie caracterizada.

Los campos **Municipio-Sistema de Riego-Tipo de Riego** definen la unidad territorial clave sobre la que se va a desarrollar todo el estudio. Lamentablemente no existe cartografía actual disponible de Sistemas de Riego y Tipo de Riego.



*Campos de la tabla principal:*

- *Com. autónoma.*
- *Provincia.*
- *Comarca agraria.*
- *Municipio (código INE).*
- *Sistema de riego (secano/regadío Dato del SIGPAC) y Tipo de riego. Dato de la tabla auxiliar.*
- *Código de cultivo. Dato del SIGA y PAC.*
- *Superficie del cultivo en hectáreas. Dato SIGPAC y PAC.*
- *Rendimiento de cultivo. Dato de la tabla de rendimientos.*
- *Rendimiento del residuo. Dato tabla rendimientos.*

*Las unidades y la humedad se encuentran definidas en la tabla de cultivos.*

Para atender las situaciones en las que se disponga de información más detallada (bases de datos oleícolas, catálogos de frutales, denominaciones de origen, mapa de usos y aprovechamientos, etc.) que la propuesta en este trabajo, se puede crear una tabla principal auxiliar (la elaboración de dicha tabla es externa al programa, el programa solamente la recibe completa) con la misma estructura que la tabla principal.

*Por otra parte, las estadísticas disponibles de las superficies y producciones de los cultivos (MARM) y la encuesta de estadística agraria ESYRCE permiten realizar un ajuste de las superficies y producciones a nivel provincial. Estas tablas de MARM y ESYRCE tienen su uso únicamente en la salida tablas biomasa que elabora ITGA, ya que no proporcionan información a nivel de municipio sino únicamente a nivel de provincia.*

#### **Tabla: EM\_Estadísticas MARM**

*Código de comunidad autónoma.*

*Código de provincia.*

*Tipo de riego Secano o Regadío (S o R).*

*Cultivo MARM (cultivo según estadística del MARM).*

*Superficie de cultivo (ha).*

*Rendimiento asignado (t/ha).*

#### **Tabla: EE\_Estadística E syrce**

*Código de comunidad autónoma.*

*Código de provincia.*

*Tipo de riego Secano o Regadío (S o R).*

*Cultivo E syrce (cultivo según estadística del E syrce).*

*Superficie de cultivo (ha con dos decimales).*

Se podrá modificar los rendimientos asignados en aquellos casos en que disponga de información de mayor precisión que la aportada de base.

A continuación se describen las fuentes de información empleadas para construir la tabla principal.

- **Base de datos SIGPAC.** La unidad de análisis superficial será el municipio catastral (sec-reg), de la que se dispone de las superficies reales de todos los usos existentes en el SIGPAC nacional. SIGPAC es la referencia absoluta de superficie del país para todos los usos, representará la totalidad de superficie nacional.

#### **Tabla: Sigpac**

*Código de provincia.*

*Código de municipio.*

*Tipo de riego: Secano o Regadío (S o R).*

*Uso SIGPAC.*

*Superficie.*

SIGPAC, a través de los usos en que clasifica el territorio permite disponer de las superficies de los siguientes cultivos o usos Sigpac:

**Olivar (OV)**

**Viñedo (VI)**

**Cítricos (CI)**

**Frutal de cáscara (FS)**

**Frutal (FY)**

Estos usos serán la fuente de información prioritaria para los cultivos a los que representan. Esta clasificación será la única utilizable a nivel de la salida GIS que se genera, aunque en tablas de datos pueda desagregarse en el caso de los frutales.

Existen usos **mixtos (FL)**, como frutal-viñedo, etc. que son asignados al uso predominante según una tabla de apoyo a esta decisión.

La declaración de la PAC no proporciona datos de frutales, por tanto se propone sacar de otras fuentes (ESYRCE) los datos de porcentajes de cada tipo de frutal por provincia, de modo que así se estime los restos provenientes de frutales, es decir, dar un valor medio por provincia. Estos datos se pueden reflejar en una tabla auxiliar.

En los casos en los que no existan inventarios de frutales disponibles se calculará, para la representación SIG, un análisis medio de cítricos, frutal cáscara y frutal. En tablas de datos sí podrá llegarse a nivel provincial a desagregar la información de cada especie frutal a partir de los datos disponibles en estadística MARM y que podrán cargarse en la tabla auxiliar.

**La suma de todos estos tipos de usos descritos: Olivar (OV), Viñedo (VI), Cítricos (CI), Frutal de cáscara (FS), Frutal (FY), Usos Mixtos (FL), y además la Tierra Arable (TA), son los que se acumulan bajo el epígrafe tierra agrícola.**

Existen otros usos contemplados en el SI - GPAC con los que se actuará según el siguiente planteamiento:

- **Forestal (FO).** Se realiza el encaje con la base de datos forestal.
- **Pastos (PS, PR, PA).** Puede servir de colchón para arreglar desajustes con la base de datos forestal que será la que sea prioritaria (los pastizales de siega y praderas no tienen objeto considerarlos ni para biomasa actual ni para su sustitución como cultivos energéticos).
- **Otros usos.** Completa la totalidad de la superficie y comprende aquellos usos que no tienen ningún interés en este trabajo, como zonas urbanas, edificaciones, improductivos, caminos, aguas superficiales, etc. Entre estos están los viales (uso CA) que puede tener alguna utilidad para el cálculo de las distancias a la planta industrial.
- **Base de datos PAC.** La tierra arable se desagrega en sus cultivos herbáceos a través de la declaración de pago único de la PAC, donde se puede llegar a las superficies de los distintos cereales, oleaginosas, proteaginosas, y barbechos o retiradas, incluso los cultivos con una utilización energética (non food) al mismo nivel municipio (sec-reg). Es bueno conocer que los titulares de solicitudes de ayuda de pago único tienen la obligación de declarar "la totalidad de su explotación", aunque no todos los titulares hacen declaración, ni los que la hacen declaran la totalidad de sus cultivos.

**Tabla: Declaración PAC**

*Código provincia.*

*Código municipio.*

*Tipo de riego Secano o Regadío (S o R).*

*Código cultivo variedad (\*) de la declaración PAC. Los 3 primeros son el cult y los otros variedad.*

*Tierra arable s/n.*

*Superficie en hectáreas con dos decimales.*

*(\*)Se recoge información que permite desagregar las retiradas non-food por cultivos recogidos bajo el código de variedad. Incluye también la reforestación.*

Esta base de datos contiene registros también de cultivos que no son tierra arable, como es el caso de frutales, por ese motivo, en esta base de datos será necesario también un campo (si/no) en el que se haga constar esta información.

En los casos en los que la suma de superficies TA en la base de datos PAC supere a la asignación de superficie TA en SigPac se disminuyen las superficies de los cultivos proporcionalmente para ajustar a la superficie total TA SIGPAC.

En los casos en los que la suma de superficies TA en la base de datos PAC sea inferior a la asignación de superficie TA en SigPac (se estima que será el caso más frecuente dado que no todos los agricultores hacen declaración), se emplea un cultivo nuevo, otras superficies no declaradas para asignarle la diferencia.

- **Base de datos de regionalización productiva PAC.** Para todos los cultivos y a un nivel de comarcas agrarias (la comarca la forman un conjunto de municipios), se realiza la asignación de rendimientos productivos en base a la regionalización productiva nacional, debiendo elegir (en la tabla de cultivos) para cada cultivo y situación sec/reg el rendimiento de referencia a utilizar.

**Tabla: Regionalización productiva**

*Código de comunidad autónoma.*

*Código de provincia.*

*Código de municipio.*

*Código de comarca agraria.*

**Rendimiento secano de regionalización (expresado en t/ha).**

**Rendimiento otros cereales regadío de regionalización (t/ha).**

**Rendimiento maíz regadío de regionalización (t/ha).**

*Rendimiento medio del regadío de regionalización (t/ha). Este campo no se utiliza.*

*Índice de barbecho de regionalización. Este campo no se utiliza.*

Esta tabla será fundamental en el cálculo del rendimiento de los cultivos para cada uno de los municipios de España. No obstante, cuando se disponga de información de mayor precisión de la productividad de los cultivos en su zona de estudio se podrán modificar estas producciones con la información disponible, creando una nueva tabla principal que sustituirá a la propuesta en el estudio.

El cálculo se basa en comparar el rendimiento medio histórico del cultivo en España (RdtoMHisEsp. se registra en la tabla de cultivos como posibilidad) con el rendimiento de regionalización media asignado a ese cultivo en el conjunto de España (RdtoMRegEsp. este dato está publicado para secano y regadío en el caso de cereales y para maíz en regadío y se registra en una pequeña tabla complementaria).

De este modo se obtiene un coeficiente de rendimiento para cada cultivo que es el cociente entre RdtoMHisEsp/RdtoMRegEsp.

Este coeficiente multiplicado por cada índice de regionalización proporciona el rendimiento del cultivo en cada municipio.

El rendimiento de los restos en la tabla de cultivos se calcula a partir del rendimiento en grano en el caso de los herbáceos, dividido por el índice de cosecha (relación grano/paja).

Para obtener el rendimiento de los restos agrícolas en cada municipio-tipo de riego-sistema de riego (tabla principal) es necesario además tener en cuenta que la producción de grano es más eficiente en la medida en la que las condiciones ambientales de maduración y por ende productividad son más favorables. Por ello, es necesario establecer una constante de corrección inversamente proporcional al índice de regionalización, con una variación de  $\pm 20\%$ .

En el caso de los frutales se utilizan tablas de información disponibles.

- **Análisis de las superficies disponibles de los cultivos cuyos restos se consideran en el estudio.** Como restos herbáceos se consideran las superficies de cultivos de cereales, incluidos trigos

blandos y duros, cebada, centeno, avena y maíz, tanto en secano como en regadío.

Como restos leñosos se consideran las superficies de naranjo, mandarina, limonero, manzano, peral, albaricoquero, cerezo, guindo, melocotonero, nectarina, ciruelo, almendro, nogal, avellano, viñedo y olivar.

Como restos húmedos de origen hortícola, no se considera nada en el presente estudio.

- **Análisis de la evolución de las superficies disponibles de los cultivos**

Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones prácticas de evolución de las superficies de suelo de cultivos:

- *Superficies de secano transformadas en regadío* (Estudio de Prospectiva del Ministerio de Medio Ambiente sobre el agua en la economía española, evolución y perspectivas). No obstante, a partir de las directrices del propio Ministerio de Medio Ambiente solamente están disponibles para usos energéticos los regadíos del Duero y Ebro.

	Cambios previstos % total riego entre 2001-2015	2020	2011
		% imputado	
Andalucía (Guadalquivir)	11,7	4,4	1,5
Extremadura (Guadiana)	0,3	0,1	0,0
Castilla-La Mancha (Tajo)	15,5	5,8	1,9
Castilla y León (Duero)	19,7	7,4	2,5
Navarra (Ebro)	10,0	3,8	1,3
Cataluña (Ebro)	2,8	1,0	0,3
Aragón (Ebro)	2,8	1,0	0,3
Rioja (Ebro)	2,8	1,0	0,3
País Vasco (Ebro)	2,8	1,0	0,3

Las superficies obtenidas a través de la aplicación de estos coeficientes son descontadas de la superficie de cereales secundarios de secano (cebada, avena, centeno) e incrementadas como superficies de maíz.

- *Avance del suelo urbano (consideraciones AEE).* 0,2% del total de suelo (representa un porcentaje mínimo por tanto se va a desestimar en el estudio).
- *Incorporación de tierras de retirada.* En el horizonte próximo se pretende liberar estas tierras para todos los usos. Además ya se pueden utilizar para cultivos energéticos.
- *Tierras retiradas por baja rentabilidad,* su uso será para planes de forestación. Scenar considera un 2% de tierras destinadas a forestación o vegetación arbustiva que provendrán de las zonas más secas, normalmente de tierras actualmente dedicadas a retirada obligatoria o voluntaria.

En regadío no se considera esta posibilidad. En secano se aplica la siguiente tabla de decisión:

Secano	2020	2010
Reg. PAC	% superficie abandono	
1,2	30	10
1,5	20	5
1,8	10	2
2	5	1
2,2	3	0
2,5	2	0
2,7	1	0

Toda esta superficie se estima que procederá de tierras encuadradas en el capítulo de retirada en el escenario inicial.

- *3% de suelo destinado a compensación medioambiental de los suelos arables (AEE).* Se puede considerar que esto ocurra a partir de los escenarios 2020 y 2030. Se aplica, tanto en secano como en regadío, un 2% en 2020 y un 3% en 2030 de la superficie considerada de sustitución de cultivos.

En secano se estima que estas superficies procederán del capítulo cereales y retirada al 50%, mientras que en regadío procederán de la superficie de maíz, cebada y retirada a partes iguales.

### 3.2.1.1.2 Caracterización de los cultivos agrícolas

#### Tabla de cultivos

Se trata de una de las tablas básicas del gestor y aporta toda la información necesaria para describir y situar cada uno de los cultivos.

En esta tabla deben de estar todos los usos SigPac y los cultivos PAC, aunque no todos ellos van a ser utilizados en este estudio. La información solicitada en los campos de la tabla no es imprescindible que esté completa para aquellos cultivos que no van a ser utilizados en el estudio. Sí deberán disponer de información completa los cultivos que pueden ser sustituidos, los nuevos cultivos de biomasa y los cultivos de los que se va a realizar aprovechamiento de la biomasa, bien sea íntegramente o de sus restos.

El código de CultivoIDAE deberá permitir conectar con la tabla principal y las tablas de resultados económicos y la herramienta de decisión.

*En la tabla de cultivos para cada uno de los cultivos se indican los siguientes supuestos:*

*En un primer campo se indica si se trata de un cultivo que puede sustituirse por un cultivo energético (1) o no (0).*

*En un segundo campo se indica si existen restos aprovechables para usos energéticos bien sean secos (1) o húmedos (2). Si no hay restos (0).*

*En tercer lugar se indica si los cultivos tienen producción de biomasa para usos energéticos, bien sea: vía seca -combustión- (1), vía húmeda -anaeróbica- (2) o no producen biomasa (0).*

*Por último y para reflejar la estacionalidad de la producción de biomasa, se indica la estación de recolección de la biomasa: primavera, verano, otoño o invierno. Esta información permite conocer no sólo el potencial de producción de cada tipo de biomasa sino en qué momento estará disponible para su utilización industrial.*

#### • Elección de los cultivos que intervendrán en el estudio

En el estudio no se consideran todos los cultivos como susceptibles de ser sustituidos por los

nuevos cultivos de biomasa dado que eso es poco probable en condiciones normales. Más adelante se hacen las consideraciones oportunas para mostrar los motivos de elegir unos sobre otros.

En cuanto a cultivos de biomasa se han elegido aquellos comercialmente disponibles, aunque la investigación está en marcha y podrán obtenerse nuevos cultivos en el futuro, que supuestamente desplazarán a los que hoy se proponen, siendo el cómputo total muy similar al que se obtenga.

– *Cultivos tradicionales que pueden evolucionar a cultivos para biomasa*

En secano, dada la importancia de las superficies ocupadas por los distintos cultivos, se centra el estudio prioritariamente en los cereales secundarios normalmente destinados a la alimentación de los ganados, barbechos y tierras de retirada.

- Cereales secundarios como cebada, avena, triticale y centeno, normalmente dedicados a la alimentación animal.
- Barbechos y tierras de retirada.

En regadío los cultivos actuales más significativos son maíz, cereales secundarios (cebada), forrajes (alfalfa) y tierras de retirada. Algodón y remolacha existentes en algunas comunidades autónomas, dado sus niveles de renta tiene más sentido que evolucione en todo caso hacia cultivos alimentarios de mayor rentabilidad.

Una estrategia interesante para producir biomasa consiste en la reducción del consumo del agua por lo que la mejor estrategia es pasar de cultivos de verano a cultivos de invierno.

- Maíz grano.
- Cereales secundarios.

Otras opciones a considerar serán: forrajes desecados (alfalfa) y tierras de retirada.

– *Cultivos de biomasa*

En secano, bráscas y sus asociaciones, cereales y sus asociaciones, sorgo y girasol como plantas anuales de verano. Como plantas vivaces habrá que considerar la *Cynara* (el cardo). En regadío los mismos cultivos anuales, especialmente los de otoño por su menor coste de agua y energía.

– *Cultivos con aprovechamiento de sus restos*

Como restos herbáceos se consideran las superficies de cultivos de cereales, incluidos trigos blandos y duros, cebada, centeno, avena y maíz, tanto en secano como en regadío.

Como restos leñosos se consideran las superficies de naranjo, mandarino, limonero, manzano, peral, albaricoquero, cerezo, guindo, melocotonero, nectarina, ciruelo, almendro, nogal, avellano, viñedo y olivar.

Como restos húmedos de origen hortícola no se considera nada en el presente estudio.

• **Rendimiento de los cultivos**

– *Productividad de los cultivos*

La tabla incorpora el rendimiento como la “probabilidad de rendimiento”, es decir, el rendimiento medio asignado a cada uno de los cultivos. Este rendimiento será la base de cálculo del rendimiento de cada municipio a través de los valores asignados en la tabla de regionalización (allí se explica la metodología de cálculo).

Es necesario otro campo que indique a qué referencia de la tabla de regionalización se va a utilizar en cada cultivo en secano o regadío.

– *Productividad de biomasa de restos de los cultivos*

En cuanto a los restos de los cultivos, se pretende utilizar como información de base el trabajo de TRAGSA sobre evaluación de los restos de los cultivos en España, además de otras fuentes de información más actuales pendientes de recopilar.

- Biomasa de restos de cultivos herbáceos, básicamente cereales.
- Biomasa de restos de cultivos leñosos, básicamente frutales, olivo y vid.

Del mismo modo en la tabla aparecerá el rendimiento de referencia (posibilidad) del resto en el tipo de aprovechamiento vía húmeda (anaeróbica) o vía seca (combustión) previamente elegido para cada cultivo. No obstante, en cultivos herbáceos no es necesaria esta información pues los restos se calculan a partir de la producción de grano, el índice de cosecha y el % de aprovechamiento en campo.

**Restos de los cultivos herbáceos:**

$$R_{res} = R \times k_{res1}$$

$R =$  Rendimiento de referencia (posibilidad) del residuo expresado en t/ha. El factor de relación residuo sobre producto queda incorporado en la tabla de rendimientos del residuo de cultivos.

*Kres1 = Factor de aprovechamiento en campo por el sistema de recolección. Ofrece un valor % en función del sistema de recolección, especie, la altura de la barra de siega de la cosechadora, pérdidas de tamos, etc. ¿se podría meter en tabla regionalización? Se trata de un valor aplicado a todas las producciones, luego no aparece en ninguna tabla. Debe ir ligado a una pregunta del sistema de recolección utilizado.*

**Restos procedentes de poda de plantaciones de leñosas:**

*Rres = R (posibilidad) x kres1*

*R= Rendimiento de referencia de madera de poda expresado en t/ha 50% humedad.*

*Factor de intensificación de las plantaciones queda incorporado en el rendimiento regionalizado.*

*Kres1 = Factor de aprovechamiento en campo por el sistema de recolección. Ofrece un valor % que estima los restos que quedan en el suelo sin recoger debido al sistema de recolección elegido. Normalmente próximo al 100%.*

*La parte correspondiente a la eliminación de las plantaciones de cultivos leñosos se incorporará a la producción de restos como un prorrateo anual según el periodo de vida de cada especie.*

**- Productividad de las masas susceptibles de implantación**

Se utiliza la información de experiencias de campo existentes en España y de habitual manejo en el área de masas con fines energéticos del ITGA, bien por haber participado en su elaboración o por acceder a ellas a través de los grupos de expertos en cultivos energéticos en los que el propio ITGA participa.

Las producciones que se van a tomar como referencia tratan de ser acordes con las condiciones ambientales en que se han de cultivar, aunque en este caso la falta de experiencias de todas las condiciones climáticas obligará a hacer consideraciones de comportamiento productivo más especulativas hasta que la experiencia vaya confirmando los datos propuestos.

**- Productividad y estacionalidad**

Se puede considerar que las recolecciones de biomasa, tanto procedan de restos como de cultivos, van a realizarse fundamentalmente en verano y otoño, siendo más extraño el disponer de producciones en los meses de invierno o incluso primavera, aunque en este caso sí existen producciones de finales de primavera.

- Se consideran producciones de verano aquellas que se recolectan desde mediados de junio hasta mediados de septiembre.
- Las producciones de otoño irán desde mediados de septiembre a mediados de diciembre, aunque principalmente se recogerán durante el mes de octubre.
- Las producciones de invierno, entre mitad de diciembre y mitad de marzo.
- Las producciones de primavera, entre mitad de marzo y mitad de junio.

**Tabla: C\_ Tabla de cultivos**

- Código de cultivo IDAE. Nombre del cultivo.
- Código de cultivo SIGPAC o PAC (Cultivo y variedad 3+3). Nombre del cultivo.

*Estos tres campos permiten indicar qué cultivos interesa estudiar. Los 0-0-0 no necesitan rellenar el resto de los campos.*

- Clasificación en función de su aprovechamiento o no para producir biomasa como cultivo integral (0=No sustituible; 1=sustituible).
- Clasificación en función del aprovechamiento o no de los restos para uso energético (0=No aprov; 1= aprov seco; 2=aprov. húmedo).
- Clasificación en función de si el cultivo de biomasa va a tener una recolección vía seca=1 o vía húmeda=2 (0=no cult. biomasa).

*Los siguientes son los campos necesarios para comparar los cultivos a sustituir con los nuevos cultivos propuestos para biomasa. Se debe completar la información de todos ellos.*

- Rendimiento por hectárea medio asignado. Posibilidad.
- Unidades de peso en que se expresa el rendimiento, Kg, toneladas.
- Humedad en que se expresa el rendimiento, %.
- Indica en qué estación se recolectan la biomasa y/o residuo de cultivos (1=P;2=V;3=O;4=I).

- En la regionalización hay tres rendimientos de regadío (medio, maíz y otros cereales) (1=medio, 2=maíz).
- Cereales, leguminosas, oleaginosas (otoño). Está relacionado con la Kdis/Klim.
- Tipo de cultivos. Herbácea anual, herbácea plurianual, cultivo forestal.
- Tolerancia a sequía. Indicar índice de regionalización mínimo exigido.
- Índice de demanda de agua del cultivo (0:No exigente; 9: Muy exigente).
- Hay cultivos con limitación por la tipología del riego. Sólo aspersión y automotriz.
- Estación en la que se producen las máximas necesidades de agua del cultivo (1=prim; 2=verano; 3=otoño; 4=invierno).
- Kdis2 toma valores de 0 a 0,2 y representa el riesgo en la innovación.
- Kdis3 toma valores de 0 a 0,2 y representa la sencillez o complejidad del cultivo.

Los siguientes campos son necesarios para analizar aquellos cultivos de los que hemos decidido aprovechar los restos para producir biomasa:

- Posibilidad o rendimiento del residuo.
- Unidades de peso en que se expresa el rendimiento del residuo, kg, toneladas.
- Humedad en que se expresa el rendimiento del residuo, %.
- % de aprovechamiento del residuo en campo en función del sistema de recolección (kres1).

### 3.2.1.1.3 Sistemas y tipos de riego

#### Tipos de riego

La encuesta nacional de ESYRCE permite obtener información de la distribución del total de tierras de regadío por tipos de riego, a nivel provincial. Esta información no puede desagregarse a nivel de municipio o comarca, siempre será necesario que exista información a ese nivel, por tanto, se aplicará a cada municipio de una misma provincia la misma información.

El riego se va a definir a partir de porcentajes de tipos de riegos por provincia y el factor de variación de la producción entre tipos de riegos (es el concepto nombrado como "maíz ficticio").

Hay una solución diferente propuesta para la salida GIS y para la salida tablas biomasa. La salida GIS necesita elaborar estudios medios para cada cultivo en regadío, como media ponderada de los distintos tipos de riego existentes en esa provincia.

Cuando existan otras fuentes de información que ofrezcan datos de tipo de riego a nivel de municipio se debe recurrir a la tabla auxiliar.

En la salida tablas biomasa sí se puede utilizar los estudios desagregados de cada tipo de riego para obtener informaciones de mayor precisión.

#### Tabla: T\_Riego

Código de provincia.

Tipo de riego.

Porcentaje de superficie.

Código de cultivo.

Índice de productividad.

Por otra parte, es necesaria la posible información disponible a nivel de Cuencas Hidrográficas y Planes de Regadío. Sólo en estos casos se tendrá la posibilidad de disponer de información desagregada por comarcas o por municipios. Cuando esta información esté disponible se almacena en la tabla auxiliar ya descrita.

En todo caso la clasificación de tipos de riego sería la siguiente:

- Secano.
- Riego por gravedad.
- Riego por aspersión.
- Riego automotriz.
- Riego localizado.
- Otros.

Cuando no existe información desagregada las tierras de regadío se tratan como una unidad promedio de los tipos de riego descritos.

En cuanto a los rendimientos, las estadísticas raramente van a diferenciar por tipo de riego. Por ese motivo es necesario disponer de un sistema que permita calcular la productividad relativa de cada uno de las clases de riego.

#### 3.2.1.1.4 Herramienta de evaluación técnica y económica de los cultivos

La rentabilidad de los cultivos de biomasa o del uso de los restos para biomasa será el criterio más determinante para que su desarrollo sea posible.

Por este motivo se ha de realizar un desarrollo detallado de los costes de producción y los márgenes netos resultantes de destinar bien cultivos o restos a este mercado emergente.

Para los cálculos de los márgenes netos de los cultivos y de los restos de los cultivos se utilizan los márgenes netos con la metodología utilizada por el Ministerio de Agricultura.

De este modo se estructuran los gastos de los cultivos en tres partes:

- Gastos del cultivo, en gastos directos y en mecanización.
- Gastos de recolección del cultivo o restos incluido el transporte (acopio o saca) al punto logístico más cercano (cargadero).
- Coste de transporte a la planta industrial correspondiente.

*Para la obtención de estos gastos asociados a los cultivos IDAE que se pretende analizar existirá un módulo de cálculo separado del gestor principal. Los costes que incluirá en cada caso se indican a continuación. En este módulo se pretende establecerlos como variables que se puedan actualizar a voluntad, los costes directos fundamentales, fertilizantes, agua y gasóleo, y los precios de los productos obtenidos:*

- *Gastos directos. Agua y materias primas.*
- *Gastos pagados. Gastos directos más gasóleo, reparaciones, maquinaria alquilada, seguros de cultivos.*
- *Amortizaciones. De la maquinaria propia y de las instalaciones de riego.*

*En el caso de cultivos plurianuales se pretende establecer un año tipo medio, de modo que los gastos del periodo de cultivo se representan por su media anual, al igual que los rendimientos. El escenario que esto representa en que en el caso supuesto de un cultivo que tiene 5 años de vida, tendríamos una quinta parte de superficie en primer año, una quinta en segundo año, etc. Puede ser interesante incorporar a la tabla de cultivos los años de duración del cultivo.*

Para poder analizar los resultados económicos de los cultivos a sustituir y los nuevos cultivos de biomasa es necesario analizar los itinerarios técnicos previstos en cada caso y sus costes.

**• Itinerarios técnicos**

Consta de la descripción de las cantidades de materias primas utilizadas para la producción y sus unidades (por ha). Se realiza una asignación de cantidades en función del rendimiento de los

cultivos en cada zona, utilizando para ello una ecuación lineal del tipo  $A \cdot X + B$ , en la que X es el valor del rendimiento (equivalente a la posibilidad forestal) del cultivo y los valores A y B dependen de cada materia prima utilizada.

En el caso de aprovechamientos de los restos todos los costes de materias primas son imputados al uso principal, y por tanto, los restos no van a tener imputados costes de este origen.

Las materias primas empleadas son las que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 57. Materias primas a emplear en la implantación de cultivos herbáceos en terrenos agrícolas**

Semilla kg/ha
Ferti N/ha
Ferti P/ha
Ferti K/ha
Herbicida 1
Herbicida 2
Herbicida 3
Insecticidas
Fungicidas
Agua riego m <sup>3</sup>
Agua riego canon €/ha

En segundo lugar se describen las labores realizadas en relación a las máquinas utilizadas y sus horas de utilización. Del mismo modo que con las materias primas se imputa a cada índice de regionalización un número de horas de utilización de la maquinaria que es calculado a través de una ecuación lineal dependiente del rendimiento real del cultivo.

El transporte o acopio (saca) siempre es considerado como una operación intermedia, normalmente realizada por caminos agrícolas hasta un centro logístico de carga en camión o primer almacenaje intermedio. En el caso de grano se trata del almacén propio o cooperativo, en el caso de la biomasa será el centro logístico más cercano.



En el caso de las biomásas húmedas el coste de acopio se considera como el coste horario del camión durante el tiempo de cosecha, dado que a partir de ese momento el camión hará ya el transporte directamente a la planta de tratamiento.

En el caso del aprovechamiento de restos se consideran tan sólo los gastos de incorporación de los restos o bien de recolección y acopio o transporte a pie de carretera.

Las labores o procesos a llevar a cabo son las que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 58. Labores a llevar a cabo en la implantación de cultivos herbáceos en terrenos agrícolas**

Laboreo y siembra h/ha
Abonar y tratar h/ha
Cosechadora h/ha
Incorporación de los restos
Recolección biomasa seca
Recolección biomasa húmeda
Acopio o transporte

Se puede elegir itinerarios tipo a nivel provincial tanto para los cultivos como para los restos.

Es necesario incluir también el coste de la mano de obra del tractorista para mantener el mismo esquema que en la parte forestal definida con anterioridad.

**T\_Datos Técnicos.** Es la tabla principal en la que se definen los itinerarios técnicos y las materias primas utilizadas en un cultivo.

*dt\_ce\_ concepto Concepto.*

*dt\_riego Imputable: 0=Tanto seco como regadío; 1=imputable solo al regadío.*

*dt\_o 0=Según producción; 1=Según ZHP; 2=según regionalización.*

*dt\_a Componente A de la función AX+B.*

*dt\_b Componente B de la Función AX+B.*

*Las horas de maquinaria son también una función AX+B y por tanto se convierten en registros con entidad propia más que en campos de los registros de materias primas.*

*dt\_co\_maquina Máquina empleada.*

*dt\_horamaq Horas de máquina (horas).*

**T\_Concepto.** Se trata de una tabla auxiliar necesaria para codificar los elementos que van a intervenir en el estudio económico.

*InGas 0=Gasto; 1=Ingreso; 2 = Subvención.*

*TipolnGas 0=Directo; 1=Indirecto.*

*PrecioDepen 0=Independiente del cultivo; 1=Dependiente del cultivo; 2:Maquinaria o inst.; 3 = Dependiente de la regionalización y el cultivo.*

*Labor 0=Normal; 1=Recolección; 2=Transporte.*

*Unidades: Unidades en las que se mide el concepto*

**T\_Máquina.** Se trata también de una tabla auxiliar que aporta los elementos necesarios para calcular el coste de las máquinas que intervendrán en el estudio económico.

#### • Precios de las materias primas y de las labores

Los precios se han organizado en varias tablas, la primera para las materias primas independientes del cultivo de que se trate, como es el caso de los fertilizantes o fitosanitarios; la segunda para las materias primas dependientes del cultivo, como la semilla o el producto cosechado o el residuo producido; la tercera para calcular los costes horarios de las labores; la cuarta para los costes del agua y de la energía; y por último otra tabla para recoger las subvenciones ligadas a cultivos y regionalización productiva PAC.

Es necesario indicar las unidades en cada caso en las tablas de precios.

Es conveniente que los precios de la biomasa sean una variable externa solicitada desde una opción inicial y se permita un valor diferente para la biomasa herbácea y otro para la biomasa leñosa, ambas en €/ts, siendo ts toneladas secas (0% de contenido de humedad).

#### • Ingresos

Los ingresos correspondientes a cada uno de los cultivos proceden tanto de la venta de los productos cosechados como de otras fuentes de ingresos que estuvieran vinculados directamente a la producción o a la superficie cultivada.

- Ingresos por venta serán el resultado de multiplicar el rendimiento por el precio de venta correspondiente.
- Otros ingresos serán los procedentes de subvenciones acopladas al cultivo. Se consideran las ayudas a la diversificación en las zonas de regionalización inferior o igual a 2 t/ha y las ayudas a las proteaginosas.

#### **Ayudas a la diversificación y ayudas a proteaginosas.**

*Cultivo.*

*Regionalización.*

*Importe de la ayuda.*

*Daremos por supuesto que el agricultor cumple con los requisitos asociados a estas ayudas, pues su comprobación se escapa a las posibilidades de esta aplicación.*

#### • **Resultados económicos**

Se construyen las tablas para las unidades territoriales descritas en la tabla Principal (Municipio-Sistema de Riego-Tipo de Riego), y para cada uno de los cultivos indicados en la tabla cultivos (sólo los cultivos a sustituir y los cultivos de biomasa) a partir de los itinerarios y sus precios correspondientes.

Para los cultivos en los que se va a realizar un aprovechamiento de sus restos se realiza la misma operativa para los distintos usos de los restos con fines energéticos u otros.

El **margen neto económico** es el producto bruto, resultante del rendimiento IDAE, bien sea del cultivo o del residuo de un cultivo, y los precios indicados en la tabla, menos los gastos pagados y amortizaciones. Es el indicador que se utiliza para sustituir cultivos.

No se consideran las subvenciones dado que las tienen todos los cultivos. En el caso de los forestales, no tiene PAC pero tiene ayudas a reforestación.

#### **Tabla de costes cultivos**

**Código de cultivo IDAE.**

**Rendimiento de la regionalización productiva.**

**Margen neto económico (€/ha).**

**Coste de producción con 35 km de transporte (€/t).**

*Además incluye otros campos intermedios de interés:*

*Producto bruto.*

*Subvenciones.*

*Gastos directos.*

*Gastos de maquinaria en el cultivo.*

*Gastos de recolección.*

*Gastos de acopio.*

*Margen bruto.*

*Margen neto 1.*

*Margen neto 2*

#### • **Evaluación de los costes de recolección y gestión de restos de los cultivos**

Se realizan análisis económicos del coste de recolección y manejo de los restos, que son considerados para establecer el interés de su destino energético en función de la cantidad de recurso recolectable.

Se utiliza la misma estructura que ya se ha descrito líneas arriba.

##### – Itinerarios técnicos

En el caso de aprovechamientos de los restos todos los costes de materias primas son imputados al uso principal y por tanto el residuo no va a tener imputados costes de este origen. En el caso del aprovechamiento de restos se consideran tan sólo los gastos de recolección y acarreo o transporte a pie de carretera.

*Recolección biomasa*

*Acarreo o transporte*

##### – Precios de las materias primas y de las labores

Los precios se han organizado en tres tablas, la primera para las materias primas independientes del cultivo (no se utiliza normalmente con los restos); la segunda para las materias primas dependientes del cultivo, donde se recogen los precios del resto producido según su uso; la tercera para calcular los costes horarios de las labores de recolección y acarreo.

##### – Resultados económicos

Para los cultivos en los que se va a realizar un aprovechamiento de sus restos se realiza la misma operativa que en el caso de los cultivos, comparando los distintos usos de los restos con fines energéticos u otros con el no uso. Los elementos finales del estudio serán:

El **margen neto económico** es el producto bruto, resultante del rendimiento IDAE, del

residuo de un cultivo, y los precios indicados en la tabla, menos los gastos pagados y amortizaciones.

#### **Tabla de costes restos**

*Código de cultivo IDAE.*

*Código del residuo IDAE.*

*Rendimiento del residuo.*

*Margen neto económico (€/Ha).*

*Coste de Producción con 35 km de transporte (€/t).*

- Evaluación de los usos alternativos de los restos

En el caso de paja de herbáceos otros usos a considerar son: el picado e incorporación en el propio campo, las champiñoneras y los usos ganaderos (aproximadamente engloba el 50% de los restos producidos). En leñosas la alternativa fundamental es el picado e incorporación al suelo o bien la quema en campo de los restos.

Se trata de establecer el interés de su destino energético frente a todas estas opciones.

El planteamiento realizado ha consistido en analizar el interés del uso del residuo para su uso energético.

### **3.2.1.2 Motor de cálculo. Reglas de decisión. Escenarios de sustitución de cultivos y usos tradicionales por cultivos y usos energéticos**

La superficie susceptible de ocupación por las masas con fines energéticos susceptibles de implantación que se propongan al agricultor va a desalojar otros usos tradicionales de la tierra.

Estos cambios de uso se considera que se producirán de un modo modelizable en función de variables de rentabilidad, innovación, sencillez y oportunidad. Este hecho permitirá cuantificar la disposición (definida como  $K_{dis}$ ) de los productores a cambiar sus cultivos tradicionales por cultivos energéticos determinados.

- **Criterio 1: renta.** Que la renta del nuevo uso (producir biomasa) sea al menos tan interesante para el agricultor como la del uso anterior (cultivos tradicionales) que abandona. La comparación se hace en base a los márgenes netos de los cultivos nuevos y a sustituir.

- **Criterio 2: disposición al cambio.** Riesgo en la innovación. El agricultor prefiere manejar lo conocido a arriesgar su dinero con nuevos cultivos o nuevos aprovechamientos no consolidados agrónomico o comercialmente. Sencillez frente a la complejidad de la nueva propuesta. El hecho de que sean necesarias inversiones adicionales en maquinaria puede ser un inconveniente. Las oportunidades comerciales que el agricultor encuentra en el nuevo cultivo o aprovechamiento (desarrollo de demanda cercana).

#### **3.2.1.2.1 Biomasa potencial y biomasa disponible de las masas susceptibles de implantación y los restos agrícolas**

Se evalúa la biomasa potencial de cada uno de los cultivos herbáceos energéticos posibles a través de un sistema de cálculo que se expresa más abajo, basándose en los criterios de renta y disposición al cambio.

Para conocer la superficie disponible para cultivos de biomasa se aplica un factor de corrección que tiene en cuenta aspectos agrónomicos (limitadores rotacionales) y ambientales (sostenibilidad).

**Recurso potencial:**  $B_{pot} = S_p \times R \times K_{dis}$

**Recurso disponible:**  $B_{dis} = S \times R \times K_{dis} \times Klim$

$B =$  Producción de biomasa expresada en t.

$S_p =$  Superficie potencial para un cultivo energético expresada en has.

$R =$  Rendimiento de biomasa expresado en materia seca t/ha.

$K_{dis} =$  Factor de disposición al cambio expresado en porcentaje sobre  $S_p$ .

$Klim =$  Aplicación de limitadores de desarrollo, agrónomicos y ambientales.

La superficie potencial para la instalación de un nuevo cultivo de biomasa vendrá dada por las superficies de los cultivos que hemos considerado sustituibles, una vez aplicados los criterios fundamentales de prioridad alimentaria ya descritos.

El rendimiento productivo de los nuevos cultivos de biomasa está ya reflejado en las tablas de cultivos y en la tabla principal para cada una de las unidades del estudio.

La *biomasa de restos herbáceos* disponible se obtiene a partir de aplicar las siguientes ecuaciones:

Hay que repetir el mismo sistema de cálculo que con los cultivos, la única diferencia es que los costes asociados al residuo son siempre exclusivamente

los de recolección y transporte y la comparación no se hace con otros cultivos sino con otros usos de los restos. En el mejor de los casos la referencia será la gestión del residuo en la misma parcela para su incorporación al suelo.

**Recurso potencial:**  $Bpot = S \times Rres \times Kdis$

**Recurso disponible:**  $Bdis = Bpot \times Klim$

$Bpot =$  Producción de biomasa expresada en t.

$S =$  Superficie de cultivo expresada en has.

$Rres =$  Rendimiento de restos en t/ha.

Este rendimiento se calcula a través del rendimiento en grano, el índice de cosecha y el índice de aprovechamiento en recolección.

$Kdis =$  Factor de disponibilidad del recurso frente a otros usos (rentabilidad).

$Klim =$  Limitadores agronómicos y ambientales.

La biomasa de restos leñosos disponible se obtiene a partir de aplicar las siguientes ecuaciones:

**Recurso potencial:**  $Bpot = S \times Rres \times Kdis$

**Recurso disponible:**  $Bdis = Bpot \times Klim$

$B =$  Producción de biomasa expresada en t.

$S =$  Superficie de cultivo expresada en has.

$Rres =$  Rendimiento de madera de poda expresado en t/ha.

$Kdis =$  Factor de disponibilidad del recurso frente a otros usos. Una función de rentabilidad. No hay usos alternativos. Uso energético o retirarla del campo o picarla en el campo. Si se lo llevan sin coste para el gestor energético. Conocemos el precio de venta de la madera.

$Klim =$  Limitadores agronómicos y ambientales. Es incluso un beneficio el retirar focos de contaminación de plagas y enfermedades. El tema de materia orgánica normalmente va a ser por estercolados. Erosión no tiene demasiado efecto, mejor cubiertas.

En el caso de cuándo se levantan las plantaciones es exactamente lo mismo pero se necesita una tabla de referencias distinta y porcentaje de reposición o vida media de la plantación. Es decir, no se aplican.

### 3.2.1.2.2 Disposición al cambio de cultivos y de usos de los restos por parte del agricultor (Kdis)

Es evidente que los cambios de usos del suelo no se producen de un modo rápido ni impulsados por

factores simples. Se trata de procesos complejos difíciles de modelizar, aunque en este estudio es necesario tratar de hacerlo tal y como se propone a continuación, a través de un indicador que se va a denominar Kdis o coeficiente disposición al cambio.

$Kdis = kdis1 + kdis2 + kdis3$

$Kdis1$  toma valores de 0 a 0,6 y representa el margen neto del cultivo o residuo respecto al uso tradicional existente previamente (en el caso de restos su gestión en la parcela sin aprovechamiento). Expresado de otro modo, asignamos un peso de un 60% a los márgenes económicos de los cultivos en la decisión a tomar.

$Kdis2$  toma valores de 0 (máximo riesgo) a 0,2 (mínimo riesgo) y representa el riesgo en la innovación. El riesgo representa un peso de un 20% en la decisión a tomar.

$Kdis3$  toma valores de 0 (mayor complejidad) a 0,2 (máxima sencillez) y representa la sencillez o complejidad del cultivo. La sencillez-complejidad representa un peso de un 20% en la decisión a tomar.

$kdis2$  y  $kdis3$  se incluyen en la tabla de cultivos.

El uso tradicional del cultivo tendrá de este modo un Kdis de valor entre 0,8 (ya es conocida su renta e innovación) y 1 como punto de partida.

Cuando se haga la hipótesis de introducir uno o varios cultivos energéticos que podrían sustituir a un cultivo previamente determinado se calcula el Kdis para cada uno de ellos. Cuando  $kdis1$  sea nulo, Kdis será también nulo.

La variable  $kdis1$ , necesaria para completar el valor de Kdis, se obtiene a partir de la diferencia de margen neto del uso tradicional con el uso para biomasa con las siguientes consideraciones (MN biomasa menos MN cultivo tradicional):

**Tabla 59. Cálculo de kdis para la estimación de la disposición al cambio de cultivo**

Diferencias de margen neto difMN	Kdis1	Kdis
Inferior a 0	0	0
0-100	$0,006 \times difMN$	
Sup. a 100	0,6	
Cultivo uso de referencia	0,6	

Esta tabla se soporta en los siguientes razonamientos:

- I. Un cultivo nuevo con menos renta que el actual no es interesante.
- II. Un cultivo nuevo con mayor renta es interesante para el agricultor, tanto más cuanto mayor es el incremento de renta.
- III. Cuando la diferencia de renta es muy alta (superior a 100€) se puede suponer que se pondrían en marcha otros mecanismos de ajuste de mercados. Por tanto, no se consideran diferencias mayores.
- IV. Al cultivo o uso de referencia se le asigna el valor máximo de  $k_{dis1} = 0,6$  entendiendo que el hecho de que exista este cultivo se debe al interés del agricultor por este cultivo en su explotación. Esta decisión implicará que no se puede sustituir completamente este cultivo o uso. El valor de  $k_{dis2}$  será también siempre el máximo, 0,2, puesto que al tratarse de un

cultivo existente no plantea riesgo de innovación para los agricultores. El valor de  $k_{dis3}$  puede ser variable debido a su simplicidad o complejidad diferente.

$K_{dis}$  en cada nuevo cultivo-uso mide la disposición al cambio relativa para cada uno de los cultivos que comparamos. Esa disposición se puede convertir (multiplicada por 100) en el porcentaje de superficie que podría destinarse al nuevo uso que estamos analizando.

No obstante es necesario realizar un prorrateo para que las superficies imputadas a los nuevos usos y al cultivo de referencia sigan sumando la misma superficie que en el punto de partida.

Por ejemplo, si se considera que la superficie de cultivo de cebada en un municipio determinado es de 250 has y se quiere ver cómo podría introducirse tres cultivos de biomasa, B1, B2 y B3, se seguiría el siguiente ejemplo:

**Tabla 60. Ejemplo de cálculo de  $k_{dis}$  para la estimación de la disposición al cambio de cultivo**

Cultivos	Sup	Margen N.	Dif	$K_{dis1}$	$K_{dis2}$	$K_{dis3}$	$K_{dis}$	Sup indiv	Sup final
Cebada	250	150	0	0,6	0,2	0,2	1	100	152
B1	0	130	-20	0	0,1	0,2	0	0	0
B2	0	160	10	0,06	0	0,2	0,26	26	40
B3	0	180	30	0,18	0	0,2	0,38	38	58
<b>Total</b>	<b>250</b>						<b>1,64</b>	<b>164</b>	<b>250</b>

En un ejemplo real esta tabla tendría hasta B5 (si son 5 los posibles cultivos sustitutos: eligiendo las mejores biomasa de cereal, leguminosa, oleaginosa, herbáceo plurianual y forestal).

Esta herramienta en cada municipio compara los cultivos que se han determinado previamente como cultivos de sustitución con los cultivos de biomasa que se han considerado posibles para ese municipio.

En el caso de los *restos de los cultivos* el proceso es similar:

#### ***K<sub>dis</sub>. Herramienta de de terminación de esta constante***

*K<sub>dis</sub> toma valores de 0 a 1 y representa el margen neto del cultivo o residuo respecto al uso tradicional existente previamente (en el caso del residuo su gestión en la parcela sin aprovechamiento).*

**Tabla 61. Cálculo de kdis para la estimación de la disposición al aprovechamiento de restos agrícolas**

Diferencias de margen neto difMN	Kdis
Inferior a 0	0
0 a 60	(0,01666*MN)
Sup. a 60	1

Kdis multiplicada por 100 representa el porcentaje de superficie que podría destinarse al nuevo uso que se está analizando.

**Tabla 62. Ejemplo de cálculo de kdis para la estimación de la disposición al aprovechamiento de restos agrícolas**

Cultivos	Sup	MN	Kdis	Sup final
Biomasa	120	40	0,67	80

Por último, es necesario considerar la biomasa resultante del arranque de las plantaciones de frutales. La primera consideración es el que este arranque se produzca distribuido de forma lineal a lo largo de los años, lo que implica considerar que cada año se arranque un número de hectáreas correspondiente al cociente entre la superficie total y el número de años de vida útil de ese tipo de plantación.

En este caso los costes imputados al uso de biomasa serán los correspondientes a la corta, manipulación y acopio en el momento del arranque, quedando el coste de destoconado a cargo del agricultor. La estimación del rendimiento del residuo se hace a partir del diámetro del tronco y del número de árboles.

El decisor, al evaluar el posible uso de la madera de poda y sea cual sea su resultado, incorpora siempre la parte correspondiente a este capítulo.

### 3.2.1.2.3 Limitadores previsibles para el desarrollo de las nuevas masas y usos energéticos (Klim)

En este apartado reflejamos aquellas limitaciones que los propios cultivos plantean en sí mismos para su desarrollo en las distintas partes de nuestra geografía.

#### • Limitadores agronómicos

Es necesario indicar en qué condiciones es posible el desarrollo de los cultivos energéticos propuestos dado que no todos ellos son adecuados en cualquier situación. Estas limitaciones se aplican antes de cualquier consideración de escenarios de sustitución.

Desde la tabla de cultivos vienen ya incorporados algunos limitadores que se aplican a los cultivos de biomasa a la hora de decidir en qué situaciones considerarlos.

*Adaptación a sequía. Secano (índices de regionalización de secano). Se indica los límites posibles de siembra por sequía de cada especie propuesta.*

#### • Limitadores ambientales

Esta primera serie de limitadores se aplica en el momento de elegir los cultivos de biomasa y zonas (provincia) posibles en cada caso.

En la tabla de cultivos se ha definido previamente las limitaciones que cada cultivo tiene a nivel de sus *necesidades de riego*.

- *Adaptación a tipos de riego y consumos de agua de los cultivos.*

- *Índice de demanda de agua del cultivo (0: No exigente; 9: Muy exigente).*

- *¿Debe analizarse este cultivo con riego a manta? (si/no).*

- *¿Es un cultivo en que sus necesidades máximas de agua son en primavera-verano? (si/no).*

Es necesario, además, crear una nueva tabla, con el nivel de limitación escogido por provincias, aunque se puede modificar este limitador. Es decir, limitaciones provinciales en tipos de riego y consumos de agua.

De este modo se puede limitar el hecho de que en determinadas provincias se utilicen los regadíos para cultivos energéticos o para aquellos cultivos que mayores consumos tienen de agua en todo su ciclo o en primavera-verano.

- *Máximo índice de demanda de agua permitido (0: No exigente; 9: Muy exigente).*

- *¿Deben excluirse los cultivos de primavera y verano? (si/no).*

#### • Limitadores para los cultivos plurianuales

Aunque son a considerar, los cultivos plurianuales plantean al agricultor un cambio significativo en su

organización, puesto que supone el hipotecar a un uso muy concreto sus tierras por un periodo largo de tiempo. Por eso motivo, se considera que este uso tiene un límite en sí mismo, incluso más allá del resultado obtenido con la disposición al cambio. No deberá superar un 10% de la tierra arable.

En el caso de los cultivos forestales en tierras arables, se añade además el hecho de que la instalación de cultivos forestales supone la pérdida del uso agrícola. Este cambio, por tanto, es poco previsible. No deberá superar el 5% de la tierra arable.

El IDAE solicita que todas las superficies que ofrezcan márgenes netos negativos con los cultivos actuales sean susceptibles de dedicarse a cultivos forestales en suelos agrícolas. En estas áreas es donde los cultivos forestales propuestos, con sus márgenes, entrarán en el decisor para compararlos con los cultivos existentes.

Como resultado de este proceso en el que hemos utilizado la herramienta descrita y este primer grupo de limitadores de cultivo, se obtiene una tabla de superficies que nos ofrece la información de las superficies de los cultivos antes y después de utilizar la herramienta de comparación de cultivos.

La tabla de superficies tiene la siguiente estructura:

Municipio
Índice de regionalización
Sistema de riego
Tipo de riego.
Cultivo IDAE
Superficie inicial
Superficie final
Sustituido
Sustituto
Estación recolección
Grupo de cultivo

En dicha tabla tienen que aparecer todos los cultivos para sumar los cereales. (Inicialmente se consideró también los grupos de leguminosas y oleaginosas de otoño, aunque finalmente no se van a considerar como limitadores por su poca significación).

#### • Limitadores para los restos de los cultivos Klim

Limitadores agronómicos y mercados preexistentes. Es habitual que no todas las superficies sean aprovechables por las dificultades que tiene su mecanización o las distancias de transporte. Se evalúa como un valor en porcentaje (función de pendiente media y superficie media de parcela y lluvias en el periodo de recolección) y que en todo caso se puede modificar a nivel de comarca agraria.

Se considera de modo global con un valor de partida para todos los cultivos del 80%. No obstante se acompaña de una tabla provincial para poder diversificar la toma de decisión en este apartado.

En algunas ocasiones existen mercados preestablecidos para los restos que en la práctica reducen la oferta de antemano. En este mismo apartado podría considerarse como un porcentaje sobre la superficie total utilizada por estos mercados.

#### 3.2.1.2.4 Aplicación de limitadores globales del agrosistema para el desarrollo de los cultivos y usos energéticos

En segundo lugar existen algunos limitadores que se aplican una vez se ha establecido la Tabla Superficies con todos los cultivos que se han sustituido por cultivos de biomasa y estos mismos, todos con sus superficies correspondientes.

Es importante aplicar un orden de aplicación de los limitadores tal y como vienen definidos.

- Restitución de restos al suelo en secano. Con los aprovechamientos de biomasa apenas se quedan restos en el suelo para el mantenimiento de la materia orgánica y de la actividad biológica del suelo. Por ese motivo es necesario limitar los usos del suelo repetidos con este destino para evitar afectar la fertilidad de partida, siendo el objetivo mantener un nivel razonable de incorporación de restos.

Este factor va ligado a tabla de regionalización en secano.

- *En secanos de regionalización inferior a 2,5 t/ha, la totalidad de cultivos de biomasa no debería superar el 20% de la tierra arable.*

- En secanos de regionalización entre 2,5 y 3,5 t/ha inclusive, la totalidad de cultivos de biomasa no debería superar el 35% de la tierra arable.
- En secanos de regionalización superior a 3,5 t/ha y regadíos, la totalidad de cultivos de biomasa no debería superar el 50% de la tierra arable.

Todos estos indicadores obligan a realizar un reajuste de la distribución de superficies final de un municipio para que se cumplan los requerimientos indicados.

Como criterio práctico los reajustes se realizan únicamente con los cultivos que han intervenido en el cálculo, quitando superficies a los cultivos de biomasa proporcionalmente a las superficies resultado y restituyéndolas a los cultivos de procedencia proporcionalmente en relación a las superficies iniciales de estos cultivos sustituidos. El nivel hasta el que se ha de restaurar superficies debe dejar el mismo porcentaje existente previamente (cuando éste sea superior a la referencia utilizada, 80% en el caso de cereales, por ejemplo) o podrá llegar hasta la referencia cuando se haya partido de un porcentaje inferior.

Del mismo modo, cuando se utilizan los restos de los cultivos para biomasa se puede estar también creando un problema de mantenimiento de la materia orgánica y de la actividad biológica del suelo. Por ese motivo es necesario limitar los usos del suelo repetidos con este destino para evitar afectar la fertilidad de partida, siendo el objetivo mantener un nivel razonable de incorporación de restos.

#### Ligar a tabla de regionalización

- En secanos de regionalización inferior a 2,5 t/ha, la totalidad de aprovechamiento de biomasa residual no debería superar el 25% de la superficie de cultivos aprovechables.
- En secanos de regionalización entre 2,5 y 3,5 t/ha, la totalidad de aprovechamiento de biomasa residual no debería superar el 50% de la superficie de cultivos aprovechables.
- En secanos de regionalización superior a 3,5 t/ha y regadíos, la totalidad de aprovechamiento de biomasa residual no debería superar el 75% de la superficie de cultivos aprovechables.

Todos estos indicadores obligan a realizar un reajuste de la distribución de superficie final aprovechable de manera proporcional a las

superficies de los cultivos que intervienen en el cálculo. Estas superficies retraídas lógicamente van a incrementar la superficie de no uso de los restos.

- Limitador rotacional. Existe un límite en el período de retorno de un cultivo sobre la misma parcela, o lo que es lo mismo, en el porcentaje de ocupación de superficie en un municipio. Así por ejemplo, el decir que un cultivo no puede repetirse antes de 4 años es lo mismo que indicar que su superficie máxima no puede ser superior al 25%.

Este porcentaje se aplica sobre el total de la tierra arable SIGPAC en un municipio. Los criterios a aplicar a nivel de municipio serán:

- No se puede incrementar el nivel de monocultivo de cereales. Se considerará monocultivo cuando los cereales sumen el 80% de la tierra arable TA. En la tabla de cultivos debe indicarse qué cultivos son cereales.

Todas estas premisas son limitadoras de las superficies de cultivos de biomasa obtenidas previamente y recogidas en la tabla de superficies. Es decir, nunca aumentan las superficies de biomasa, sino que pueden bajar por estos limitadores.

Como criterio práctico los reajustes se realizan únicamente con los cultivos que han intervenido en el cálculo, quitando superficies a la biomasa de cereales, proporcionalmente a las superficies resultado, y restituyéndolas a los cultivos no cereales de donde proceden, proporcionalmente a las superficies iniciales.

De este modo se llega a la tabla resultado.

### 3.2.1.3 Resultados

La tabla resultado tendrá la siguiente estructura:

CCAA	Principal
Provincia	Principal
Municipio	Principal y regionalización
Índice de regionalización	Regionalización
Sistema y tipo de riego	Principal
Cultivo IDAE	Principal y cultivos



(Continuación)

Grupo de cultivo	Cultivos (cereales, legum,...)
Rendimiento por ha cultivo	Principal
Unidades de peso cultivo	Cultivos
Humedad de referencia cultivo	Cultivos
Rendimiento por ha residuo	Cultivos
Unidades de peso residuo	Cultivos
Humedad de Referencia residuo	Cultivos
Superficie inicial	
Superficie final	
Sustituido	Cultivos
Sustituto	Cultivos
Producción t	Rdto * Superficie final
Tipo de cultivo	Cultivos (anual, plurianual, forestal)
Energía tep	Producción * Valor energético
Coste de producción €/t	Costes, cultivos
Eficiencia energética	Costes, cultivos
Eficiencia fijación de carbono	Costes, cultivos
Margen neto	Costes
Estación recolección	Cultivos

A partir de esta tabla resultado se pueden confeccionar informes de superficies (ha), producciones (t) y biomasa (tep) agrupando por CCAA, provincia, cultivos, etc.

Esta tabla resultado junto con los datos básicos utilizados para su elaboración queda guardada en un fichero. De este modo se pueden generar

escenarios de análisis nuevos, variando por ejemplo el precio de la biomasa, la evolución de los costes, etc. y comparar de qué modo afecta a los resultados obtenidos.

Por último, esta misma tabla resultado permite identificar las áreas en las que los cultivos tienen su margen neto negativo, áreas en las que se puede pensar que su sostenibilidad como tierra arable está en cuestionamiento.

Para estas áreas seleccionadas se pretende analizar su potencialidad de transformación a cultivos agroforestales. El coste de producción de la biomasa de las especies forestales más adaptadas será el indicador elegido a tal fin.

De todos modos la herramienta presentada hará aflorar las superficies viables económicamente para estos usos forestales tan sólo creando escenarios de precios elevados de la biomasa.

Los resultados de este trabajo se presentan en formato de tablas por una parte y sobre un soporte SIG en segundo lugar, presentando a nivel de municipio los datos de:

- Biomasa potencial disponible (tanto en toneladas totales como t/ha-año) de restos de cultivos tradicionales agrícolas, de masas herbáceas susceptibles de implantación (cultivos energéticos herbáceos) y de masas forestales susceptibles de implantación (cultivos energéticos leñosos) tanto en toneladas totales como en t/ha-año.
- Costes de obtención de los tipos de biomasa anteriormente nombrados.

### 3.2.2 Biomasa leñosa susceptible de implantación en terreno agrícola

Se va a plantear la implantación de diversos géneros y sus especies, unos de los cuales se propone su implantación en terreno agrícola de secano con un mayor turno de corta y menor densidad de plantación; y otros con menor turno de corta, sobre terrenos de regadío y con mayor densidad de plantación.

Así pues se consideran géneros *Quercus*, *Pinus* y *Eucalyptus* en terreno de secano con un mayor turno; y *Eucalyptus* y *Populus* en terreno de regadío con mayor turno y densidad. Las plantaciones leñosas con fines energéticos en turnos cortos,

que en inglés se denomina *Short Rotation Forestry* (SRF) son aquellos en los que se utilizan especies de crecimiento rápido, bajo un sistema de manejo intensivo y con un turno de corta entre los 2 y 10 años. Dependiendo de diferentes factores, como las especies utilizadas, las condiciones edafoclimáticas o el destino final que se plantee dar a la biomasa producida, los cultivos forestales en turnos cortos pueden realizarse mediante el cultivo de fustes individuales o recepando para producir múltiples brotes, lo que en la terminología anglosajona se denomina *Short Rotation Coppice* (SRC), con variaciones en la densidad inicial y en el turno de corta aplicado.

Además de los distintos itinerarios selvícolas planteados, en este apartado se expone la metodología seguida para el cálculo de la biomasa procedente de las masas de especies forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola con fines energéticos.

Siguiendo la metodología definida en el anterior apartado (3.2.1 Biomasa existente y biomasa herbácea susceptible de implantación en terreno agrícola), el cálculo de biomasa y costes derivados de su implantación, corta, extracción y saca se realizará en base a las siguientes tablas:

- Tabla principal.
- Tabla de cultivos.
- Tabla de conceptos.
- Tabla de datos Técnicos.
- Tabla de costes (directos e indirectos).

### 3.2.2.1 Determinación de la superficie de actuación

La superficie sobre la que se considera la opción de reforestación viene definida por la tabla principal. Dicha tabla se ha definido con anterioridad en el apartado biomasa existente y biomasa herbácea susceptible de implantación en terreno agrícola.

La información de partida para la construcción de dicha tabla principal es similar a la considerada en el apartado anterior, con la particularidad de que en este caso se consideran especies forestales y no agrícolas, por tanto la tabla de regionalización productiva será substituida por un dato de productividad potencial forestal del municipio. Dicho dato se obtiene como resultado del cruce de las coberturas de los Municipios INE y del Mapa de Productividad Potencial de Gandullo y Serrada (1977).

Para la determinación de los terrenos susceptibles de implantación y aprovechamiento se establecen los siguientes criterios:

- Un criterio básico de partida consiste en la no interferencia con los mercados alimentarios, especialmente con aquellas producciones dedicadas a producir alimentos más sensibles como el trigo, el arroz, las frutas y hortalizas.
- Del mismo modo se excluyen los usos de las praderas y pastizales con usos ganaderos extensivos tradicionales, especialmente en zonas de montaña. Su no empleo para usos energéticos se justifica bajo punto de vista de la “condicionalidad” y de su importancia ecológica, paisajística y cultural.
- Además es controvertido el uso del agua de riego para producir energía por lo que habrá que excluir o establecer limitaciones para estos usos en aquellos regadíos con limitaciones significativas, especialmente los regadíos del sur del país.
- La producción de energía puede o bien utilizar biomasa de restos de los cultivos o bien cultivos que ocupen tierras desocupadas o sustituyan a cultivos alimentarios no estratégicos.
- A la hora de estimar la producción de biomasa se utilizará información procedente de experiencias de campo existentes en España y de habitual mane o por el ITGA en el caso de cultivos agrícolas y por la ETSIM en el caso de cultivos forestales.

### 3.2.2.2 Definición de itinerarios selvícolas

La definición de los itinerarios selvícolas proporciona la información base incluida en las tablas de cultivos y conceptos. En la tabla de cultivos (denominada “tabla\_cultivo”) se recogen las principales especies forestales indicadas para la reforestación de tierras agrarias así como su posibilidad anual.

**Tabla 63. Especies leñosas (forestales) susceptibles de implantación en terreno agrícola con fin energético**

Género	Especie
Populus	<i>Populus alba</i>
	<i>Populus nigra</i>
	<i>Populus tremula</i>
	<i>Populus x canadensis</i>

(Continuación)

Género	Especie
<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>
	<i>Eucalyptus camadulensis</i>
	<i>Eucalyptus nitens</i>
<i>Quercus</i>	<i>Quercus faginea</i>
	<i>Quercus ilex</i>
	<i>Quercus pubescens</i>
	<i>Quercus canariensis</i>
	<i>Quercus pyrenaica</i>
	<i>Quercus suber</i>
<i>Pinus</i>	<i>Pinus pinaster</i>
	<i>Pinus radiata</i>
	<i>Pinus sylvestris</i>
	<i>Pinus nigra</i>
	<i>Pinus pinea</i>
	<i>Pinus halepensis</i>
	<i>Pinus canariensis</i>

Al igual que sucede en el caso de biomasa a implantar en terreno forestal, la estimación de biomasa se basa fundamentalmente en la definición del itinerario selvícola de cada especie y su posibilidad potencial (t/ha-año). La definición de los mismos en el presente documento se ha realizado en base a las experiencias de diversas implantaciones en España y/o de la existencia de información suficientemente contrastada sobre los anteriores.

Como resumen de lo que se explica detalladamente a continuación, comentar que se ha considerado la implantación de las especies del género *Populus* únicamente en terrenos de regadío; las especies de los géneros *Quercus* y *Pinus* se proponen implantables en terrenos agrícolas de secano; y

finalmente, el género *Eucalyptus* se plantea tanto en secano como en regadío.

De manera generalizada, las labores a tener en cuenta en la implantación, mantenimiento y corta de estos cultivos forestales en terreno agrícola son iguales a las ya comentadas en el apartado de cultivos forestales en terreno forestal (preparación del suelo, plantación, abonado, fertilización, herbicida, plaguicida, aprovechamiento, saca, adecuación del material y transporte a central o parque de almacenamiento). Sin embargo, algunas especies presentan algunas peculiaridades respecto a dicho apartado. Por ello, a continuación se detallan los itinerarios selvícolas de cada una de las especies de aplicación energética en España en terreno agrícola.

#### 3.2.2.2.1 Itinerario selvícola: *Quercus* en terreno agrícola

El itinerario selvícola en terreno agrícola es similar al descrito para terrenos forestales (apartado 3.1.2.1.1 Itinerario selvícola: género *Quercus*) difiriendo únicamente en la necesidad de la realización de un nivelado previo del terreno.

En la siguiente tabla se describe el itinerario a lo largo de la vida de la plantación, así como la producción o posibilidad (t/ha, no anual) de cada corta.

**Tabla 64. Selvicultura de las especies susceptibles de implantación en terreno forestal**

Género	Edad	Diámetro (cm)	Labor	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)
<i>Quercus</i>	0		Nivelado y subsolado		
	0		Plantación (2.000 pies/ha) y abonado		
	30	13,5	Corta	150	75
	55	12,5	Corta	138,2	69,1
	80		Corta	138,2	69,1
	105		Corta	138,2	69,1
	130		Corta	138,2	69,1
	155		Corta	138,2	69,1
	175		Corta	138,2	69,1
	175		Destoconado	34,6	17,3

Siendo th las toneladas a una humedad del 50% y ts las toneladas en materia seca (0% de humedad).

Por tanto, la posibilidad anual de las plantaciones del género *Quercus* es **2,9 ts/ha-año** (materia seca). Dicha posibilidad se verá variada por la productividad potencial del terreno.

#### 3.2.2.2.2 Itinerario selvícola: *Pinus* en terreno agrícola

Los itinerarios selvícolas para las distintas especies del género *Pinus* son similares a los descritos para el terreno forestal (apartado 3.1.2.1.3 Itinerarios selvícolas: género *Pinus* en terreno forestal).

A continuación se presenta a modo de resumen los itinerarios selvícolas propuestos, así como sus producciones a lo largo del turno de la plantación.

**Tabla 65. Itinerario selvícola del género *Pinus* susceptible de implantación en terreno agrícola**

Especie	Edad	Diámetro (cm)	Labor	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)	Posibilidad anual (th/ha-año)	Posibilidad anual (ts/ha-año)	
Todas las especies	0		Nivelado y subsolado					
	0		Plantación (1.670 pies/ha) y abonado					
<i>Pinus pinaster</i>	<i>atlantica</i>	20	19	Corta	260,0	130,0	13	6,5
	<i>mesogensis</i>	40	21,5	Corta	336,0	168,0	8,4	4,2

(Continuación)

Especie	Edad	Diámetro (cm)	Labor	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)	Posibilidad anual (th/ha-año)	Posibilidad anual (ts/ha-año)
<i>Pinus radiata</i>	16	19	Corta	377,6	188,8	23,7	11,8
<i>Pinus sylvestris</i>	55	20	Corta	342,1	171,1	6,22	3,11
<i>Pinus nigra</i>	60	19,5	Corta	345,6	172,8	5,76	2,88
<i>Pinus pinea</i>	50	20	Corta	490,0	245,0	9,83	4,9
<i>Pinus halepensis</i>	50	13,5	Corta	145,0	72,5	2,91	1,45
<i>Pinus canariensis</i>	45	14,5	Corta	259,2	129,6	5,76	2,88

Siendo th las toneladas a una humedad del 50% y ts las toneladas en materia seca (0% de humedad).

Dicha posibilidad se verá variada por la productividad potencial del terreno.

### 3.2.2.2.3 Itinerario selvícola: *Eucalyptus* en terreno agrícola de secano

Previo a la descripción del itinerario selvícola es necesario definir las condiciones edafoclimáticas imprescindibles para el éxito de la implantación del género en terreno agrícola. Así pues, se presenta la descripción de las óptimas condiciones para su implantación en secano:

- Pendiente <15%.
- Suelos: neutros o ácidos pH<6,5.
- Pedregosidad superficial: nula.
- Climatología: sin riesgos de heladas.
- Precipitación media >600 mm.

Una vez definidas las superficies de implantación se describen las labores a llevar a cabo a lo largo del ciclo de vida de la masa a implantar.

- **Preparación del suelo:** la preparación del terreno se va a realizar mediante un nivelado del suelo y eliminación de piedras superficiales, para lo cual es necesario emplear un bulldozer de 120 CV, y un subsolado posterior, el cual se puede llevar a cabo, si el terreno lo permite, con un tractor agrícola que es más económico que el bulldozer.
- **Plantación.** Nº de plantas 2.667 plantas/ha (plantación con marco aproximado 3 x 1,25 m). La plantación se lleva a cabo mediante un tractor agrícola con apero plantador.
- **Abonado:** aunque existen distintos tipos de combinaciones, para los tipos de cultivos que se han

definido, se ha decidido un abono N/P/K de concentración 11/22/9, de liberación lenta. Se ha considerado la aplicación de una cantidad de 250 gramos por planta.

En cuanto al momento de abonado, se ha determinado un primer abonado al mismo tiempo que se realiza la plantación. El segundo se realiza con un tractor estimando las mismas cantidades de abono. Finalmente, después de la primera corta se realiza un último abonado de las mismas características.

- **Limpia o eliminación de la vegetación en competencia:** se realiza al año de plantación, mediante la aplicación de un herbicida soluble foliar a través de un tractor con cuba y dosis de 3 l/ha.
- **Tratamiento contra plagas:** se realiza de forma circunstancial cuando la planta se vea afectada. Su tratamiento se realiza mediante pulverización y variará según el tipo de plaga.
- **Corta final:** se plantea un turno de 22 años con una primera corta a los 4 años y cortas sucesivas cada tres años hasta alcanzar el turno; en la última corta se incluye también el destocoado. Las producciones varían considerablemente en función del material base de reproducción (clonal o seminal).
- Al final del turno se procede a llevar a cabo un **destocoado**. Al igual que para el caso de los *Quercus*, la biomasa de los tocones se ha considerado como el 25% de la biomasa total extraída en la corta final correspondiente a la última fila de las tablas arriba indicadas.

En las siguientes tablas se presenta un resumen de las distintas labores a llevar a cabo a lo largo del turno así como sus producciones:

**Tabla 66. Itinerario selvícola del género *Eucalyptus*, clonal seco, susceptible de implantación en terreno agrícola**

Género	Edad	Labor	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)
<i>Eucalyptus</i> clonal (secano)	0	Nivelado y subsolado		
		Plantación (2.667 pies/ha) y abonado		
		Aplicación herbicida		
	Cuando sea necesario	Aplicación plaguicida		
	3	Abonado		
	4	Corta	56,00	28,00
		Abonado		
	7	Corta	52,5	26,25
	10	Corta	52,5	26,25
	13	Corta	52,5	26,25
	16	Corta	52,5	26,25
	19	Corta	52,5	26,25
	22	Corta	53,5	26,75
Destoconado		13,13	6,56	

Siendo th las toneladas supuesto un contenido de humedad del 50% y ts las toneladas en materia seca (0% de humedad).

Así pues, la posibilidad anual media es de **8,8 ts/ha-año**.

**Tabla 67. Itinerario selvícola del género *Eucalyptus*, seminal seco, susceptible de implantación en terreno agrícola**

Género	Edad	Labor	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)
<i>Eucalyptus</i> seminal (secano)	0	Nivelado y subsolado		
		Plantación (2.667 pies/ha) y abonado		
	1	Aplicación herbicida		
	Cuando sea necesario	Aplicación plaguicida		
	3	Abonado		
	4	Corta	40	20
		Abonado		
	7	Corta	37,5	18,75
	10	Corta	37,5	18,8
	13	Corta	37,5	18,8
	16	Corta	37,5	18,8
	19	Corta	37,5	18,8
	22	Corta	38,5	19,3
Destoconado		9,4	4,7	

Siendo th las toneladas supuesto un contenido de humedad del 50% y ts las toneladas en materia seca (0% de humedad).

Así pues, la posibilidad anual media es de **6,3 ts/ha-año**.

### Ilustración 23. Cultivo energético de eucalipto de secano en terrenos agrícolas en Huelva



Fuente: ETSIM Montes

#### 3.2.2.2.4 Itinerario selvícola: *Eucalyptus* en terreno agrícola de regadío

Las condiciones ecológicas imprescindibles para el buen desarrollo de las masas son:

- Pendiente <15%.
- Suelos: neutros o ácidos pH<6,5.
- Pedregosidad superficial nula.
- Climatología: sin riesgos de heladas.
- Precipitación media sin límite.
- Disponibilidad de agua de riego.

Por tanto, se trata de suelos fundamentalmente agrícolas que disponen de agua de riego.

• **Preparación del suelo:** al igual que en el cultivo agrícola de secano, para la preparación del terreno se va a utilizar, para el nivelado del suelo y eliminación de piedras superficiales, un bulldozer de 120 CV. El subsolado, sin embargo, siempre y cuando el terreno lo permita se puede llevar a cabo con un tractor agrícola que es más económico que el bulldozer. Con el fin de considerar el lado más restrictivo se considera el uso de la misma maquinaria, bulldozer, en las dos labores.

En el caso de terrenos de regadío, dentro de la preparación del terreno podría encontrarse la operación de "instalación del riego" pero se va a considerar que los cultivos forestales de regadío únicamente serán implantados en aquellos terrenos donde previamente la instalación de riego se encuentra ya realizada.

• **Plantación:** se ha considerado una densidad de plantación de 2.667 plantas/ha (plantación con marco aproximado 3x1,25 m)

Coste de la planta (planta clonal)  
0,5 €/planta ..... 1.333,5 €/ha  
Coste de la planta (planta seminal)  
0,11 €/planta ..... 293,4 €/ha

• **Abonado:** aunque existen distintos tipos de combinaciones, para los tipos de cultivos que se han definido, se ha decidido un abono N/P/K de concentración 11/22/9, de liberación lenta. Se ha considerado la aplicación de una cantidad de 250 gramos por planta.

En cuanto al momento de abonado, se ha determinado un primer abonado al mismo tiempo que se realiza la plantación. El segundo se realiza con un tractor estimando las mismas cantidades de abono. Finalmente, después de la primera corta se realiza un último abonado de las mismas características.

• **Limpia o eliminación de la vegetación en competencia:** no es necesaria su aplicación, dado que la distribución del agua es muy localizada en la planta por lo que no existe competencia de otras plantas.

• **Tratamiento contra plagas:** se realiza de forma circunstancial cuando la planta se vea afectada. Se realizará mediante tractor con cuba por pulverización, con un rendimiento similar al de la limpia, y con unos costes del plaguicida variable según el tipo de plaga. Tal y como se mencionó anteriormente, se realiza mediante la aplicación de un herbicida soluble foliar con una dosis de 3 l/ha (coste 6 €/l).

• **Corta final:** el turno cosecha es cada dos años, aunque entremedias del ciclo se incluyen cuatro turnos de un año, hasta 10 cosechas.

• Al final del turno se procede a llevar a cabo un **destoconado**. Al igual que para el caso de los *Quercus*, la biomasa de los tocones se ha considerado como el 25% de la biomasa total extraída en la última corta final.



**Tabla 68. Itinerario selvícola del género *Eucalyptus*, clonal regadío, susceptible de implantación en terreno agrícola**

Género	Edad	Labor	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)
<i>Eucalyptus</i> seminal (regadío)	0	Nivelado y subsolado		
		Plantación (2.667 pies/ha) y abonado		
	Cuando sea necesario	Aplicación plaguicida		
	3	Abonado		
	2	Corta	80,0	40,0
		Abonado		
	4	Corta	70,0	35,0
	5	Corta	70,0	35,0
	7	Corta	70,0	35,0
	8	Corta	70,0	35,0
	10	Corta	70,0	35,0
	11	Corta	70,0	35,0
	13	Corta	70,0	35,0
	15	Corta	70,0	35,0
	16	Corta	70,0	35,0
Destoconado		17,5	8,8	

Siendo th las toneladas supuesto un contenido de humedad del 50% y ts las toneladas en materia seca (0% de humedad).

Así pues, la posibilidad anual media es de **23,7 ts/ha-año**.

**Tabla 69. Itinerario selvícola del género *Eucalyptus*, seminal regadío, susceptible de implantación en terreno agrícola**

Género	Edad	Labor	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)
<i>Eucalyptus</i> clonal (regadío)	0	Nivelado y subsolado		
		Plantación (2.667 pies/ha) y abonado		
	Cuando sea necesario	Aplicación plaguicida		
	3	Abonado		
	2	Corta	63,5	31,8
		Abonado		
	4	Corta	60,0	30,0
	5	Corta	60,0	30,0
	7	Corta	60,0	30,0
	8	Corta	60,0	30,0
	10	Corta	60,0	30,0
	11	Corta	60,0	30,0
	13	Corta	60,0	30,0
	15	Corta	60,0	30,0
	16	Corta	60,0	30,0
Destoconado		15	7,5	

Siendo th las toneladas supuesto un contenido de humedad del 50% y ts las toneladas en materia seca (0% de humedad).

Así pues, la posibilidad anual media es de **19,3 ts/ha-año**.

### Ilustración 24. Cultivo energético de eucalipto de regadío en terrenos agrícolas en Huelva



Fuente: ETSIM Montes

#### 3.2.2.2.5 Itinerario selvícola: *Populus* spp. en terreno agrícola de regadío

Las características más relevantes que hacen al *Populus* un género propicio para la producción de biomasa son, entre otras, su rápido crecimiento, la amplia base genética con la que cuenta, ciclos de mejora breve, facilidad para la multiplicación vegetativa, capacidad de rebrote tras la corta, etc. Otra de las características del chopo es que en el proceso de combustión presenta un bajo nivel de emisiones y baja tendencia a la sinterización siendo por lo tanto una fuente limpia que ayuda al mantenimiento de los equipos.

### Ilustración 25. Cultivo energético de chopo en Huelva



Fuente: ETSIM Montes

A continuación se detallan las condiciones ecológicas sobre las que se pueden implantar los chopos en terreno agrícola:

- Exigencias edáficas: las condiciones ecológicas exigibles en suelos para esta especie son suelos

de naturaleza aluvial, frecuentes en las zonas de vega, y todos aquellos suelos de regadío. Los suelos no han de ser necesariamente fértiles, creciendo bien en suelos de relativamente escasa fertilidad para el cultivo agrícola. Al igual que muchos de los cultivos energéticos el pH se mueve entre los 5,8-8,5 siendo el óptimo el que ronda los 6,5-7. No soporta los suelos salinos. En lo referente a la textura prefiere suelos francos no compactos, es decir, suelos de texturas bien aireadas con un cierto contenido de arena. Igualmente se adapta bien a los suelos limoso-arcillosos. La textura óptima estaría compuesta por 60-70% de tierra fina en el perfil accesible, y que esta tenga del orden de un 50% de arena, menos del 25% de limo, y del 5-30% de arcilla para lograr los mejores rendimientos. Dada dicha textura descrita es necesario reducir la presión de la maquinaria sobre el suelo.

Las exigencias en volumen de suelo útil y accesible en plantaciones corto son menores que las de turno mayor, al ser menor la biomasa a suentar antes de la corta. Ahora bien, es necesario un mínimo de 80-100 cm de profundidad accesible. Además, se ven afectadas por la presencia de pedregosidad y capas impenetrables para el sistema radical, aunque esta puede ser combatida con una adecuada preparación del terreno antes de la plantación.

El género *Populus*, por lo general, no resiste suelos con un encharcamiento prolongado, además rechaza suelos mal drenados y con capas freáticas demasiado calientes o desoxigenadas.

- Exigencias climáticas: en general, todos los terrenos situados por debajo de los 1.000-1.200 m de altitud son favorables y útiles a este tipo de cultivos, ya que principalmente la limitación viene impuesta por el frío siendo este el factor limitante. Aún así es más conveniente hablar de una adecuada duración del período vegetativo que de temperatura.

Las heladas, tanto tempranas como tardías, son un factor muy limitante. Una forma de soslayar dicho efecto es el empleo de clones de brotación más bien tardía, de forma que la fecha de brote se ajuste a las fechas sin riesgos de fuertes heladas. A pesar de que los clones de brote más temprano suelen tener una mayor producción, ya que es mayor su período vegetativo, estos corren siempre mayores riesgos de heladas. Es conveniente evitar los fondos de valle.

Una precipitación elevada es favorable, al incrementarse la producción y reducirse el coste en

riegos, los cuales parecen necesarios en toda España, exceptuando la Cornisa Cantábrica, especialmente en el período comprendido entre el 15 de mayo y el 15 de septiembre. Para otras especies susceptibles de uso silvoenergético, en especial en el caso de los *Quercus*, es posible el cultivo de secano. Ahora bien, cuando la precipitación es abundante existe mayor competencia por la existencia de hierbas en la plantación que aprovechan el agua superficial. Además, a pesar de una menor precipitación la plantación tendrá éxito si existe una capa freática accesible por las raíces como se ha comentado anteriormente (bien oxigenada, fresca y más bien superficial). Por otro lado no le convienen un exceso de nieve, por las roturas consecuentes en el tallar.

El chopo es una especie exigente en cantidad de agua. Así pues, respecto a la necesidad de riego, cabe destacar que en zonas de ribera con capas freáticas permanentes a 50-150 cm de profundidad no es necesario por regla general complementar con riego. Además, el consumo de agua es menor que en plantaciones de mayor turno de corta.

El género *Populus* se ha naturalizado ampliamente y aparece en todas las provincias de la Península Ibérica.

A continuación se resumen las principales características de los lugares óptimos para su implantación:

- Altitud inferior a 1.000-1.200 m.
- Temperatura  $\geq -5^{\circ}\text{C}$ , en periodo vegetativo.
- Respecto al suelo prefiere suelos de textura arenolimoso, arenarcilloso y franco limoarcilloso, con pH sobre 6,5-7, con mínimo en 5,8 y máximo en 8,5. En cuanto a la profundidad de suelo, requiere entre 50-150 cm en zonas de ribera (nivel freático).
- En cuanto al periodo vegetativo del chopo, cuanto mayor sea mayor será la producción potencial en un lugar. Es importante identificar el clon que más se adapte al período vegetativo de la zona. Además, una exigencia característica del chopo es abundante luz solar, la cual no es limitante en España.
- **Preparación del terreno:** la preparación del terreno tiene como fin mejorar las condiciones de crecimiento mediante la destrucción de las posibles capas impermeables al agua, facilitar la penetración en la profundidad del perfil edáfico de los sistemas radicales y el posterior desenvolvimiento de éstos eliminando las heterogeneidades internas del perfil.

La preparación del terreno se divide en tres fases:

- **Subsolado** pleno de 60-80 centímetros de profundidad a llevar a cabo en verano que facilite la penetración en profundidad de las raíces mediante la ruptura de cualquier posible capa impenetrable y apertura de canales de acceso a la humedad profunda del suelo, así como descompactación del suelo.
- **Gradeo cruzado** a 15-20 centímetros para facilitar el fácil hincado de las estaquillas y desagregar el suelo. Esta labor es necesaria llevarla a cabo en otoño tras las primeras lluvias de modo que se elimina la vegetación de competencia que surja tras ellas. Se realiza con tractores ligeros de baja presión de ruedas sobre el suelo que no perjudiquen las labores anteriores por compactación del terreno.
- **Alzado** a 40-50 centímetros de profundidad. Esta labor se llevará a cabo a los tres meses del gradeo y justo antes de la plantación, generalmente en el mes de febrero, para plantar entre febrero y marzo. Mediante esta labor se elimina, enterrando la vegetación herbácea competidora, y se ahueca y homogeneiza el terreno favoreciendo el desarrollo de los sistemas radicales superficiales.
- **Abonado de fondo:** el abonado de fondo y de restitución con fósforo y potasio es imprescindible para garantizar la duración de las cepas. Mientras, el abonado con nitrógeno es preferible evitarlo en el primer año de la implantación y del recepe ya que favorecen la aparición de hierbas competidoras. Es aconsejable alcanzar un contenido de potasio de 200 ppm, por tanto, será necesario tanto antes de la plantación, como tras cada corta (abonado de reposición) el abonado con potasio del orden de 40-50 unidades por hectárea. Respecto al fósforo es necesario alcanzar 10 ppm, lo que implica un abonado antes de la plantación y tras cada corta de 60-75 unidades por hectárea.
- **Plantación:** la plantación se lleva a cabo mediante estaquillas. Una buena estaquilla debe medir de 18-25 centímetros de largo y unos 20-30 milímetros de diámetro y tener, al menos, tres yemas. Es recomendable humedecer las estaquillas en caso de haberse resecado debido al transporte y almacenamiento, remojándolas en agua fresca y oxigenada durante 48 horas. Además es necesaria la aplicación por inmersión con Fentión (Lebaycid) al 1% de producto activo en agua, para eliminar posibles parásitos. En la mayoría de los casos la orientación de la plantación depende de la mejor bngitud de la besana en

la parcela. Ahora bien, en caso de grandes parcelas hay que destacar la conveniencia de una orientación Este-Oeste, incluso algo Sureste-Noroeste, para recoger así la mayor cantidad de luz posible aumentando la capacidad fotosintética, al reducirse al máximo la posible sombra entre las plantas.

Como es lógico, en caso de terrenos con algo de pendiente, lo cual no es lo razonable, las filas de plantación (las de mayor densidad) deberán disponerse según curvas de nivel ya que la maquinaria se moverá en las distintas labores en dicha dirección. La plantación se puede llevar a cabo de forma manual obteniéndose unos rendimientos de 1.200-1.300 estaquillas por jornal o de forma semimecanizada mediante plantadoras de una o dos hileras tanto forestales como agrícolas. Para este estudio, y debido al aumento considerable del rendimiento en la actividad, se considerará una plantación semimecanizada.

En ausencia de maquinaria específica de plantación se puede emplear un tractor agrícola de poca potencia en el que se acopla dos abresurcos a una distancia entre sí similar a la de las filas y con dos ruedecillas de compactación de modo que simultáneamente el peón va introduciendo la estaquilla. La distancia entre estaquillas se puede controlar mediante una rueda de plantación.

- **Marco y densidad de plantación:** los tres efectos que parecen influir de forma significativa en la decisión de los diseños de las plantaciones y el manejo de los cultivos forestales energéticos son las siguientes (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), 2007):

- La ley de producción constante final, en la que se postula que el rendimiento de biomasa se incrementa con la densidad, si bien a partir de una densidad determinada la producción se hace independiente de la misma, lo cual podría utilizarse para determinar el número máximo de estaquillas por hectárea en plantaciones SRF.

- Se establece una competencia entre individuos con la presencia de árboles dominantes y dominados. El tiempo de corta deberá establecerse sobre estos estados de competencia, para evitar la disminución de la viabilidad de la cepa.

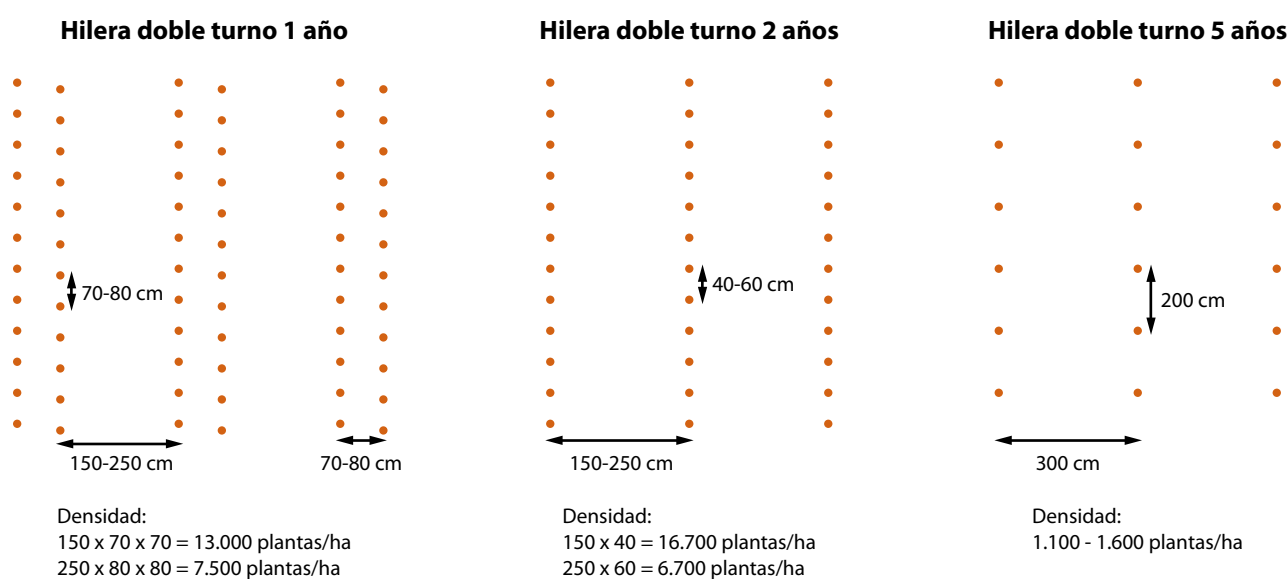
- Según la ley de autoclareo de Yoda (1963), la biomasa total por unidad se incrementa exponencialmente sin mortalidad hasta el cierre de copa. Después del cierre de las copas las plantas detendrán su crecimiento si la densidad no se reduce. El espaciamiento y el turno de corta deben equilibrarse para evitar pérdidas por competencia dentro de la cepa y la masa. Además de estas dos variables, deben considerarse otras como la duración de la plantación, mortalidad, posibles pudriciones y costes.

- Las conclusiones a las que se llega (Picchi, 2007) son, en función del turno de corta, del producto y de las máquinas empleadas en el cultivo y la cosecha.

- En los turnos cortos se usan densidades elevadas, con esquema de implante en hileras simples o dobles.

- En los turnos largos la densidad disminuye y las hileras son simples.

### Ilustración 26. Marcos y densidades de plantación del género *Populus*



Las razones de selección de una densidad u otra pueden ser muy variables: maquinaria disponible para la realización del trabajo, necesidad de biomasa a obtener en un momento concreto (una masa espaciada puede retrasar su turno de corta de modo que suministre el material en un momento puntual de mayor demanda), diámetro a obtener en el momento de la corta y turno, limitaciones por el capital invertido, etc.

Se proponen **dos densidades de plantación**, una de **1.500 plantas/ha** y otra de **5.500 plantas por ha**.

- **Época de plantación:** la época idónea de plantación es una vez finalizadas las fuertes heladas, es decir, en los meses de febrero-marzo pudiéndose prolongarse a marzo-abril mediante el empleo de estaquillas conservadas en frío. Las estaquillas se llevan al campo en paquetes de 100 estaquillas para su mejor manejo. La implantación debe realizarse lo más vertical posible y con las yemas hacia arriba. Además es conveniente llevar a cabo tras la implantación un primer riego para un adecuado asentamiento en el suelo. Una vez mojado el suelo y asentado el material es conveniente que en la parte aérea permanezcan dos yemas. La plantación se puede llevar a cabo de forma manual obteniéndose unos rendimientos de 1.200-1.300 estaquillas por jornal, o de forma mecanizada mediante plantadoras tanto forestales como agrícolas, las cuales aumentan considerablemente el rendimiento.
- **Reposición de marras:** no es normal la necesidad de reposición de marras, ahora bien, en caso de necesidad ésta deberá ser llevada a cabo de forma manual durante las tres primeras semanas tras el brote. Por tanto, es necesario el almacenamiento en frío de estaquillas de reposición.
- **Tratamientos culturales:** los principales tratamientos a llevar a cabo a lo largo de la vida de la plantación son los laboreos, abonados y riegos. No se llevan a cabo tratamientos de corta intermedios (podas, clareos y claras). Las escardas se llevarán a cabo a lo largo del primer año y medio tras el estaquillado y recepe, para evitar la competencia de la vegetación herbácea. Además como actuación inicial antes de la plantación es conveniente una escarda seguida de un buen barbechado o, incluso, de un buen tratamiento herbicida para reducir la agresividad inicial de la vegetación herbácea.
  - Escardas y binas: se trata de pequeños gradeos superficiales y leves pasos de "rotavátor" con una profundidad máxima de 10 cm. El número de pases necesarios depende de

la fertilidad del lugar, las precipitaciones y riegos, iluminación, etc., siendo necesarios de forma general, dado el rápido crecimiento de la masa arbórea, el primer año de 2 a 4 pases, disminuyendo el segundo a 1 ó 2, y a que se disminuye la competencia ejercida por hierbas competidoras.

En ocasiones se han empleado herbicidas (por ejemplo, metramitrona a dosis de 5.600-7.000 gr/ha) aunque resultan contaminantes y de difícil aplicación.

- Abonados: parece suficiente un abonado de fondo compuesto por 75 unidades de fósforo y 50 de potasio, y un abonado superficial de cobertura de 75 de nitrógeno. El abonado de fondo es aconsejable en la plantación y tras cada corta, aplicando el de nitrógeno sólo cuando las hojas no muestren un color intenso verde y saludable.
- Desmamados de cepa: existe una discusión constante sobre su conveniencia o no. Por un lado la producción de biomasa de un tallar es máxima cuando no se realiza limpieza ni desmamado y además tradicionalmente no se han llevado a cabo, pero por otro un desmamado temprano favorece el crecimiento del único brote, alcanzando mayores dimensiones y abaratando los costes a la hora del aprovechamiento y transporte (es más barato transportarlo en trozas que el astillarlo directamente en campo, siempre dependiendo de la distancia de transporte claro está). Además, el no desmamado implica un menor turno de corta ya que las masas llegan antes a su estancamiento debido al numeroso número de brotes. Por tanto, es planteable la realización del desmamoneo.
 

"Un podador avanza a ritmo de 1.200 cepas desmamadas por jornal; 2/3 de hectárea en nuestro modelo inicial de plantación" (Montoya Oliver).
- Riegos: el período de riego se centra de forma general entre el 15 de mayo y el 15 de septiembre. Se deben realizar entre 4 y 6 riegos dependiendo de la zona, espaciados entre 30 y 20 días. Montoya Oliver propone el siguiente calendario para zonas de elevado déficit:
  - Primer riego: 15 de mayo.
  - Segundo riego: 15 de junio.
  - Tercer riego: 5 de julio.
  - Cuarto riego: 25 de julio.
  - Quinto riego: 15 de agosto.
  - Sexto riego: 15 de septiembre.

Respecto a la cantidad a aplicar en cada riego, depende también del déficit hídrico de la zona variando, según datos de Montoya Oliver, entre un consumo mínimo de 600-1.200 m<sup>3</sup>/ha y riego, en cuatro riegos, es decir, 2.400-4.800 m<sup>3</sup>/ha/año; un riego más usual de unos 900 m<sup>3</sup>/ha/riego en 5 dosis, unos 4.500 m<sup>3</sup>/ha/año; otro más intenso de 6 riegos de unos 900 m<sup>3</sup>/ha/riego, unos 5.400 m<sup>3</sup>/ha/año; y el caso límite, y en años particularmente secos, se podrían alcanzar hasta 7 riegos de 1.200 m<sup>3</sup>/ha/riego, es decir hasta 8.400 m<sup>3</sup>/ha/año.

De forma general se puede hablar de entre (3.600)-4.500-(5.400) m<sup>3</sup>/ha/año, lo cual suponiendo un período vegetativo de 6-7 meses en condiciones de regadío, supone una aportación de 2-2,6 milímetros al día.

El riego por goteo parece el idóneo aunque resulta costoso, 1.200-1.500 €/ha, lo que junto con los costes de plantación y las dificultades asociadas de mecanización, harían inviables económicamente este tipo de cultivos. Ahora bien, aunque el riego a manta resulta mucho más económico, este tipo de riego se emplea en zonas de escasa agua o con productos de alta producción económica por hectárea y año, casos que no son compatibles con el tipo de cultivo tratado.

- Prevención y mantenimiento de daños y plagas: la mayor parte de los clones existentes resisten bien y sin graves perjuicios los daños producidos por heladas.

Se presentan daños por royas en masas demasiado espesas o muy regadas y abonadas. Aunque el clima normalmente seco y soleado favorece su no aparición. Además en algunas plantaciones se han observado daños por *Gyponoma aceriana* y *Melampsora larici-populina*. Por tanto, como medida preventiva sanitaria general, se ha aconsejado el no plantar nunca masas de un solo clon, proponiendo la plantación mediante mezcla por rodales.

Como lucha contra los insectos perforadores se aconsejan turnos no demasiado largos, ni el cultivo sin unas condiciones de riego suficientes. En caso de ataques, algunos riegos profundos son el mejor sistema de lucha biológica.

Aunque no es muy generalizado el tratamiento con fungicidas e insecticidas, cuando se lleven a cabo se realizarán sobre las cepas recién cortadas.

Los daños del viento no son destacables ya que no se deprecia en todo caso mucho menos el producto derribado dada la finalidad de éste.

- Maquinaria: no se tienen especiales necesidades de maquinaria, siendo empleables aquellas máquinas habitualmente disponibles en la agricultura común.

Entre las máquinas y aperos necesarios se encuentran: un pequeño rotavator o un pequeño tractor agrícola dotado del apero correspondiente para la escarda mecánica para el control de la hierba en competencia, la maquinaria correspondiente a tratamientos de plagas y abonadora centrífuga para el abonado de fondo y de cobertura.

- **Corta:** las plantaciones realizadas en altas densidades y turnos cortos han tenido a lo largo de los años diferentes intereses productivos. Inicialmente el interés se centró en la producción de fibra para uso papelerero o de tableros; sin embargo, a partir de la primera crisis energética se contempló también la posibilidad de su utilización como posible fuente de energía alternativa. Han sido numerosos los espaciamientos ensayados en parcelas experimentales de estos cultivos con el objetivo de incrementar los rendimientos productivos y encontrar la densidad óptima para un ciclo de producción y especie determinada. Así se ha probado desde densidades bajas en torno a 1.000 pies/ha hasta los 310.000 pies/ha. Conjuntamente con la densidad de plantación también se han ensayado diferentes turnos de corta, desde turnos anuales hasta turnos próximos a los habituales para estas especies de crecimiento rápido (unos 14 años), con el fin de optimizar el cultivo y su aprovechamiento.

Según explica Montoya Oliver el régimen de cortas sería el siguiente:

- Primera corta: para alcanzar un diámetro de corta de 12,5 cm Dg con una densidad de plantación de 1.800 estaquillas/ha (5,5 m<sup>2</sup> por estaquilla) la edad de corta es de 6-7 años, aunque se podría adelantar la corta 1-2 años antes por razones de necesidades de abastecimiento, y sin pérdida notable de dimensión o producción bruta (sí tal vez en valor residual en pie) ni abusar excesivamente de las cepas.
- Sucesivas cortas: para alcanzar un diámetro de corta de 12,5 cm Dg con una densidad de plantación de 1.800 estaquillas/ha (5,5 m<sup>2</sup> por estaquilla) la edad de corta es de 4 años, aunque se podría llegar a cortar 1 año antes si es preciso forzar el abastecimiento.

- Número de recepes: se consideran 4 recepes, por tanto 5 cortas, la primera a los 6 años y las restantes a los 4, es decir, un total del ciclo de 22 años.

Según Montoya Oliver el resumen del programa selvícola podría ser el siguiente:

*Tomando como referencia nuestra calidad general II.*

*Marco inicial de estaquillado, en todas las calidades, de 2,5 x 2,2 m o equivalente (1.818 pies/ha).*

*Diámetro en corta 12,5 cm Dg cc. Máximo posible con buen rendimiento en el tallar (1/3 de Dg a M.A.), y óptimo para el aprovechamiento y el transporte, en su caso, de trozas. Peso medio 78 kg. Volumen 0,111 m<sup>3</sup>.*

*Escardas iniciales, un desmamonado por cada rebrote, 4-6 riegos anuales según déficit hídrico local, y abonados (0-75-50) de reposición y para la conservación de cepas tras cada corta, con la excepción de la última.*

*Turno "tecnológico" a aplicar en corta de puesta en fábrica de 6 años, y en las cortas en tallar de tan*

*sólo 4 años. Flexibilidad máxima en ambos casos de 1 año, en más o en menos: (5)-6-(7) y (3)-4-(5).*

*Rendimiento en biomasa total en corta de puesta en fábrica de 10,5 toneladas métricas totalmente secas por hectárea y año (monte alto) y rendimiento en cortas sucesivas de 17,5 ts/ha/año en el tallar.*

*Cortas sin hojas ni savia. Cosecha total de 63 ts en puesta en fábrica, y de 70 ts en cada una de las sucesivas cuatro cortas del tallar a los 4 años.*

*Se deduce una cosecha total en 5 cortas (1 + 4) a lo largo de 22 años (6 + 4 +4 +4 +4) de 343 ts totales, totalmente secas, de biomasa; media de 15,6 ts/ha/año. 31 th/ha/año húmedas en corta.*

*PCI (4.100 kcal/kg) 63,96 millones de kcal/ha/año. CO<sub>2</sub> sustituido (1,63 kg/kg) 25,43 ts/ha/año. CO<sub>2</sub> medio retenido en vuelo 280 TN.*

*Fuente: Montoya Oliver*

En cuanto a la producción y de acuerdo a valores aportados por Picchi, G. (2007)<sup>1</sup>, se presentan tres alternativas combinando diferentes turnos de corta con distintas densidades:

**Tabla 70. Posibilidad de masas del género *Populus* a implantar con fines energéticos según distintos turnos de corta**

Especie	Cod	Tratamiento selvícola	Nº de pies (ud/ha)	Diámetro (cm)	PPB competitiva anual (ts/año)	PPB competitiva anual (tep/año)	PPB competitiva anual (MWh/año)	PPB competitiva anual (MJ/año)
<i>Populus alba</i>	51	Corta con turno=1	14.000	6	11-14	5,98	69,97	250.000
<i>Populus alba</i>	51	Corta con turno=2	6.000	10	18	8,60	100,75	360.000
<i>Populus alba</i>	51	Corta con turno=5	1.100	22	13	6,21	72,77	260.000

Montoya Oliver aporta los siguientes datos en función al régimen de cortas que propone anteriormente:

- Biomasa acumulada en la primera corta

<sup>1</sup>Cultivos energéticos leñosos (SRC). Jornades sobre l'aprofitament energetic de biomasa llenyosaa Catalunya, Barcelona



**Tabla 71. Posibilidad de las primeras cortas de masas del género *Populus* a implantar con fines energéticos según la calidad de estación de la zona a implantar**

Calidades generales de estación. Primera corta. Toneladas secas en corta			
Calidades	Desde	A	Media
I	69,30	81,90	75,60
II	56,70	69,30	63,00
III	44,10	56,70	50,40
IV	31,50	44,10	37,80

Fuente: Montoya Oliver

– Biomasa acumulada en sucesivas cortas

**Tabla 72. Posibilidad de cortas cada 4 años de masas del género *Populus* a implantar con fines energéticos según la calidad de estación de la zona a implantar**

Calidades generales de estación. Tallar de chopo. Toneladas secas en corta. Rotación 4 años			
Calidades	Desde	A	Media
I	77	91	84
II	63	77	70
III	49	63	56
IV	35	49	42

Fuente: Montoya Oliver

- **Destoconado:** al final del turno se procede a llevar a cabo un destoconado. Al igual que en casos anteriores, la biomasa de los tocones se ha considerado como el 25% de la biomasa total extraída en la última corta final.

Como se ha comentado, para el estudio se han propuesto dos modelos con densidades de plantación de 1.500 plantas/ha y 5.500 plantas/ha. A continuación se presentan los turnos de corta y

posibilidades obtenidas establecidos en el estudio para ambos modelos en base a experiencias anteriores en España.

**Modelo 1,** la primera corta se realiza a la edad de tres años y las siguientes cada 2 años hasta completar el turno de 21 años, en la última corta se incluye también el destoconado. Para el análisis de costes se ha considerado el modelo con los diferentes tipos de riego (goteo y manta), pero manteniendo las producciones en cada modelo.

**Tabla 73. Itinerario selvícola del género *Populus*, Modelo 1, susceptible de implantación en terreno agrícola**

Género	Edad	Diámetro (cm)	Labores	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)	
<i>Populus</i> (modelo 1)	0		Nivelado y subsolado			
	0		Plantación (5.500 plantas/ha) y abonado			
	2		Abonado			
	3		8	Corta	82,9	37,3
				Abonado		
	5	Corta		75,2	33,8	
	7	Corta		75,2	33,8	
	9	Corta		75,2	33,8	
	11	Corta		75,2	33,8	
	13	Corta		75,2	33,8	
	15	Corta		75,2	33,8	
	17	Corta		75,2	33,8	
	19	Corta		75,2	33,8	
	21			Corta	75,2	33,8
Destoconado				18,8	8,5	

Siendo th las toneladas producidas supuesto un contenido de humedad del 50%, mientras que ts son las toneladas considerado el material seco (0%).

Así pues, la posibilidad media anual es de **16,7 ts/ha-año**.

En el modelo 1, como la plantación no excede su diámetro normal de 8 centímetros, se puede aplicar para la corta de la masa una Class Jaguar 880.

**Modelo 2**, la primera corta se realiza a los siete años y es por eso que la densidad es menor que en el caso anterior. Las demás cortas se dan cada cinco años hasta completar el turno de 22 años, en la última corta se incluye también el destococonado.

Al igual que en el caso anterior se aplicarán dos tipos de riegos que han de contemplarse en el análisis de costes.

**Tabla 74. Itinerario selvícola del género *Populus*, Modelo 2, susceptible de implantación en terreno agrícola**

Género	Edad	Diámetro (cm)	Labores	Posibilidad (th/ha)	Posibilidad (ts/ha)
<i>Populus</i> (modelo 2)	0		Nivelado y subsolado		
	0		Plantación (1.500 plantas/ha) y abonado		
	3		Abonado		
	7	15	Corta	176,4	88,2
			Abonado		
	12		Corta	210,0	105,0
	22		Corta	210,0	105,0
Destoconado			52,5	26,3	

Siendo th las toneladas producidas supuesto un contenido de humedad del 50%, mientras que ts son las toneladas considerado el material seco (0%).

Así pues, la posibilidad media anual es de **19,5 ts/ha-año**.

### 3.2.2.3 Cálculo de biomasa procedente de reforestaciones en terreno agrícola

Se evalúa la biomasa potencial de cada uno de los cultivos forestales energéticos en tierras agrícolas posibles a través de un sistema de cálculo basado en los criterios renta y disposición al cambio, como ya se explicó en el apartado 4.3.1 Biomasa existente y biomasa herbácea susceptible de implantación en terreno agrícola.

La opción de implantación de cultivos forestales no es siempre una opción viable, debido a que existen multitud de factores que limitan su potencia. Por ello, para el cálculo de la biomasa disponible se aplica un factor de corrección que tiene en cuenta aspectos agronómicos (limitadores rotacionales) y ambientales (sostenibilidad).

Así pues, la ecuación de cálculo de biomasa procedente de masas leñosas (forestales) a implantar en terreno agrícola, al igual que se definió en el apartado 4.3.1 Biomasa existente y biomasa herbácea

susceptible de implantación en terreno agrícola, es la que se presenta a continuación:

Recurso Potencial:  $B_{pot} = Sp \times R \times K_{dis}$

Recurso Disponible:  $B_{dis} = S \times R \times K_{dis} \times Klim$

donde:

- B, es la biomasa potencial o disponible expresada en t.
- Sp, es la superficie potencial para un cultivo energético expresada en has.
- R, es el rendimiento de biomasa expresado en materia seca ts/ha-año.
- Kdis, es el factor de disposición al cambio expresado en porcentaje sobre la superficie potencial.
- Klim, es un factor de limitadores por condicionantes de desarrollo, agronómicos y ambientales.

**Kdis: factor de disposición al cambio a cultivo agrícola a forestal**

El valor del factor Kdis vendrá dado como suma de tres factores:

$$K_{dis} = k_{dis1} + k_{dis2} + k_{dis3}$$

donde:

Kdis1 representa el margen neto del cultivo respecto al uso tradicional existente previamente.

Kdis2 representa el riesgo en la innovación.

Kdis3 representa la sencillez o complejidad del cultivo.

**kdis2 y kdis3 se encuentran determinados por defecto en la Herramienta Informática en la tabla de cultivos**

Por el contrario a las masas herbáceas a implantar en terreno agrícola, se considera que en el caso de cultivos forestales a implantar en terrenos agrícolas el valor del Kdis2 y Kdis3 es 0 y por tanto,  $Kdis = Kdis1$ .

Por el contrario a las masas herbáceas a implantar en terreno agrícola, se considera que en el caso de cultivos forestales a implantar en terrenos agrícolas el valor del Kdis2 y Kdis3 es 0 y por tanto,  $Kdis = Kdis1$ .

#### **Klim: factores de limitación al desarrollo (agronómicos y ambientales)**

La implantación de cultivos forestales en terreno agrícola no es siempre viable por motivos ambientales y agronómicos. Es necesario indicar en qué condiciones es posible el desarrollo de los cultivos energéticos propuestos dado que no todos ellos son aptos en cualquier situación. Estas limitaciones se aplican antes de cualquier consideración de escenarios de sustitución. Así pues, se estudia para cada cultivo:

- Limitadores agronómicos:
  - Adaptación a sequía. Secano, meter en tabla de cultivos.
  - Adaptación a tipos de riego. Regadío (tipo de riego), meter en tabla en la tabla de cultivos.
  - Tolerancia al frío (altitud). Se hacen necesarias algunas tablas auxiliares a este respecto. Unirla a la tabla de altitud que se cree. Se va a referir a la altitud media del municipio. En la tabla de cultivos es necesario referir qué límites tiene cada cultivo.
  - Consumo de agua y en qué momento. Dirá a partir de qué valor no es admisible en la tabla de cultivos.
- Limitadores ambientales. Dado que no existen limitaciones de rotación en los cultivos forestales, la restitución de restos al suelo es el único limitador ambiental a considerar. Con los

aprovechamientos de biomasa apenas se quedan restos en el suelo para el mantenimiento de la materia orgánica y de la actividad biológica del suelo, por ese motivo es necesario limitar los usos del suelo repetidos con este destino para evitar afectar la fertilidad de partida, siendo el objetivo mantener un nivel razonable de incorporación de restos. Esta revisión se realiza una vez se ha establecido la tabla resultado con todos los cultivos de sustitución analizados.

#### **3.2.2.4 Definición de sistemas logísticos**

Los sistemas logísticos definen el conjunto de maquinaria a emplear en cada una de las operaciones recogidas en los itinerarios selvícolas correspondiente a la especie/género considerada. Por lo tanto, cada itinerario selvícola tiene asociado un sistema logístico, de modo que para poder analizar los resultados económicos de los cultivos a sustituir y los nuevos cultivos de biomasa es necesario analizar los sistemas logísticos previstos en cada caso y sus costes.

En el caso de cultivos leñosos en terreno agrícola cada género y/o especie lleva asociado un sistema logístico considerado como el más representativo de las actuaciones realizadas hasta ahora en España. A continuación se presenta para cada género el sistema logístico propuesto.

##### **3.2.2.4.1 Sistema logístico: género *Quercus* en terreno agrícola**

- En el caso del género *Quercus*, la preparación del terreno (desbroce y preparación simultánea del terreno) se realiza mediante bulldozer 120 CV con desbrozadora de martillos y subsoladora que prepara el terreno con subsolado cruzado.
- La plantación se lleva a cabo con tractor agrícola con apero plantador.
- La cosecha se realizará utilizando un tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador que a su vez realiza el transporte hasta cargadero.
- Una vez recogida la biomasa se astilla en cargadero con una astilladora.
- El transporte de cargadero a central se lleva a cabo a través de un camión piso móvil.

**Tabla 75. Sistemas logísticos para la obtención de biomasa procedente de masas del género *Quercus* susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción general	Preparación del terreno. Subsulado	Abonado y plantación	Corta y saca a cargadero	Adecuación en cargadero	Transporte a central	Destoconado				
						Extracción	Reunión de tocones	Saca a cargadero	Transporte a central	Tratamiento en central
<i>Quercus</i> en agrícola de seco	Bulldozer 120 con desbrozad. de martillos y subsulado que prepara el terreno con subsulado cruzado	Tractor agrícola (sin abonado)	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador	Astilladora en cargadero	Camión piso móvil	Retroexcav.	Bulldozer 120	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca (carga en monte + transporte + descarga en cargadero)	Transporte en camión tráiler	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque

#### 3.2.2.4.2 Sistema logístico: género *Pinus* en terreno agrícola

- En el caso del género *Pinus*, la preparación del terreno se llevará a cabo mediante un Bulldozer 120 CV con desbrozadora de martillos y subsoladora que prepara el terreno con subsulado lineal en línea de máxima pendiente.
- La plantación y el abonado se realizan simultáneamente con tractor agrícola con apero plantador.
- El apeo se lleva a cabo con autocargador dotado con cabezal cosechador en punta de grúa, que

después del apeo de varios pies, carga estos en su remolque, dejando la punta hacia fuera del tractor. Es el mismo autocargador quien realiza el transporte desde monte a cargadero. Dado que en el momento de la corta el diámetro es inferior a 15 cm en el *Pinus halepensis* y *Pinus canariensis*, el autocargador va dotado de un cabezal multitalador.

- Una vez el material se encuentra en cargadero es astillado y transportado mediante camión piso móvil hasta central.

**Tabla 76. Sistemas logísticos para la obtención de biomasa procedente de masas del género *Pinus* susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción general	Preparación del terreno. Subsulado	Abonado y plantación	Corta y saca a cargadero	Adecuación en cargadero	Transporte a central
<i>Pinus pinaster</i> norte agrícola de seco	Bulldozer 120 con desbrozadora de martillos y subsoladora	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador	Astilladora en cargadero	Camión piso móvil
<i>Pinus pinaster</i> meseta agrícola de seco	Bulldozer 120 con desbrozadora de martillos y subsoladora	Tractor agrícola (sin abonado)	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador	Astilladora en cargadero	

(Continuación)

Descripción general	Preparación del terreno. Subsulado	Abonado y plantación	Corta y saca a cargadero	Adecuación en cargadero	Transporte a central
<i>Pinus radiata</i> agrícola de secoano	Bulldozer 120 con desbrozadora de martillos y subsoladora	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador	Astilladora en cargadero	Camión piso móvil
<i>Pinus sylvestris</i> agrícola de secoano	Bulldozer 120 con desbrozadora de martillos y subsoladora	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador	Astilladora en cargadero	
<i>Pinus nigra</i> agrícola de secoano	Bulldozer 120 con desbrozadora de martillos y subsoladora	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador	Astilladora en cargadero	
<i>Pinus pinea</i> agrícola de secoano	Bulldozer 120 con desbrozadora de martillos y subsoladora	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador	Astilladora en cargadero	
<i>Pinus halepensis</i> agrícola de secoano	Bulldozer 120 con desbrozadora de martillos y subsoladora	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	Tractor autocargador con cabezal multitalador	Astilladora en cargadero	
<i>Pinus canariensis</i> agrícola de secoano	Bulldozer 120 con desbrozadora de martillos y subsoladora	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	Tractor autocargador con cabezal multitalador	Astilladora en cargadero	

3.2.2.4.3 Sistema logístico: género *Eucalyptus* en terreno agrícola

- La preparación del terreno se llevará a cabo mediante un Bulldozer 120 CV que efectúe el nivelado y subsulado.
- La plantación se realiza con un tractor agrícola con apero plantador que realiza el primer abonado simultáneamente.
- Tanto la aplicación del herbicida para la limpia (realizada al año de plantación) como del plaguicida, se aplica con un tractor agrícola dotado de una cuba.
- La cosecha se realiza con una Class Jaguar, la cual astilla el material en monte por lo que no

se lleva a acabo ningún tratamiento ni en cargadero ni en central, seguida de dos tractores que realizan el transporte del material de monte a cargadero simultáneamente.

- El transporte de cargadero a central de la astilla se lleva a cabo mediante un camión piso móvil.
- El destocoado se lleva a cabo con retroexcavadora, la reunión de tocones con bulldozer, saca a cargadero con tractor agrícola con grúa, transporte a central mediante camión tráiler y finalmente, se lleva a cabo una reducción de los tocones mediante un pretriturado, cribado y posterior triturado.

**Tabla 77. Sistemas logísticos para la obtención de biomasa procedente de masas del género *Eucalyptus* susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción general	Preparación terreno		Abonado y plantación	Limpia (aplic. herb)	Tratamiento plagas	Abonados		Corta y saca a cargadero	Transporte a central	Destocoñado				
	Nivelado	Subsol.				2º Abonado	3º Abonado (posterior a la 1ª corta)			Extracc.	Reunión de tocones	Saca a cargadero	Transporte a central	Tratamiento en central
<i>Eucalyptus</i> clonal en agrícola de secano	Bulldozer 120	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor con apero abonador	Tractor con apero abonador	Class Jaguar + dos tractores con remolque	Camión piso móvil	Retroexcavadora	Bulldozer 120	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca (carga en monte + transporte + descarga en cargadero)	Transporte en camión tráiler	Pretrituradora, cribadora y trituradora en parque
<i>Eucalyptus</i> seminal en agrícola de secano	Igual que anterior (varían los costes de la planta y rendimientos de maquinaria)													
<i>Eucalyptus</i> clonal en agrícola de regadío	Bulldozer 120	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador	na	Tractor con cuba	Tractor con apero abonador	Tractor con apero abonador	Class Jaguar + dos tractores con remolque		Retroexcavadora	Bulldozer 120	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca. (carga en monte + transporte + descarga en cargadero)	Transporte en camión tráiler del tocón	Pretrituradora, cribadora y trituradora en parque
<i>Eucalyptus</i> seminal en agrícola de regadío	Igual que anterior (varían los costes de la planta y rendimientos de maquinaria)													

#### 3.2.2.4.2 Sistema logístico: género *Populus* en terreno agrícola

- La preparación del terreno se llevará a cabo mediante un Bulldozer 120 CV que efectúe el nivelado y subsolado.
- La plantación se realiza con un tractor agrícola con apero plantador-abonador que realiza el primer abonado simultáneamente.
- Cuando el riego es realizado por goteo, no es necesario llevar a cabo una limpia dado que el agua se aplica directamente a la planta. Se supone el no crecimiento de malas hierbas entre línea donde

únicamente llega el agua de lluvia. Por el contrario, en el riego a manta, será necesaria la aplicación de herbicidas para reducir la competencia en el cultivo.

- La cosecha del modelo 1 se lleva a cabo mediante Class Jaguar seguida de dos tractores con remolque. En estos casos no será necesario llevar a cabo tratamiento en central ni cargadero. Por el contrario, la corta final del modelo 2 se lleva a cabo mediante un cabezal cosechador acumulador acoplado en un tractor autocargador. El material podrá astillarse en cargadero o en central, a elección del propietario.

En la herramienta informática únicamente se ha considerado la opción de astillado en cargadero al considerarse la más óptima para este tipo de aprovechamiento de masas.

- De forma general, para el destocoado se ha optado por el mismo sistema empleado tanto para el género *Quercus* como para el género *Eucalyptus*.

Se trata de una retroexcavadora que realiza la extracción de los tocones, seguida de un bulldozer que los empuja para reunirlos a pie de pista.

- Para el transporte a central se utilizará un camión tráiler.
- Una vez en central los tocones son pretriturados, cribados para quitar las impurezas y posteriormente el proceso se cierra con un triturado final.

**Tabla 78: Sistemas logísticos para la obtención de biomasa procedente de masas del género *Populus* a susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción general	Preparac. terreno		Abonado y plantación	Limpia (aplic.herb)	Tratamiento plagas	Abonados		Corta	Saca a cargadero	Tratamiento en cargadero	Transporte a central	Destocoado				
	Nivelado y subsol.					2º Abon. y 3º Abonado (posterior a la 1ª corta)						Extracción	Reunión de tocones	Saca a cargadero	Transporte a central	Tratamiento en central
<i>Populus</i> modelo 1 en agrícola y riego a manta	Bulldozer 120		Tractor agrícola con apero plantador/abonador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor con apero abonador		Class Jaguar + dos tractores con remolque	Dos tractores con remolque (transporte + descarga en cargadero)	na	Transporte en camión piso móvil de la astilla	Retroexcavadora	Bulldozer 120	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca. (carga en monte + transporte + descarga en cargadero)	Transporte en camión tráiler del tocón	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
<i>Populus</i> modelo 2 en agrícola y riego a manta	Bulldozer 120		Tractor agrícola con apero plantador/abonador	Tractor con cuba	Tractor con cuba	Tractor con apero abonador		Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador		Astilladora en cargadero	Transporte en camión piso móvil de la astilla	Retroexcavadora	Bulldozer 120	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca (carga en monte + transporte + descarga en cargadero)	Transporte en camión tráiler del tocón	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque



(Continuación)

Descripción general	Preparac. terreno	Abonado y plantación	Limpia (aplic. herb)	Tratamiento plagas	Abonados	Corta	Saca a cargadero	Tratamiento en cargadero	Transporte a central	Destocoñado				
	Nivelado y subsol.				2º Abon. y 3º Abonado (posterior a la 1ª corta)					Extracción	Reunión de tocones	Saca a cargadero	Transporte a central	Tratamiento en central
Populus modelo 1 en agrícola y riego a goteo	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	na	Tractor con cuba	Tractor con apero abonador	Class Jaguar + dos tractores con remolque	Dos tractores con remolque (transporte + descarga en cargadero)	na	Transporte en camión piso móvil de la astilla	Retroexcavadora	Bulldozer 120	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca (carga en monte + transporte + descarga en cargadero)	Transporte en camión tráiler del tocón	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque
Populus modelo 2 en agrícola y riego a goteo	Bulldozer 120	Tractor agrícola con apero plantador/ abonador	na	Tractor con cuba	Tractor con apero abonador	Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador		Astilladora en cargadero	Transporte en camión piso móvil de la astilla	Retroexcavadora	Bulldozer 120	Tractor con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca (carga en monte + transporte + descarga en cargadero)	Transporte en camión tráiler del tocón	Pretriturad., cribadora y trituradora en parque

### 3.2.2.5 Definición de rendimientos de maquinaria

En el presente apartado se procede a detallar los rendimientos y costes de la maquinaria utilizada en cada uno de los sistemas logísticos expuestos con anterioridad.

El uso de tractor agrícola en la plantación de sistemas forestales y agrícolas así como en la aplicación de herbicidas para la limpia y plaguicidas se encuentra ampliamente extendido. Por ello, se conoce que su rendimiento es de 0,5 ha/h en la plantación y 0,25 ha/h en la aplicación de tratamiento culturales. En el caso la plantación del género Pinus estos rendimientos son menores, 0,14 ha/h.

Cuando la cosecha se realiza con una Class Jaguar 880, el rendimiento difiere en función de las toneladas por hectárea, ya que tiene un rendimiento de 0,5 ha/h.

Para el resto de operaciones, el tiempo productivo de las máquinas empleadas se ha calculado en esta sección a partir de las fórmulas expuestas en la siguiente tabla:

**Tabla 79. Rendimientos de la maquinaria a emplear en cada operación en masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Operación	Máquina	Rendimiento (th/h)
Apeo	Cosechadora (Para $8 < d < 15$ )	$0,049 \cdot d^2,174$
	Cosechadora (Para $d > 15$ )	$1,45 \cdot d - 15,2$
	Multitaladora	$1,17 \cdot d - 6,5$

(Continuación)

Operación	Máquina	Rendimiento (th/h)
Saca	Tractor agrícola	$-0,01Dd+10,06$
	Autocargador	$-0,014 \cdot Dd+14,37$
Tratamiento en cargadero	Astilladora	16,5
Tratamiento en parque	Astilladora	16,67
Destoconado	Pretrituradora parque	15,32
	Cribadora en parque	82,8
	Trituradora	13,89

donde:

th son las toneladas considerado el material con un contenido de humedad del 40%.

d es el diámetro en cm.

Dd es la distancia de desembosque que para este estudio se ha fijado en 350 metros.

Por tanto, los rendimientos de cada operación que componen los itinerarios y sistemas logísticos son los que se presentan de forma resumida en las siguientes tablas:

**Tabla 80. Rendimientos de trabajo calculados para el aprovechamiento de biomasa procedente de masas de género *Pinus* y *Quercus* susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción general	Prepar. terreno	Abonado y plantación (ha/h)	Limpia (aplic. herb) (ha/h)	Tratamiento plagas (ha/h)	Abonados		Corta (th/h)	Saca a cargadero (th/h)	Tratamiento en cargadero (astillado)	Destoconado					
	Subsol. (ha/h)				2º Abonado (ha/h)	3º Abonado (poster. a la 1ª corta) (ha/h)				Extracc. (ha/h)	Reunión de tocones (ha/h)	Saca a cargad. (th/h)	Tratamiento en central		
													Pretrit. (th/h)	Cribad. (th/h)	Triturad. (th/h)
<i>Quercus</i> en agrícola	0,7	0,5	na	na	na	na	11,88169632	9,47	16,5	0,3	0,3	6,56	15,32	89,8	13,89
<i>Pinus pinaster</i> norte agrícola de secano	na	0,14	na	na	na	na	12,35	9,47	16,5	na	na	na	na	na	na
<i>Pinus pinaster</i> meseta agrícola de secano		0,14	na	na	na	na	15,975	9,47	16,5	na	na	na	na	na	na
<i>Pinus radiata</i> agrícola de secano		0,14	na	na	na	na	12,35	9,47	16,5	na	na	na	na	na	na
<i>Pinus sylvestris</i> agrícola de secano		0,14	na	na	na	na	13,8	9,47	16,5	na	na	na	na	na	na

(Continuación)

Descripción general	Prepar. terreno		Abonado y plantación (ha/h)	Limpia (aplic. herb) (ha/h)	Tratamiento plagas (ha/h)	Abonados		Corta (th/h)	Saca a cargadero (th/h)	Tratamiento en cargadero (astillado)	Destoconado					
	Subsol. (ha/h)	2º Abonado (ha/h)				3º Abonado (poster. a la 1ª corta) (ha/h)	Extracc. (ha/h)				Reunión de tocones (ha/h)	Saca a cargad. (th/h)	Tratamiento en central			
													Pretrit. (th/h)	Cribad. (th/h)	Triturad. (th/h)	
<i>Pinus nigra</i> agrícola de secano			0,14	na	na	na	na	13,075	9,47	16,5	na	na	na	na	na	na
<i>Pinus pinea</i> agrícola de secano			0,14	na	na	na	na	13,8	9,47	16,5	na	na	na	na	na	na
<i>Pinus halepensis</i> agrícola de secano			0,14	na	na	na	na	9,295	9,47	16,5	na	na	na	na	na	na
<i>Pinus canariensis</i> agrícola de secano			0,14	na	na	na	na	10,465	9,47	16,5	na	na	na	na	na	na

**Tabla 81. Rendimientos de trabajo calculados para el aprovechamiento de biomasa procedente de masas de género *Eucalyptus* susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción general	Preparación terreno		Abonado y plantación (ha/h)	Limpia (aplic. herb) (ha/h)	Tratam. plagas (ha/h)	Abonados		Corta (th/h)	Saca a cargadero (th/h)	Destoconado					
	Nivelado (ha/h)	Subsol. (ha/h)				2º Abonado (ha/h)	3º Abonado (poster. a la 1ª corta) (ha/h)			Extracc. (ha/h)	Reunión de tocones (ha/h)	Saca a cargadero (th/h)	Tratamiento en central		
													Pretrit. (th/h)	Cribadora (th/h)	Triturad. (th/h)
<i>Eucalyptus</i> clonal en agrícola de secano	0,11	0,70	0,50	0,25	0,25	0,50	0,50	31,5	13,12	0,3	0,3	6,56	15,32	89,8	13,89
<i>Eucalyptus</i> seminal en agrícola de secano	0,11	0,70	0,50	0,25	0,25	0,50	0,5	22,5	13,12	0,3	0,3	6,56	15,32	89,8	13,89
<i>Eucalyptus</i> clonal en agrícola de regadío	0,11	0,70	0,50	na	0,25	0,50	0,50	54,00	13,12	0,30	0,30	6,56	15,32	89,80	13,89
<i>Eucalyptus</i> seminal en agrícola de regadío	0,11	0,70	0,50	na	0,25	0,50	0,50	38,1	13,12	0,3	0,3	6,56	15,32	89,8	13,89

**Tabla 82. Rendimientos de trabajo calculados para el aprovechamiento de biomasa procedente de masas de género *Populus* susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción general	Preparación terreno		Abonado y plantación (ha/h)	Limpia (aplic. herb) (ha/h)	Tratamiento plagas (ha/h)	Abonados		Corta (th/h)	Saca a cargadero (th/h)	Destoconado					
	Nivelado (ha/h)	Subsol. (ha/h)				2º Abonado (ha/h)	3º Abonado (poster. a la 1ª corta) (ha/h)			Extracc. (ha/h)	Reunión de tocones (ha/h)	Saca a cargadero (th/h)	Tratamiento en central		
													Pretritur. (th/h)	Cribadora (th/h)	Triturad. (th/h)
<i>Populus</i> modelo 1 en agrícola y riego a manta	0,11	0,7	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	45,09	13,12	0,3	0,3	6,56	15,32	89,8	13,89
<i>Populus</i> modelo 2 en agrícola y riego a manta	0,11	0,7	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	17,66	9,47	0,3	0,3	6,56	15,32	89,8	13,89
<i>Populus</i> modelo 1 en agrícola y riego a goteo	0,11	0,7	0,5	na	0,25	0,5	0,5	45,09	13,12	0,3	0,3	6,56	15,32	89,8	13,89
<i>Populus</i> modelo 2 en agrícola y riego a goteo	0,11	0,7	0,5	na	0,25	0,5	0,5	17,66	9,47	0,3	0,3	6,56	15,32	89,8	13,89

Los rendimientos expuestos se han determinado considerando la biomasa húmeda (contenido de humedad del 40%). Los rendimientos de la biomasa húmeda experimentan una pérdida de productividad de [toneladas·(1-X)], siendo X la humedad de la biomasa expresado en base húmeda.

### 3.2.2.6 Análisis de costes

Cada una de las operaciones (preparación, corta, saca, transporte, etc.) consideradas en los distintos itinerarios selvícolas previamente definidos para los géneros y especies considerados como susceptibles de implantación, tiene un coste asociado. Dicho coste depende en muchas ocasiones de la especie considerada para la implantación (caso del número de plantas necesarias) o es independiente de la misma (abono empleado). Por otro lado, en aquellas operaciones en las que es necesario el uso de maquinaria, el coste total también vendrá dado a partir del coste horario y el rendimiento de cada una de las máquinas definidas.

Por lo tanto, dada la complejidad que añade al cálculo de costes el planteamiento de la implantación de masas, ya sean herbáceas o leñosas (en este caso leñosas o forestales), se ha realizado una distinción entre los distintos costes clasificándolos en:

- **Costes directos dependientes:** aquellos dependientes del cultivo, es decir, subvenciones, precio de la planta, precio de la biomasa.
- **Costes directos independientes:** aquellos independientes del cultivo, como son el precio del abono, herbicida, plaguicida y del agua de riego.
- **Costes indirectos:** asociados al uso de maquinaria forestal.

De este modo el coste de una operación o proceso va a ser función de una serie de costes directos dependientes e independientes y unos costes indirectos.

Cada uno de estos costes queda reflejado en la herramienta informática en la tabla de datos técnicos y de costes correspondientes en la aplicación que se encarga de realizar dicha función.

### 3.2.2.6.1 Costes directos dependientes

Como se ha explicado con anterioridad, los costes dependientes son aquellos considerados como dependiente de la masa a implantar. Así pues, por ejemplo, el *precio de la planta* es un coste dependiente ya que difiere según el género considerado y su procedencia.

Los costes directos dependientes son considerados parámetros que podrán ser perfectamente modificados para adaptarlos a las condiciones de mercado y circunstancias oportunas.

El *precio* al que se está pagando la *biomasa* con fines energéticos, aunque es dependiente de la especie a implantar, para el desarrollo del presente estudio se ha considerado una constante pues las variaciones entre especies difieren en poco.

Otro coste dependiente de la especie es el correspondiente a las *subvenciones*, Ahora bien, las

subvenciones ofrecidas para la reforestación de tierras agrarias resulta un factor más complejo de analizar dado que varían dependiendo de la comunidad autónoma considerada, el tipo de propietario que las solicita o la especie considerada. A fin de simplificar este factor, se ha considerado una subvención común para todas las comunidades autónomas, propietarios y especies equivalentes al 50% del coste de implantación del cultivo.

Otro factor en teoría dependiente es el coste procedente del alquiler de las tierras agrícolas sobre las que se implantarán los cultivos forestales. Ahora bien, no ha sido considerada la renta del suelo pues se suponen terrenos ya amortizados.

En la siguiente tabla se presentan los costes directos dependientes, definidos de forma predefinida por la herramienta, aunque podrán ser modificados en otros estudios.

**Tabla 83. Costes indirectos de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción de la masa a implantar	Subvención (€/ha.año)	Planta necesaria (ud/ha)	Precio planta (€/ud)	Precio de biomasa (€/ts)
<i>Eucalyptus</i> clonal en agrícola de secano	50,17	2.667	0,50	87,50
<i>Eucalyptu</i> seminal en agrícola de secano	26,53	2.667	0,11	87,50
<i>Eucalyptus</i> clonal en agrícola de regadío	68,98	2.667	0,50	87,50
<i>Eucalyptus</i> seminal en agrícola de regadío	36,48	2.667	0,11	87,50
<i>Populus</i> modelo 1 en agrícola y riego a manta	37,87	5.500	0,10	87,50
<i>Populus</i> modelo 2 en agrícola y riego a manta	21,71	1.500	0,10	87,50
<i>Populus</i> modelo 1 en agrícola y riego a goteo	37,87	5.500	0,10	87,50
<i>Populus</i> modelo 2 en agrícola y riego a goteo	21,71	1.500	0,10	87,50
<i>Quercus</i> en agrícola	4,97	2.000	0,44	87,50
<i>Pinus pinaster</i> norte agrícola de secano	32,52	1.670	0,25	87,50
<i>Pinus pinaster</i> meseta agrícola de secano	16,26	1.670	0,25	87,50
<i>Pinus radiata</i> agrícola de secano	40,65	1.670	0,25	87,50
<i>Pinus sylvestris</i> agrícola de secano	11,83	1.670	0,25	87,50

(Continuación)

Descripción de la masa a implantar	Subvención (€/ha.año)	Planta necesaria (ud/ha)	Precio planta (€/ud)	Precio de biomasa (€/ts)
<i>Pinus nigra</i> agrícola de secano	10,84	1.670	0,25	87,50
<i>Pinus pinea</i> agrícola de secano	13,01	1.670	0,25	87,50
<i>Pinus halepensis</i> agrícola de secano	14,45	1.670	0,25	87,50
<i>Pinus canariensis</i> agrícola de secano	18,58	1.670	0,25	87,50

Los costes dependientes se presentan predefinidos pero variables en la herramienta informática de forma que se pondrán modificar y adaptar a las condiciones actuales o hipotéticas de mercado en futuros estudios.

#### 3.2.2.6.2 Costes directos independientes

Existen otros costes que sin embargo no dependen de la especie, así pues, los requerimientos de agua varían en función de la especie, aunque el precio de

dicha agua no depende de la especie. Otros precios como precio del abono, herbicida y plaguicida tampoco varían con la especie. Por tanto, para todos ellos, se le ha definido un precio predeterminado constante.

Los costes independientes se presentan predefinidos pero variables en la herramienta informática por lo que se podrán modificar y adaptar a las condiciones actuales o hipotéticas de mercado en otros estudios.

**Tabla 84. Costes directos independientes de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Descripción general	Precio del agua (€/m³)	Agua necesaria (m³/ha/año)	Precio abono (€/kg)	Abono necesario (kg/ha)	Precio planta (€/ud)	Planta necesaria (ud/ha)	Precio herbicida (€/l)	Herbicida necesario (l/ha)	Precio plaguicida (€/l)	Plaguicida necesario (l/ha)
<i>Eucalyptus</i> clonal en agrícola de secano	na	na	0,24	666,75	0,50	2.667	6,00	3	6,00	3
<i>Eucalyptus</i> seminal en agrícola de secano	na	na	0,24	666,75	0,11	2.667	6,00	3	6,00	3
<i>Eucalyptus</i> clonal en agrícola de regadío	0,18	1.600	0,24	666,75	0,50	2.667	na	na	6,00	3
<i>Eucalyptus</i> seminal en agrícola de regadío	0,18	1.600	0,24	666,75	0,11	2.667	na	na	6,00	3
<i>Populus</i> modelo 1 en agrícola y riego a manta	0,18	5.000	0,24	1375	0,10	5.000	6,00	3	6,00	3
<i>Populus</i> modelo 2 en agrícola y riego a manta	0,18	5.000	0,24	375	0,10	5.000	6,00	3	6,00	3

(Continuación)

Descripción general	Precio del agua (€/m³)	Agua necesaria (m³/ha/año)	Precio abono (€/kg)	Abono necesario (kg/ha)	Precio planta (€/ud)	Planta necesaria (ud/ha)	Precio herbicida (€/l)	Herbicida necesario (l/ha)	Precio plaguicida (€/l)	Plaguicida necesario (l/ha)
<i>Populus</i> modelo 1 en agrícola y riego a goteo	0,18	2.500	0,24	1375	0,10	2.500	na	na	6,00	3
<i>Populus</i> modelo 2 en agrícola y riego a goteo	0,18	2.500	0,24	375	0,10	2.500	na	na	6,00	3
<i>Quercus</i> en agrícola	na	na	0,24	500	0,44	2.000	na	na	na	na
<i>Pinus pinaster</i> norte agrícola de secano	na	na	0,24	167	0,25	1.670	na	na	na	na
<i>Pinus pinaster</i> meseta agrícola de secano	na	na	na	na	0,25	1.670	na	na	na	na
<i>Pinus radiata</i> agrícola de secano	na	na	0,24	167	0,25	1.670	na	na	na	na
<i>Pinus sylvestris</i> agrícola de secano	na	na	0,24	167	0,25	1.670	na	na	na	na
<i>Pinus nigra</i> agrícola de secano	na	na	0,24	167	0,25	1.670	na	na	na	na
<i>Pinus pinea</i> agrícola de secano	na	na	0,24	167	0,25	1.670	na	na	na	na
<i>Pinus halepensis</i> agrícola de secano	na	na	0,24	167	0,25	1.670	na	na	na	na
<i>Pinus canariensis</i> agrícola de secano	na	na	0,24	167	0,25	1.670	na	na	na	na

### 3.2.2.6.3 Costes indirectos

Los costes indirectos se derivan de los costes asociados a la maquinaria a emplear en cada una de las labores definidas con anterioridad en los itinerarios selvícolas para el cultivo de cada una de las especies consideradas.

Teniendo en cuenta los sistemas logísticos diseñados para cada especie y los parámetros considerados para el caso de la biomasa procedente de cultivos forestales en terreno agrícola, los costes horarios de la maquinaria fueron calculados mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Coste horario de la maquinaria (€/h)} = [Pa \cdot (1 - \text{Sub} - \text{Re}) / Vu] + [[Pa \cdot (1 - \text{Sub} - \text{Re})] \cdot Ti \cdot \{ (Vu / \text{HAT}) + 1 \} / (2 \cdot Vu)] + Se \cdot [Pa / \text{HAT}] + Cc \cdot Pc + [MR\% \cdot Pa / Vu] + OC + MO + C \text{ fijo explotac}$$

Siendo:

- VU, vida útil (h).
- Pa, precio de adquisición de la máquina.
- Sub, subvenciones. Valor predefinido del 25%.
- Re, precio de reventa (€).
- Ti, tipo de interés. Valor predefinido del 4%.

(Continuación)

- HAT, horas anuales de trabajo (h).
- MO: mano de obra.
- Cc: consumo de combustible (l/h).
- Ce: coste fijo de explotación (€/h).
- MR%, mantenimiento y reparaciones. Valor predefinido del 25%.
- OC, otros combustibles (€/h).
- Cfijo explotac, coste fijo de explotación (incluye coste de transporte de la maquinaria al lugar de trabajo).

La herramienta informática permite la variación del precio de adquisición de la maquinaria, porcentaje de subvenciones, porcentaje de tipo de interés y porcentaje de mantenimiento y reparaciones de la maquinaria, de modo que se pueda establecer un coste horario adecuado para cada circunstancia concreta de trabajo.

Según lo definido, a continuación se presentan los costes horarios de la maquinaria definida para cada uno de los sistemas logísticos considerados:

**Tabla 85. Costes directos dependientes (costes horarios) de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola**

Máquina	Coste horario (€/h)
Bulldozer	60,38
Tractor agrícola con remolque, cuba, apero plantador o remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	41,06
Class Jaguar	168,24
Multitaladora = cosechadora o procesadora ligera equipada con un cabezal multitalador	78,68
Cosechadora estándar	83,44
Autocargador con cabezal cosechador acumulador	79,9
Autocargador	76,25

Máquina	Coste horario (€/h)
Retroexcavadora	51,51
Astilladora cargadero	98,58
Pretritadora central	92,15
Cribadora	57,59
Camión piso móvil	82,41
Camión tráiler	81,92

En el ANEXO III. Parámetros básicos de cálculo se presenta un análisis más detallado de todos los costes expuestos.

### 3.2.2.6.4 Estimación de costes de biomasa disponible y asignación final

Una vez definidos los parámetros anteriores se lleva a cabo el cálculo de la rentabilidad de los cultivos energéticos (ingresos obtenidos – gastos realizados). Este cálculo se realiza mediante una ecuación lineal del tipo  $Ax+B$ , en la que X es el valor del rendimiento del cultivo, entendiendo como rendimiento la posibilidad o producción del cultivo, y los valores A y B dependen del concepto definido en el itinerario selvícola de la especie en cuestión. **El margen neto económico resultante** es el indicador que se utiliza para sustituir unos cultivos por otros en función de la rentabilidad comparativa.

La superficie que va a ser ocupada por nuevas implantaciones de masas (reforestaciones) con fines energéticos que se propongan al agricultor va a desalojar otros usos tradicionales de la tierra.

Estos cambios de uso se considera que se producirán de un modo modelizable en función de variables de rentabilidad, innovación, sencillez y oportunidad. Este hecho permitirá cuantificar la disposición (Kdis) de los productores a cambiar sus cultivos tradicionales por cultivos energéticos determinados.

Por tanto, existen dos criterios de cambio de uso de superficie:

- **Criterio 1 de renta.** Es decir, se producirá cambio de uso si la renta del nuevo uso (producción de biomasa) sea al menos tan interesante para el agricultor como la del uso anterior (cultivos



tradicionales) que abandona. La comparación se hace en base a los márgenes netos de los cultivos nuevos y a sustituir.

- *Criterio 2 de disposición al cambio.* También denominado riesgo en la innovación. El agricultor prefiere manejar lo conocido a arriesgar su dinero con nuevos cultivos o nuevos aprovechamientos no consolidados agrónomico o comercialmente. Es decir, es necesario comparar la sencillez para el propietario del cultivo tradicional frente a la complejidad de la nueva propuesta. El hecho de que sean necesarias inversiones adicionales en maquinaria puede ser además un inconveniente. Otro inconveniente se centra en las oportunidades comerciales que el agricultor encuentra en el nuevo cultivo o aprovechamiento, debido a que debe existir un adecuado desarrollo de demanda cercana.

### 3.2.2.7 Estructura de los resultados

Como objetivo del estudio de la biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola se presenta un informe en el que se contemplan los siguientes resultados:

- Parámetros de cálculo.
- Tablas de disposición de biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola por provincia y comunidad autónoma (t/ha·año).
- Mapa de distribución de biomasa potencial disponible por municipio (t/ha·año).
- Tablas de costes medios de obtención de biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno agrícola por provincia y comunidad autónoma (€/t).
- Mapa de costes de obtención de biomasa por municipio (€/t).

# **4 Estimación del potencial de los distintos tipos de biomasa en España**

Los resultados de biomasa existente, tanto en la actualidad (forestal o agrícola) como obtenible de masas herbáceas y leñosas (forestales), susceptibles de implantación con fines energéticos extraídos de la herramienta informática se presentan en este apartado.

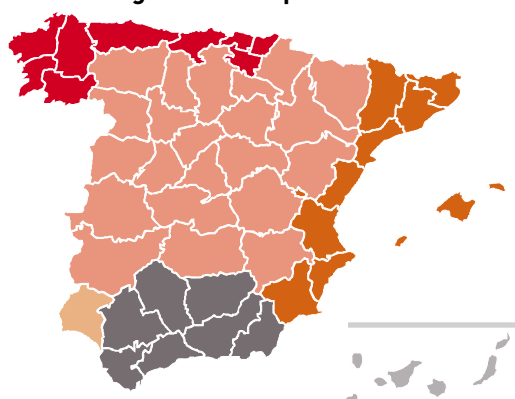
Se ha llevado a cabo la estimación de biomasa y coste medio de biomasa procedente de masas susceptibles de aprovechamiento a partir de las hipótesis de partida que se presentan a continuación.

## 4.1 PARÁMETROS DE CÁLCULO

Se ha realizado una zonificación de España por regiones de características homogéneas en cuanto a los aprovechamientos actuales sobre las masas forestales. Las regiones establecidas son:

- Cornisa Cantábrica: Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco.
- Cataluña y Levante: Cataluña, Valencia, Murcia e Islas Baleares.
- Centro: Aragón, Navarra, La Rioja, Castilla y León, Madrid, Castilla-La Mancha y Extremadura.
- Huelva.
- Resto de Andalucía: Córdoba, Sevilla, Cádiz, Málaga, Granada, Jaén y Almería.
- Canarias.

Regiones de España



- Cornisa Cantábrica
- Centro
- Cataluña, Levante y Baleares
- Huelva
- Resto Andalucía
- Canarias

Los parámetros de cálculo introducidos en la herramienta informática para el desarrollo del presente informe son:

- **Biomasa forestal existente** (aprovechamiento de restos forestales y de árboles completos llevados a cabo en masas forestales existentes):
  - *Tipo de biomasa a aprovechar.* Para cada región y especie se ha definido el tipo de biomasa que se aprovecha en la actualidad (**restos y pies de diámetro inferior a 7 cm, restos y pies de diámetro inferior a 20 cm o árboles completos**). Se ha definido para cada región.
  - *Porcentaje de cortas actuales (%)* que se llevan a cabo sobre las masas con otro fin, principalmente maderero (**CCA –coeficiente de cortas actuales**). En el análisis de cada región se define dicho coeficiente para cada especie aprovechable. Se ha definido para cada región.

**Tabla 86. Biomasa aprovechable y CCA definido en la herramienta para el cálculo**

Especie	Fracción de biomasa	CCA (%)
<b>Centro de la Península</b>		
<i>Pinus halepensis</i>	<20	35
<i>Pinus pinea</i>	<20	30
<i>Pinus nigra</i>	<7	30
<i>Pinus sylvestris</i>	<7	35
<i>Pinus pinaster</i>	<20	40
<i>Castanea sativa</i>	<7	20
<i>Fagus sylvatica</i>	<20	10
<i>Quercus robur</i>	<20	10
<i>Quercus petraea</i>	<20	10
<i>Quercus pyrenaica</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus faginea</i>	Árbol completo	0

(Continuación)

Especie	Fración de biomasa	CCA (%)
<i>Quercus ilex</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus pubescens</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus suber</i>	<20	100
<i>Populus alba</i>	<7	5
<i>Populus nigra</i>	<7	5
<i>Populus tremula</i>	<7	5
<i>Populus x canadensis</i>	<7	60
Resto de Andalucía		
<i>Pinus halepensis</i>	<20	20
<i>Pinus pinea</i>	<20	20
<i>Pinus nigra</i>	<7	25
<i>Pinus sylvestris</i>	<7	15
<i>Pinus pinaster</i>	<20	25
<i>Eucalyptus globulus</i>	<7	60
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Árbol completo	60
<i>Castanea sativa</i>	<7	20
<i>Quercus pyrenaica</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus faginea</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus ilex</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus pubescens</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus suber</i>	<20	100
<i>Populus alba</i>	<7	5

(Continuación)

Especie	Fración de biomasa	CCA (%)
<i>Populus nigra</i>	<7	5
<i>Populus tremula</i>	<7	5
<i>Populus x canadensis</i>	<7	60
Islas Canarias		
<i>Pinus radiata</i>	<7	60
<i>Quercus canariensis</i>	<7	5
<i>Pinus canariensis</i>	<7	5
Cornisa Cantábrica		
<i>Pinus nigra</i>	<20	45
<i>Pinus sylvestris</i>	<7	45
<i>Pinus pinaster</i>	<7	65
<i>Pinus radiata</i>	<7	65
<i>Eucalyptus globulus</i>	<7	70
<i>Castanea sativa</i>	<7	30
<i>Fagus sylvatica</i>	<20	20
<i>Quercus robur</i>	<20	20
<i>Quercus petraea</i>	<20	20
<i>Quercus pyrenaica</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus faginea</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus ilex</i>	Árbol completo	0
Huelva		
<i>Pinus pinea</i>	<7	35
<i>Pinus pinaster</i>	<7	45

(Continuación)

Especie	Fración de biomasa	CCA (%)
<i>Eucalyptus globulus</i>	<7	70
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Árbol completo	65
<i>Castanea sativa</i>	<7	20
<i>Quercus pyrenaica</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus faginea</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus ilex</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus suber</i>	<20	100
<i>Populus alba</i>	<7	5
<i>Populus nigra</i>	<7	5
<i>Populus tremula</i>	<7	5
<i>Populus x canadensis</i>	<7	60
Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia e Islas Baleares		
<i>Pinus halepensis</i>	<20	45
<i>Pinus pinea</i>	<20	35
<i>Pinus nigra</i>	<7	30
<i>Pinus sylvestris</i>	<7	35
<i>Pinus pinaster</i>	<20	45
<i>Quercus robur</i>	<20	20
<i>Quercus petraea</i>	<20	20
<i>Quercus pyrenaica</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus faginea</i>	Árbol completo	0
<i>Quercus ilex</i>	Árbol completo	0

(Continuación)

Especie	Fración de biomasa	CCA (%)
<i>Quercus suber</i>	<20	100
<i>Pinus uncinata</i>	<20	20
<i>Populus alba</i>	<7	10
<i>Populus nigra</i>	<7	10
<i>Populus tremula</i>	<7	10
<i>Populus x canadensis</i>	<7	55

- *Contenido de humedad de la biomasa.* Se ha partido para el cálculo de la hipótesis de que la biomasa tiene un contenido de **humedad en base húmeda del 45%**.
- *Coefficiente de recogida (%).* Se ha considerado una **eficacia en la recogida** de la biomasa por razones ecológicas o mecánicas de un **65%**.
- *Principales sistemas de aprovechamiento, adecuación y transporte.* Se han seleccionado para cada región los tres sistemas logísticos más empleados para el tratamiento de restos, el sistema más usual para el tratamiento de restos exclusivamente procedentes de masas de chopo y el sistema más común para el aprovechamiento de árboles completos en cada región.

Región	Sist log	Apeo		Reunión		Saca		Tratamiento en cargadero			Tratam. Central	Sistema transp.
		Manual	Semi o mecaniz.	Manual	Tractor	Tractor	Autocarg.	Astillado	Empac.	Triturado		
Cornisa Cantábrica	1		x		x		x		x		x	Tráiler
	2		x		x		x				x	Tráiler
	3		x		x		x			x	x	Piso móvil
	Chopo											Tráiler
	AC		x				x				x	Tráiler
Levante	1	x			x		x			x	x	Tráiler
	2		x		x	x					x	Piso móvil
	3		x		x		x		x		x	Piso móvil
	Chopo		x			x		x				Piso móvil
	AC		x			x					x	Tráiler
Centro	1		x		x		x				x	Tráiler
	2		x		x		x			x		Piso móvil
	3	x			x		x			x		Piso móvil
	Chopo		x			x		x				Piso móvil
	AC		x				x				x	Tráiler
Huelva	1		x		x		x				x	Tráiler
	2		x		x		x			x	x	Piso móvil
	3	x			x		x			x	x	Piso móvil
	Chopo		x			x		x				Piso móvil
	AC		x				x				x	Tráiler

(Continuación)

Región	Sist log	Apeo		Reunión		Saca		Tratamiento en cargadero			Tratam. Central	Sistema transp.
		Manual	Semi o mecaniz.	Manual	Tractor	Tractor	Autocarg.	Astillado	Empac.	Triturado		
Resto Andalucía	1		x		x		x				x	Tráiler
	2		x		x		x			x	x	Piso móvil
	3	x			x		x			x	x	Piso móvil
	Chopo		x			x		x				Piso móvil
	AC		x				x				x	Tráiler
Islas Canarias	1	x			x		x				x	Tráiler
	AC	x					x				x	Tráiler

– Coste horario de la maquinaria (€/h). A continuación se presenta el coste horario de la maquinaria empleada así como los valores tomados en los parámetros con posibilidad de ser modificados.

**Tabla 87. Coste horario de maquinaria forestal (masas existentes) definido en la herramienta para el cálculo**

Máquina	Coste horario (€/h)	Adquisición (€)	Mantenimiento y reparaciones (%)	Subvenciones (%)	Tipo interés (%)	Seguros (%)
Motosierra	<b>20,56</b>	1.000	25	25	4	5
Cosechadora	<b>83,44</b>	300.506	25	25	4	5
Multitaladora	<b>78,68</b>	290.000	25	25	4	5
Tractor recogedor	<b>40,41</b>	62.500	25	25	4	5
Tractor agrícola	<b>41,06</b>	68.000	25	25	4	5
Autocargador	<b>76,25</b>	180.000	25	25	4	5
Astilladora en cargadero	<b>137,77</b>	450.759	25	25	4	5
Trituradora en cargadero	<b>92,41</b>	240.000	25	25	4	5
Empacadora	<b>109,17</b>	420.708	25	25	4	5
Astilladora en parque	<b>86,53</b>	200.000	25	25	4	5

(Continuación)

Máquina	Coste horario (€/h)	Adquisición (€)	Mantenimiento y reparaciones (%)	Subvenciones (%)	Tipo interés (%)	Seguros (%)
Trituradora en parque	<b>110,54</b>	250.000	25	25	4	5
Grúa cargadora en parque	<b>57,97</b>	150.000	25	25	4	5
Astilladora móvil	<b>137,77</b>	450.759	25	25	4	5

– *Coste del combustible (€/l)*. Se ha considerado un coste de combustible de **0,9 €/l de gasóleo y 0,86 €/l de gasolina**.

– *Coste de la mano de obra (€/h)*. Se han considerado los costes de mano de obra que se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 88. Coste horario de mano de obra definido en la herramienta para el cálculo**

Mano de obra	Coste horario (€/h)
Peón especializado motosierra	16,17
Peón auxiliar	13,86
Jefe de cuadrilla	15,87
Maquinista	19,55

– *Coste medio de transporte (€/t)*. Se ha considerado un coste medio en función del tipo de camión seleccionado (definido en el sistema logístico), del material a transportar y supuesta una **distancia de transporte de 60 km**. En la siguiente tabla se presentan los costes medios empleados.



**Tabla 89. Costes medios de transporte considerados en el cálculo**

Material	Coste transporte							Coste carga-descarga			Coste final (€/t)
	Máquina	Carga nacional (t húmedas)	Coste horario (€/h)	Distancia media (km)	Velocidad media (km/h)	Coste (€/km)	Coste (€/t)	Tiempo de carga descarga (h)	Coste pala cargadora (€/h)	Coste carga y descarga (€/t)	
Residuos	Camión rígido	6,33	68,16	60,00	52,00	1,14	12,44	0,42	57,97	8,31	<b>20,74</b>
	Tráiler	9,06	81,92	60,00	52,00	1,37	10,43	0,62	57,97	9,52	<b>19,95</b>
	Camión remolque	12,65	71,05	60,00	52,00	1,18	6,48	0,83	57,97	8,50	<b>14,98</b>
	Piso móvil	12,98	82,41	60,00	52,00	1,37	7,33	0,53	57,97	5,77	<b>13,10</b>
Árbol completo	Camión rígido	7,38	68,16	60,00	52,00	1,14	10,66	0,47	57,97	7,98	<b>18,65</b>
	Tráiler	10,54	81,92	60,00	52,00	1,37	8,97	0,70	57,97	9,29	<b>18,26</b>
	Camión remolque	14,75	71,05	60,00	52,00	1,18	5,56	0,83	57,97	7,29	<b>12,85</b>
	Piso móvil	22,90	82,41	60,00	52,00	1,37	4,15	0,56	57,97	3,42	<b>7,58</b>
Astillado	Camión rígido	13,50	68,16	60,00	52,00	1,14	5,83	0,25	57,97	2,34	<b>8,16</b>
	Tráiler	19,21	81,92	60,00	52,00	1,37	4,92	0,33	57,97	2,43	<b>7,35</b>
	Camión remolque	22,00	71,05	60,00	52,00	1,18	3,73	0,42	57,97	2,44	<b>6,17</b>
	Piso móvil	24,50	82,41	60,00	52,00	1,37	3,88	0,42	57,97	2,39	<b>6,27</b>
Empacado	Camión rígido	17,00	68,16	60,00	52,00	1,14	4,63	0,32	57,97	2,35	<b>6,98</b>
	Tráiler	22,00	81,92	60,00	52,00	1,37	4,30	0,38	57,97	2,44	<b>6,73</b>
	Camión remolque	22,00	71,05	60,00	52,00	1,18	3,73	0,42	57,97	2,44	<b>6,17</b>
	Piso móvil	24,50	82,41	60,00	52,00	1,37	3,88	0,45	57,97	2,58	<b>6,46</b>
Triturado	Camión rígido	15,75	68,16	60,00	52,00	1,14	4,99	0,27	57,97	2,14	<b>7,13</b>
	Tráiler	22,00	81,92	60,00	52,00	1,37	4,30	0,33	57,97	2,12	<b>6,42</b>
	Camión remolque	22,00	71,05	60,00	52,00	1,18	3,73	0,42	57,97	2,44	<b>6,17</b>
	Piso móvil	24,50	82,41	60,00	52,00	1,37	3,88	0,42	57,97	2,39	<b>6,27</b>
<b>Promedio</b>						<b>1,26</b>	<b>5,89</b>			<b>Promedio (€/t)</b>	<b>10,32</b>

• **Biomasa procedente de masas susceptibles de implantación en terreno forestal**

- *Selección de especies susceptibles de implantación.* Se han seleccionado **todas las especies** como susceptibles de ser implantadas, con la posibilidad definida por defecto y expuesta en el documento.
- *Contenido de humedad de la biomasa.* Se ha partido para el cálculo de la hipótesis de que la biomasa tiene un contenido de **humedad en base húmeda del 45%**.

- *Precio de la biomasa.* Se ha establecido un precio de la biomasa a la humedad definida (45% de contenido de humedad) de 48 €/t.
- *Principales sistemas de aprovechamiento, adecuación y transporte.* Para el cálculo se ha seleccionado el **astillado en cargadero** como sistema óptimo de trabajo.
- *Coste horario de la maquinaria (€/h).* A continuación se presenta el coste horario de la maquinaria empleada así como los valores tomados en los parámetros con posibilidad de ser modificados.

**Tabla 90. Coste horario de maquinaria forestal (masas susceptibles de implantación) definido en la herramienta para el cálculo**

Máquina	Coste horario (€/h)	Adquisición (€)	Mantenimiento y reparaciones (%)	Subvenciones (%)	Tipo interés (%)	Seguros (%)
Bulldozer (120 o empujador)	<b>60,38</b>	180.000	25	25	4	5
Tractor agrícola (cuba, remolque, plantador o grúa)	<b>41,06</b>	68.000	25	25	4	5
Astilladora cargadero	<b>98,58</b>	200.000	25	25	4	5
Astilladora parque	<b>86,53</b>	200.000	25	25	4	5
Retroexcavadora	<b>51,51</b>	120.000	25	25	4	5
Tractor autocargador con cabezal cosechador acumulador	<b>79,9</b>	216.000	25	25	4	5
Trituradora parque	<b>109,1</b>	240.000	25	25	4	5
Pretritadora parque	<b>92,15</b>	280.000	25	25	4	5
Cribadora parque	<b>57,59</b>	180.000	25	25	4	5
Grúa cargadora parque	<b>57,97</b>	150.000	25	25	4	5
Piso móvil	<b>82,41</b>	127.000	25	25	4	5
Tráiler	<b>81,92</b>	122.720	25	25	4	5
Camión rígido	<b>68,16</b>	106.200	25	25	4	5

- *Coste del combustible (€/l).* Se ha considerado un coste de combustible de **0,9 €/l de gasóleo.**
- *Coste de la mano de obra (€/h).* Se han considerado los costes de mano de obra que se presentan en la siguiente tabla en base a las Tarifas TRAGSA 2007.

(Continuación)

**Tabla 91. Coste horario de mano de obra definido en la herramienta para el cálculo**

Mano de obra	Coste horario (€/h)
Peón especializado motosierra	16,17
Peón auxiliar	13,86
Jefe de cuadrilla	15,87
Maquinista	19,55

– *Coste medio de transporte (€/t)*. Dado que el material se encuentra astillado el coste medio de transporte considerado es **6,27 €/t** (ver tabla costes medios de transporte considerados en el cálculo).

• **Biomasa agrícola existente y a implantar en terreno agrícola**

– *Cultivos sustituibles*

**Tabla 92 Cultivos agrícolas tradicionales sustituibles**

Cultivos sustituibles
Maíz
Cebada
Avena
Barbecho tradicional
Barbecho medioambiental
Barbecho medioambiental complementario
Abandono 20 años
Retirada obligatoria fija
Retirada obligatoria no fija
Retirada voluntaria
Girasol

**Cultivos sustituibles**

Colza

Guisantes

– *Cultivos con aprovechamiento de restos*. Se ha seleccionado como cultivos susceptibles de aprovechamientos de restos los que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 93. Cultivos agrícolas tradicionales susceptibles de aprovechamiento de restos**

Cultivo
Trigo blando
Trigo duro
Maíz
Cebada
Centeno
Avena
Triticale
Colza
OV olivar sigpac
VI viñedo sigpac
CI cítricos sigpac
FY frutales sigpac
FS frutos cáscara sigpac

– *Masas con aprovechamiento con fines energéticos*. Se han seleccionado como cultivos susceptibles de destinar toda su producción a fines energéticos los que se presentan en la siguiente tabla.

(Continuación)

**Tabla 94. Masas herbáceas y leñosas susceptibles de aprovechamiento con fin energético**

Cultivo
Cereales de otoño biomasa v. seca
Cultivos de verano biomasa v. seca (sorgo)
Avena biomasa v. seca
<i>Pinus sylvestris</i> astillado en cargadero
<i>Pinus pinea</i> astillado en cargadero
<i>Pinus halepensis</i> astillado en cargadero
<i>Pinus nigra</i> astillado en cargadero
<i>Pinus pinaster</i> Cornisa Cantábrica astillado en cargadero
<i>Pinus pinaster</i> Meseta astillado en cargadero
<i>Pinus radiata</i> astillado en cargadero
<i>Pinus canariensis</i> astillado en cargadero
<i>Quercus</i> astillado en cargadero
Chopo modelo 1 manta

Cultivo
Chopo modelo 1 goteo
Chopo modelo 2 manta astillado en cargadero
Chopo modelo 2 goteo astillado en cargadero
<i>Eucalyptus</i> clonal secano
Eucalipto seminal secano
Eucalipto clonal regadio
Eucalipto seminal regadio
Asociación gramíneas-leguminosas biomasa v. seca
Brasicas anuales de otoño v. seca
Cult her otoño plurian biomasa v. seca
Cult herb verano plurian biomasa v. seca

– Contenido de humedad de la biomasa. Se ha partido para el cálculo de la hipótesis de que la biomasa tiene un contenido de **humedad en base húmeda del 45%**.

– Coste horario de la maquinaria (€/h).

**Tabla 95. Coste horario de maquinaria agrícola definido en la herramienta para el cálculo**

Máquina	Coste horario (€/h)	Adquisición (€)	Mantenimiento y reparaciones (%)	Subvenciones (%)	Tipo interés (%)	Seguros (%)
Cosechadora	<b>83,44</b>	300.506	25	25	4	5
Tractor agrícola con remolque, cuba, apero plantador o con remolque dotado de una grúa tipo pulpo para la saca	<b>41,06</b>	68.000	25	25	4	5
Astilladora cargadero	<b>98,58</b>	200.000	25	25	4	5
Astilladora parque	<b>86,53</b>	200.000	25	25	4	5

(Continuación)

Máquina	Coste horario (€/h)	Adquisición (€)	Mantenimiento y reparaciones (%)	Subvenciones (%)	Tipo interés (%)	Seguros (%)
Retroexcavadora	<b>51,51</b>	120.000	25	25	4	5
Trituradora parque	<b>109,1</b>	240.000	25	25	4	5
Bulldozer	<b>60,38</b>	180.000	25	25	4	5
Autocargador con cabezal cosechador/ multitalador	<b>79,9</b>	216.000	25	25	4	5
Pretritadora parque	<b>92,15</b>	280.000	25	25	4	5
Class Jaguar	<b>168,24</b>	375.200	25	25	4	5
Cribadora parque	<b>57,59</b>	180.000	25	25	4	5
Recolección biomasa húmeda (Class Jaguar agrícola)	<b>211,91</b>	350.000	25	25	4	5
Recolección biomasa seca (tractor agrícola de gran potencia)	<b>65,52</b>	81.500	25	25	4	5
Camión remolque	<b>64,36</b>	121.020	25	25	4	5
Motosierra	<b>25,03</b>	1.000	25	25	4	5

- Coste del combustible (€/l). Se ha considerado un coste de combustible de **0,9 €/l de gasóleo y 0,86 de gasolina.**
- Coste de la mano de obra (€/h).

**Tabla 96. Coste horario de mano de obra agrícola definido en la herramienta para el cálculo**

Mano de obra	Coste horario (€/h)
Peón especializado motosierra	20
Peón auxiliar	15
Jefe de cuadrilla	20
Maquinista	10

– Costes directos dependientes

**Tabla 97. Costes directos dependientes definidos en el cálculo**

Cultivo	Concepto	Precio	Cultivo	Concepto	Precio
Trigo blando	Semilla/planta	0,3	Chopo modelo 1 manta	Producción	87,5
Trigo blando	Producción	187	Chopo modelo 1 manta	Subvención	37,87
Maíz	Semilla/planta	1,56	Chopo modelo 1 goteo	Semilla/planta	0,1
Maíz	Producción	170	Chopo modelo 1 goteo	Producción	87,5
Maíz	Subvención	1	Chopo modelo 1 goteo	Subvención	37,87
Cebada	Semilla/planta	0,28	Chopo modelo 2 manta	Semilla/planta	0,1
Cebada	Producción	150	Chopo modelo 2 manta	Producción	87,5
Cebada	Subvención	1	Chopo modelo 2 manta	Subvención	21,71
Cereales de otoño biomasa v. seca	Subvención	1	Chopo modelo 2 goteo	Semilla/planta	0,1
Cereales de otoño biogás	Subvención	1	Chopo modelo 2 goteo	Producción	87,5
Cultivos de verano biomasa v. seca (sorgo)	Semilla/planta	0,25	Chopo modelo 2 goteo	Subvención	21,71
Cultivos de verano biomasa v. seca (sorgo)	Producción	80	<i>Eucalipto</i> clonal secano	Semilla/planta	0,5
Cultivos de verano biomasa v. seca (sorgo)	Subvención	1	<i>Eucalipto</i> clonal secano	Producción	87,5
Cultivos de verano biogás	Semilla/planta	0,25	<i>Eucalipto</i> clonal secano	Subvención	50,17
Cultivos de verano biogás	Producción	17	<i>Eucalipto</i> seminal secano	Semilla/planta	0,11
Cultivos de verano biogás	Subvención	1	<i>Eucalipto</i> seminal secano	Producción	87,5
Avena	Semilla/planta	0,25	<i>Eucalipto</i> seminal secano	Subvención	26,53
Avena	Producción	146	<i>Eucalipto</i> clonal regadio	Semilla/planta	0,5
Avena	Subvención	1	<i>Eucalipto</i> clonal regadio	Producción	87,5
Avena biomasa v. seca	Semilla/planta	0,25	<i>Eucalipto</i> clonal regadio	Subvención	64,93

(Continuación)

Cultivo	Concepto	Precio	Cultivo	Concepto	Precio
Avena biomasa v. seca	Producción	80	Eucalipto seminal regadio	Semilla/planta	0,11
Avena biomasa v. seca	Subvención	1	Eucalipto seminal regadio	Producción	87,5
<i>Pinus sylvestris</i>	Semilla/planta	0,25	Eucalipto seminal regadio	Subvención	34,33
<i>Pinus sylvestris</i>	Producción	87,5	Asociación gramíneas-leguminosas biomasa v. seca	Subvención	1
<i>Pinus sylvestris</i>	Subvención	11,83	Asociación gramíneas-leguminosas biogás	Subvención	1
<i>Pinus pinea</i>	Semilla/planta	0,25	Barbecho tradicional	Subvención	1
<i>Pinus pinea</i>	Producción	87,5	Barbecho medioambiental	Subvención	1
<i>Pinus pinea</i>	Subvención	13,01	Barbecho medioambiental complementario	Subvención	1
<i>Pinus halepensis</i>	Semilla/planta	0,25	Abandono 20 años	Subvención	1
<i>Pinus halepensis</i>	Producción	87,5	Retirada obligatoria fija	Subvención	1
<i>Pinus halepensis</i>	Subvención	14,45	Brasicas anuales de otoño v. seca	Semilla/planta	5
<i>Pinus nigra</i>	Semilla/planta	0,25	Brasicas anuales de otoño v. seca	Producción	80
<i>Pinus nigra</i>	Producción	87,5	Brasicas anuales de otoño v. seca	Subvención	1
<i>Pinus nigra</i>	Subvención	10,84	Brasicas anuales de otoño biogás	Semilla/planta	5
<i>Pinus pinaster_cornisa cantabrica</i>	Semilla/planta	0,25	Brasicas anuales de otoño biogás	Producción	17
<i>Pinus pinaster_cornisa cantabrica</i>	Producción	87,5	Brasicas anuales de otoño biogás	Subvención	1
<i>Pinus pinaster_cornisa cantabrica</i>	Subvención	32,52	Retirada voluntaria	Subvención	1
<i>Pinus pinaster_Meseta</i>	Semilla/planta	0,25	Girasol	Semilla/planta	15
<i>Pinus pinaster_Meseta</i>	Producción	87,5	Girasol	Producción	324

(Continuación)

Cultivo	Concepto	Precio	Cultivo	Concepto	Precio
<i>Pinus pinaster_Meseta</i>	Subvención	16,26	Girasol	Subvención	1
<i>Pinus radiata</i>	Semilla/planta	0,25	Colza	Semilla/planta	10
<i>Pinus radiata</i>	Producción	87,5	Colza	Producción	220
<i>Pinus radiata</i>	Subvención	40,65	Colza	Subvención	1
<i>Pinus canariensis</i>	Semilla/planta	0,25	Guisantes	Semilla/planta	0,35
<i>Pinus canariensis</i>	Producción	87,5	Guisantes	Producción	189
<i>Pinus canariensis</i>	Subvención	18,58	Guisantes	Subvención	1
<i>Quercus</i>	Semilla/planta	0,44	Cult her otoño plurian biomasa v. seca	Subvención	1
<i>Quercus</i>	Producción	87,5	Cult her otoño plurian biogás	Subvención	1
<i>Quercus</i>	Subvención	4,97	Cult herb verano plurian biomasa v. seca	Subvención	1
Chopo modelo 1 manta	Semilla/planta	0,1	Cult herb verano plurian biogás	Subvención	1

– Costes directos independientes

Tabla 98. Costes directos independientes definidos en el cálculo

(Continuación)

Concepto	Precio	Concepto	Precio
Agua m <sup>3</sup>	0,03	Herbicida forestal	6
Canon agua	60	Insecticida forestal	6
Fungicida	10	Abono forestal	0,235
Herbicida 1	30	Biomasa residuo	72
Herbicida 2	20	Acarreo	45,89
Herbicida 3	10	Picado	69,47
Insecticida	10	Corta	38,51
UF K <sub>2</sub> O	0,5	Reunido	18
UF N	0,8	Biomasa arranque	72
UF P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,6		



– Coste medio de transporte (€/t)

**Tabla 99. Costes medios de transporte considerados en el cálculo**

Tipo biomasa	Máquina	Carga nacional (t húmedas)	Coste horario (€/h)	Distanc. media (km)	Velocid. media (km/h)	Coste (€/km)	Coste (€/t)	Tiempo carga descarga (h)	Coste pala cargadora (€/h)	Coste carga y descarga (€/t)	Coste final €/t
Cultivos leñosos	Piso móvil	24,50	82,41	60	52	1,37	3,88	0,42	57,97	2,39	6,27
Cultivos herbáceos	Tráiler	22,19	81,92	60	52	1,37	4,26	0,39	57,97	2,44	6,70
Restos	Tráiler	20,70	81,92	60	52	1,37	4,57	0,36	57,97	2,43	7,00

Siendo el coste medio empleado **6,66 €/t**.

## 4.2 RESUMEN DE RESULTADOS

La siguiente tabla presenta el potencial de biomasa disponible de España así como los costes medios de obtención asociados (no incluye gastos generales, beneficio industrial e IVA).

**Tabla 100. Tabla resumen de resultados. Biomasa potencial disponible (t/año) y costes medios de obtención (€/t)**

Biomasa potencial disponible (t/año) y coste medio de obtención				
Procedencia		Biomasa (t/año)	Biomasa (tep/año)	Coste medio (€/t)
Masas forestales existentes	Restos de aprovechamientos madereros	2.984.243	636.273	26,59
	Aprovechamiento del árbol completo	15.731.116	3.414.158	43,16
Restos agrícolas	Herbáceos	14.434.566	6.392.631	20,97
	Leñosos	16.118.220		
Masas herbáceas susceptibles de implantación en terreno agrícola		17.737.868	3.593.148	53,39
Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno agrícola		6.598.861	1.468.173	36,26
Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno forestal		15.072.320	1.782.467	42,14
<b>Total biomasa potencial en España</b>		<b>88.677.193</b>	<b>17.286.851</b>	

**Tabla 101. Tabla resumen de resultados por comunidad autónoma. Biomasa potencial disponible (t/año)**

Biomasa potencial disponible según procedencia (t/año)										
Comunidad Autónoma	Masas forestales existentes			Masas leñosas susceptibles de implantac. en terreno forestal	Restos agrícolas			Masas herbáceas susceptibles de implantac. en terreno agrícola	Masas leñosas susceptibles de implantac. en terreno agrícola	Total (t/año)
	Restos de aprovech. madereros	Árbol completo	Total masas existentes		Herbáceos	Leñosos	Total			
Andalucía	209.375	1.649.219	1.858.594	1.231.669	2.518.996	4.957.623	7.476.619	2.961.107	1.127.133	14.655.121
Aragón	56.161	740.121	796.282	85.865	1.257.356	1.419.104	2.676.460	1.881.502	814.641	6.254.749
Asturias	280.944	829.081	1.110.025	1.384.360	0	378.173	378.173	0	0	2.872.558
Cantabria	181.728	505.452	687.180	472.133	41.213	6.518	47.731	4.891	6.194	1.218.129
Castilla-La Mancha	74.165	1.313.048	1.387.213	203.519	2.060.321	1.073.376	3.133.697	3.831.473	1.233.273	9.789.177
Castilla y León	123.428	2.300.723	2.424.151	1.496.793	4.167.623	230.759	4.398.382	5.614.995	1.327.990	15.262.310
Cataluña	171.078	1.220.223	1.391.301	143.838	1.045.020	2.210.580	3.255.599	758.939	532.713	6.082.389
Comunidad Valenciana	38.809	234.648	273.457	104.654	52.487	2.223.407	2.275.894	77.440	71.104	2.802.549
Extremadura	91.283	1.451.860	1.543.143	1.433.327	898.837	982.766	1.881.602	1.075.765	880.174	6.814.012
Galicia	1.307.072	3.427.870	4.734.942	7.931.615	992.906	550.870	1.543.777	8.169	149.132	14.367.634
Islas Baleares	9.126	51.551	60.677	8.025	113.942	405.250	519.191	294.303	47.555	929.751
Islas Canarias	1.182	24.498	25.680	8.863	310	179.767	180.076	485	397	215.500
La Rioja	7.516	112.853	120.369	17.315	229.865	217.358	447.223	146.657	48.874	780.438
Madrid	7.205	167.611	174.816	81.644	137.583	62.472	200.055	233.813	91.735	782.064
Murcia	14.137	63.819	77.955	4.407	56.376	1.028.553	1.084.929	142.168	52.882	1.362.342
Navarra	41.565	804.471	846.036	189.129	641.182	126.822	768.005	570.252	186.539	2.559.961
País Vasco	369.469	834.068	1.203.537	275.165	220.548	64.823	285.372	135.909	28.524	1.928.508
<b>Total</b>	<b>2.984.243</b>	<b>15.731.116</b>	<b>18.715.358</b>	<b>15.072.320</b>	<b>14.434.566</b>	<b>16.118.220</b>	<b>30.552.785</b>	<b>17.737.868</b>	<b>6.598.861</b>	<b>88.677.193</b>

Nota: contenido de humedad 45%

**Tabla 102. Tabla resumen de resultados por comunidad autónoma. Biomasa potencial disponible (tep/año)**

Biomasa potencial disponible según procedencia (tep/año)								
Comunidad Autónoma	Masas forestales existentes			Masas leñosas susceptibles de implantac. en terreno forestal	Restos agrícolas	Masas herbác. susceptibles de implantac. en terreno agrícola	Masas leñosas susceptibles de implantac. en terreno agrícola	Total (tep/año)
	Restos de aprovech. madereros	Árbol completo	Total masas existentes					
Andalucía	45.985	347.799	393.784	142.770	1.574.623	604.133	247.823	2.963.134
Aragón	12.784	167.430	180.214	10.409	560.202	376.532	180.848	1.308.205
Asturias	57.596	179.704	237.300	171.164	80.896	0	0	489.360
Cantabria	37.026	104.661	141.687	56.926	9.803	998	1.377	210.791
Castilla-La Mancha	16.765	284.746	301.510	24.636	649.475	779.895	276.942	2.032.458
Castilla y León	27.383	498.963	526.346	182.508	899.568	1.133.035	300.575	3.042.032
Cataluña	38.232	279.538	317.771	17.583	686.162	152.631	117.181	1.291.327
Comunidad Valenciana	8.718	52.097	60.814	12.667	486.394	15.800	15.823	591.498
Extremadura	20.093	294.269	314.362	172.143	393.515	219.480	193.935	1.293.436
Galicia	271.963	760.068	1.032.031	920.252	320.363	1.666	33.069	2.307.381
Islas Baleares	2.048	11.310	13.358	967	110.002	60.044	10.219	194.591
Islas Canarias	296	5.780	6.076	2.019	38.508	99	92	46.793
La Rioja	1.640	24.503	26.143	2.087	93.333	29.516	10.805	161.884
Madrid	1.627	35.798	37.425	9.975	41.418	47.179	20.463	156.461
Murcia	3.176	14.443	17.619	531	231.623	29.006	11.576	290.355
Navarra	9.051	172.223	181.274	22.799	157.911	115.411	41.059	518.455
País Vasco	81.891	180.828	262.719	33.029	58.835	27.722	6.386	388.690
<b>Total</b>	<b>636.273</b>	<b>3.414.158</b>	<b>4.050.432</b>	<b>1.782.467</b>	<b>6.392.631</b>	<b>3.593.148</b>	<b>1.468.173</b>	<b>17.286.851</b>

Tabla 103. Tabla resumen de resultados por comunidad autónoma. Costes medios de obtención biomasa (€/t)

Coste medio de obtención según la procedencia de la biomasa (€/t)						
Comunidad Autónoma	Masas forestales existentes		Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno forestal	Restos agrícolas	Masas herbáceas susceptibles de implantación en terreno agrícola	Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno agrícola
	Restos de aprovecham. madereros	Árbol completo				
Andalucía	24,01	43,59	43,22	19,92	55,16	41,59
Aragón	25,33	42,83	44,38	22,08	53,77	42,05
Asturias	30,73	43,09	34,66	22,90	0,00	0,00
Cantabria	27,63	41,60	38,86	17,83	47,37	40,26
Castilla-La Mancha	24,81	44,38	45,53	20,94	55,88	32,31
Castilla y León	27,11	44,53	42,99	21,27	53,33	31,22
Cataluña	25,50	40,55	40,35	19,76	48,35	40,71
Comunidad Valenciana	23,74	39,50	44,49	24,92	54,78	42,09
Extremadura	21,52	45,31	44,96	20,07	61,48	32,65
Galicia	30,75	43,99	35,97	17,58	48,10	37,37
Islas Baleares	24,34	37,84	47,27	23,31	60,25	38,27
Islas Canarias	45,79	50,25	32,51	23,30	57,01	35,00
La Rioja	27,06	44,11	44,31	19,73	48,35	40,28
Madrid	25,09	43,85	41,89	21,19	54,29	35,62
Murcia	24,52	38,48	47,23	25,54	62,83	74,47
Navarra	26,21	40,85	40,25	18,99	48,91	35,57
País Vasco	31,01	41,40	38,52	21,05	46,05	38,88
<b>Coste medio</b>	<b>26,59</b>	<b>43,16</b>	<b>42,14</b>	<b>20,97</b>	<b>53,39</b>	<b>36,26</b>

(Continuación)

## 4.3 BIOMASA FORESTAL EXISTENTE

Los datos presentados contemplan la situación actual del aprovechamiento de las masas actuales.

La biomasa forestal existente disponible, suma de restos y árbol completo, asciende a **18.715.358 t/año** con la distribución por comunidades autónomas que se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 104. Distribución por comunidades autónomas de la biomasa potencial disponible total (restos y árbol completo) procedente de masas forestales existentes**

Comunidad Autónoma	Total biomasa potencial disponible (t/año)
Galicia	4.734.942
Castilla y León	2.424.151
Andalucía	1.858.594
Extremadura	1.543.143
Cataluña	1.391.301
Castilla-La Mancha	1.387.213
País Vasco	1.203.537
Asturias	1.110.025
Navarra	846.036
Aragón	796.282
Cantabria	687.180
Valencia	273.457
Madrid	174.816
La Rioja	120.369

Comunidad Autónoma	Total biomasa potencial disponible (t/año)
Murcia	77.955
Islas Baleares	60.677
Islas Canarias	25.680
<b>Total</b>	<b>18.715.358</b>

A continuación se presenta por comunidad autónoma la biomasa tanto de restos procedentes de aprovechamientos madereros como la biomasa procedente del aprovechamiento de árbol completo con fin energético.

**Tabla 105. Distribución por comunidades autónomas de la biomasa potencial aprovechable de restos procedente de masas forestales existentes**

Comunidad Autónoma	Restos de aprovechamientos madereros		
	Bpt (t/año)	Bpa (t/año)	Bpd (t/año)
Galicia	3.490.341	2.231.676	1.307.072
País Vasco	1.180.411	691.920	369.469
Asturias	1.082.730	498.546	280.944
Andalucía	909.994	483.100	209.375
Cantabria	617.001	327.070	181.728
Cataluña	896.586	458.045	171.078
Castilla y León	828.213	409.157	123.428
Extremadura	216.508	127.641	91.283
Castilla-La Mancha	495.893	275.459	74.165
Aragón	532.722	215.209	56.161
Navarra	714.606	289.061	41.565
Valencia	210.547	112.258	38.809
Murcia	77.368	40.869	14.137
Islas Baleares	48.838	26.085	9.126
La Rioja	82.946	30.396	7.516
Madrid	66.502	28.397	7.205
Islas Canarias	74.973	7.385	1.182
<b>Total</b>	<b>11.526.177</b>	<b>6.252.274</b>	<b>2.984.243</b>

En cuanto a la biomasa procedente del aprovechamiento de árboles completos se presenta el siguiente resumen:

**Tabla 106. Distribución por comunidades autónomas de la biomasa potencial disponible de aprovechamiento con fin energético de árbol completo de masas forestales existentes**

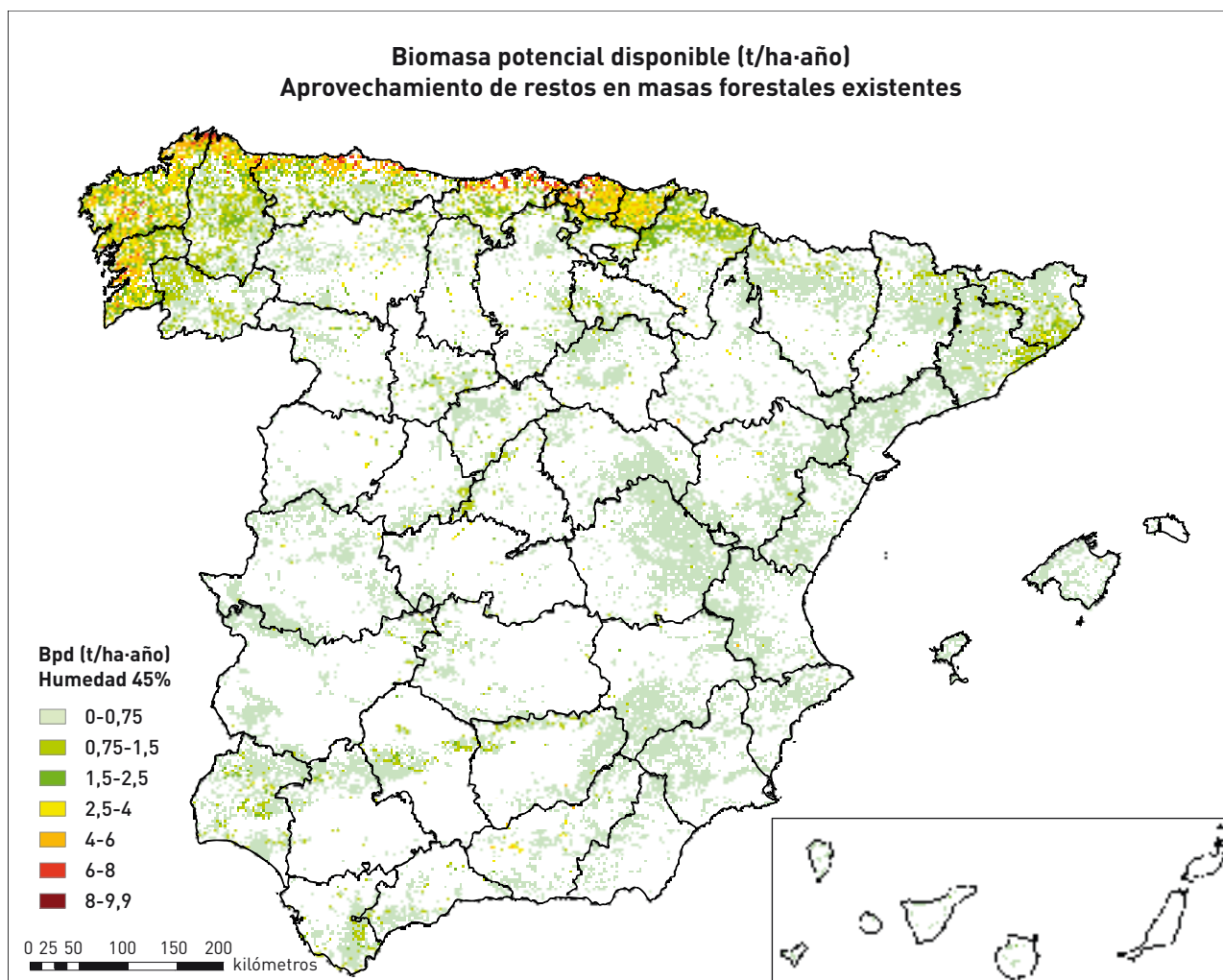
Comunidad Autónoma	Árbol completo
	Biomasa potencial disponible (t/año)
Galicia	3.427.870
Castilla y León	2.300.723
Andalucía	1.649.219
Extremadura	1.451.860
Castilla-La Mancha	1.313.048
Cataluña	1.220.223
País Vasco	834.068
Asturias	829.081
Navarra	804.471
Aragón	740.121
Cantabria	505.452
Valencia	234.648
Madrid	167.611
La Rioja	112.853
Murcia	63.819
Islas Baleares	51.551
Islas Canarias	24.498
<b>Total</b>	<b>15.731.116</b>

A continuación se presenta un resumen por CCAA de los costes (€/t). En cuanto al coste de obtención de restos de otros tratamientos se ha seleccionado el coste más barato.

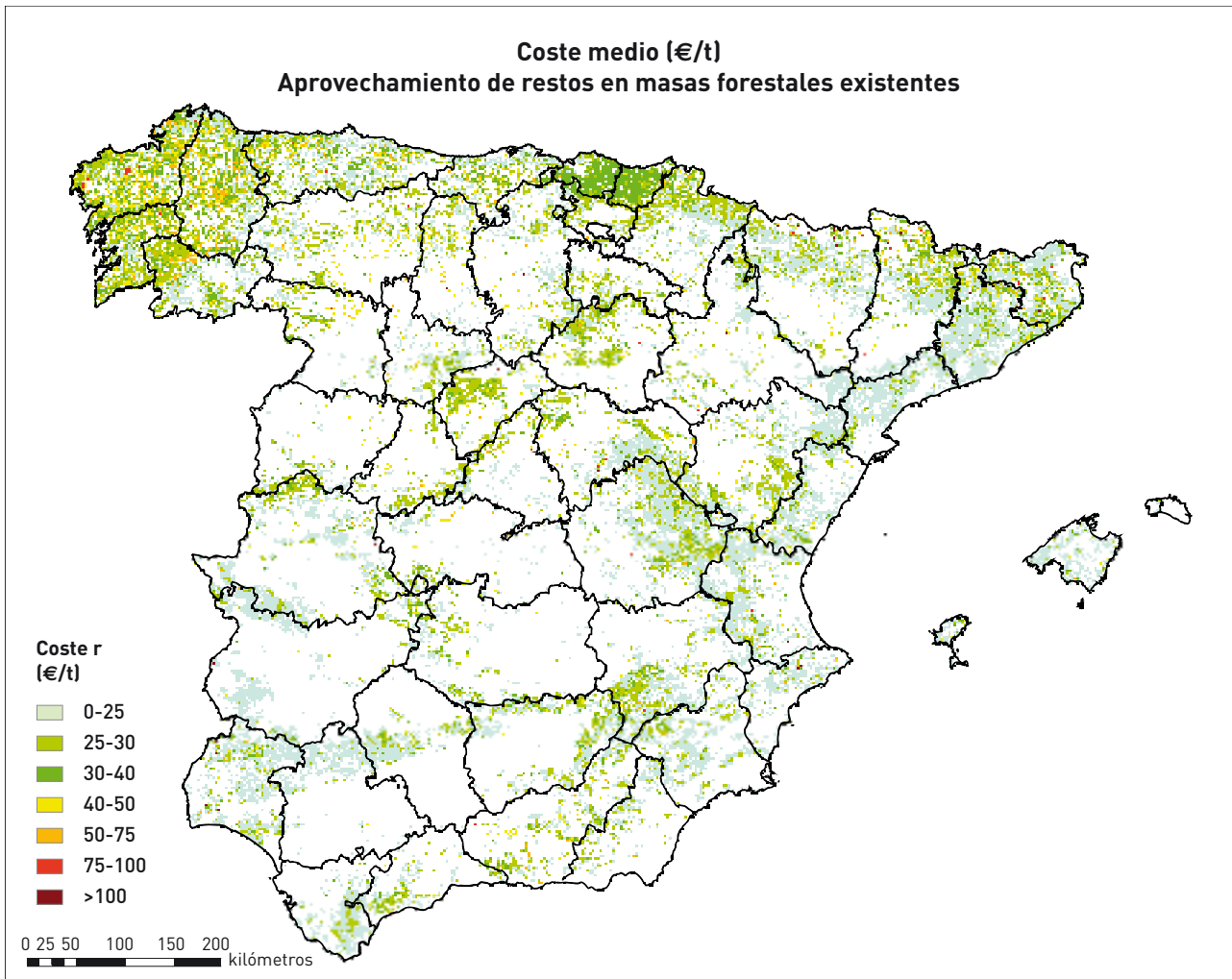
**Tabla 107. Distribución por comunidades autónomas de los costes de obtención de biomasa potencial disponible procedente de restos y aprovechamiento del árbol completo de masas forestales existentes**

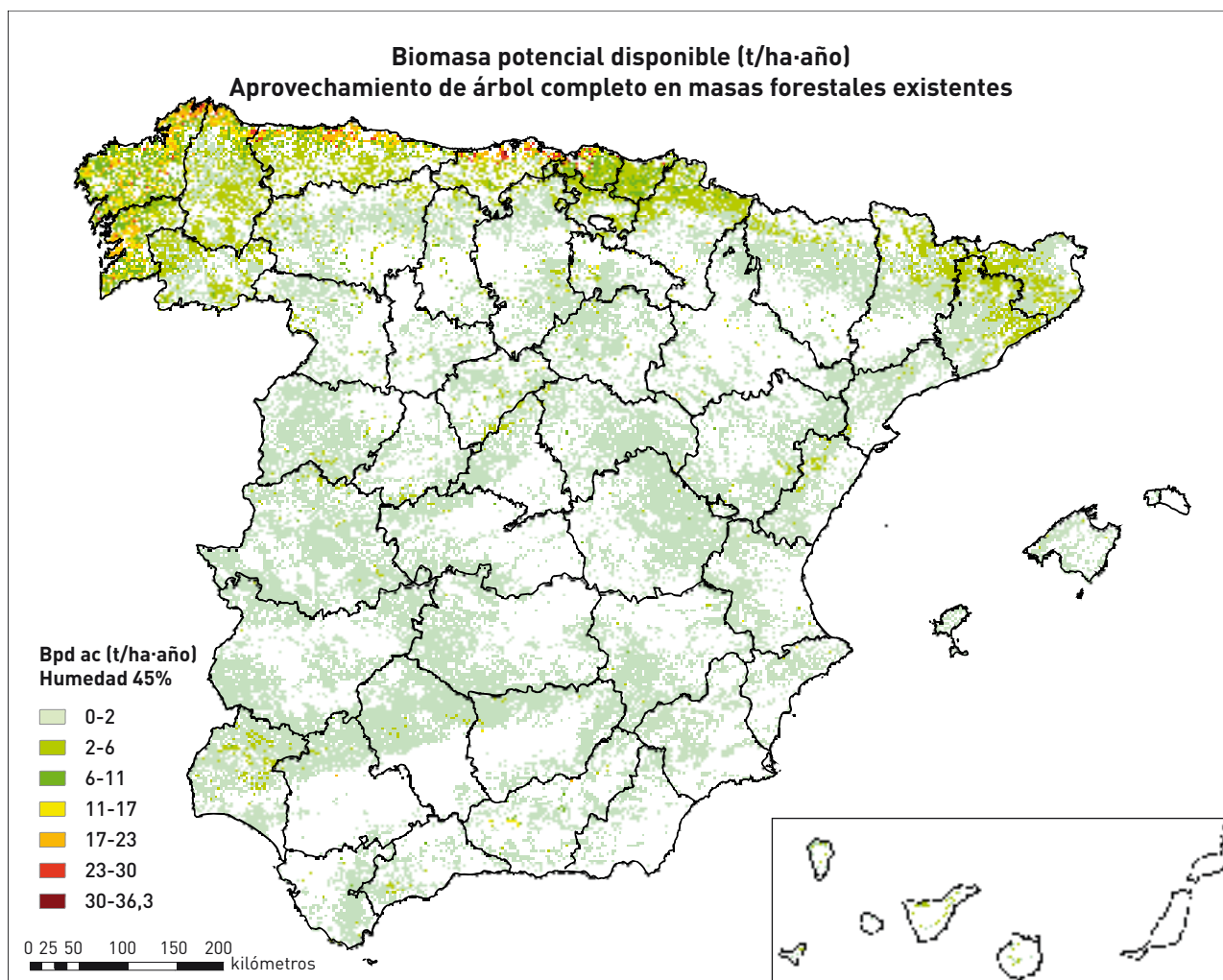
Comunidad Autónoma	Coste aprovecham. restos madereros (€/t)	Coste aprovecham. árbol completo (€/t)
Andalucía	24,01	43,59
Aragón	25,33	42,83
Asturias	30,73	43,09
Cantabria	27,63	41,60
Castilla - La Mancha	24,81	44,38
Castilla y León	27,11	44,53
Cataluña	25,50	40,55
Extremadura	21,52	45,31
Galicia	30,75	43,99
Islas Baleares	24,34	37,84
Islas Canarias	45,79	50,25
La Rioja	27,06	44,11
Madrid	27,06	44,11
Murcia	24,52	38,48
Navarra	26,21	40,85
País Vasco	31,01	41,40
Valencia	23,74	39,50
<b>Coste medio</b>	<b>26,59</b>	<b>43,16</b>

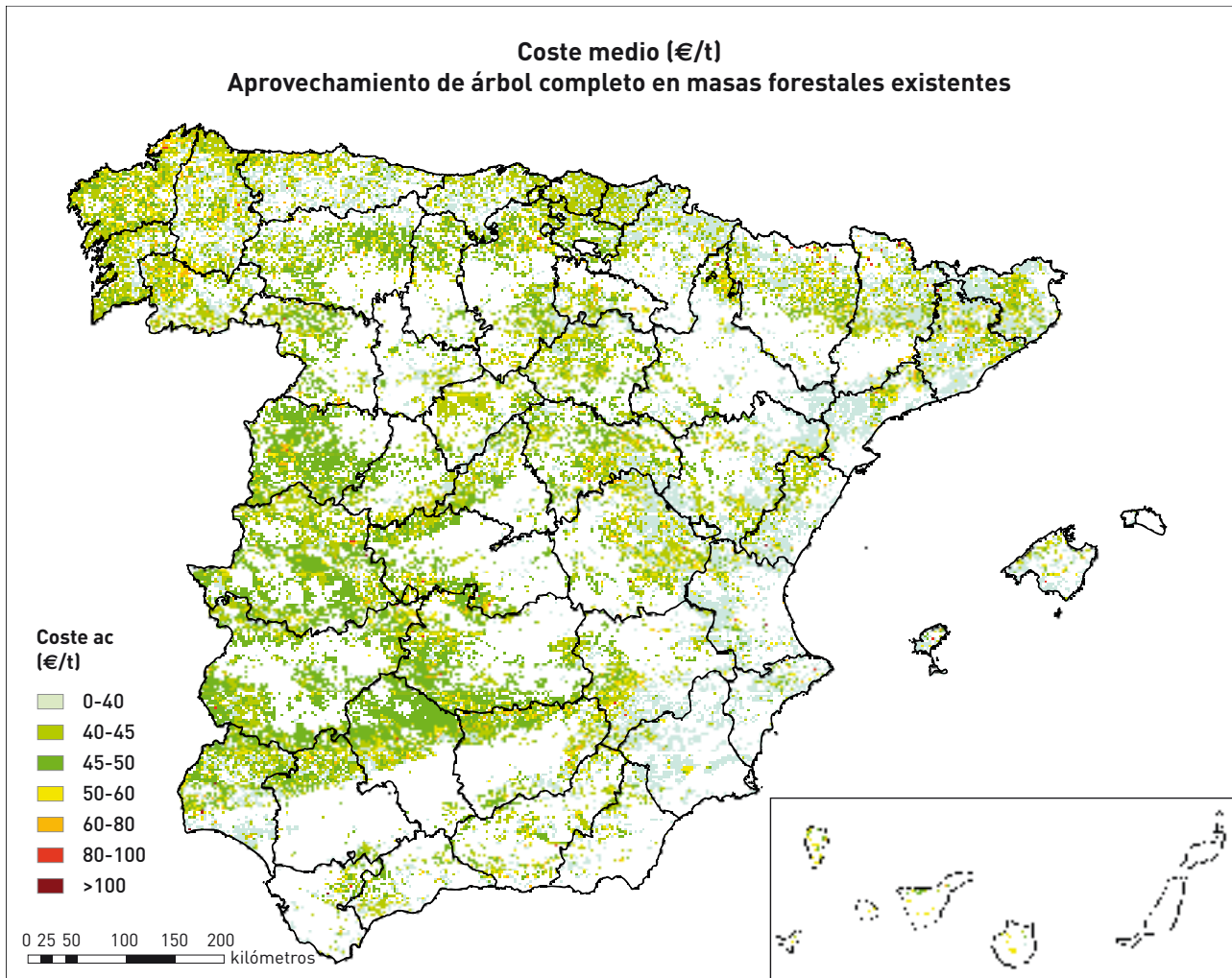
A continuación se presentan los mapas de distribución de biomasa y costes.











## 4.4 BIOMASA PROCEDENTE DE MASAS A IMPLANTAR EN TERRENO FORESTAL

Se ha llevado a cabo la estimación de biomasa y coste medio de biomasa procedente de masas susceptibles de aprovechamiento a partir de las hipótesis de partida definidas en el apartado de parámetros de cálculo.

Respecto a la biomasa potencial disponible obtenida a partir de dicha superficie es de 15.068.332 t.

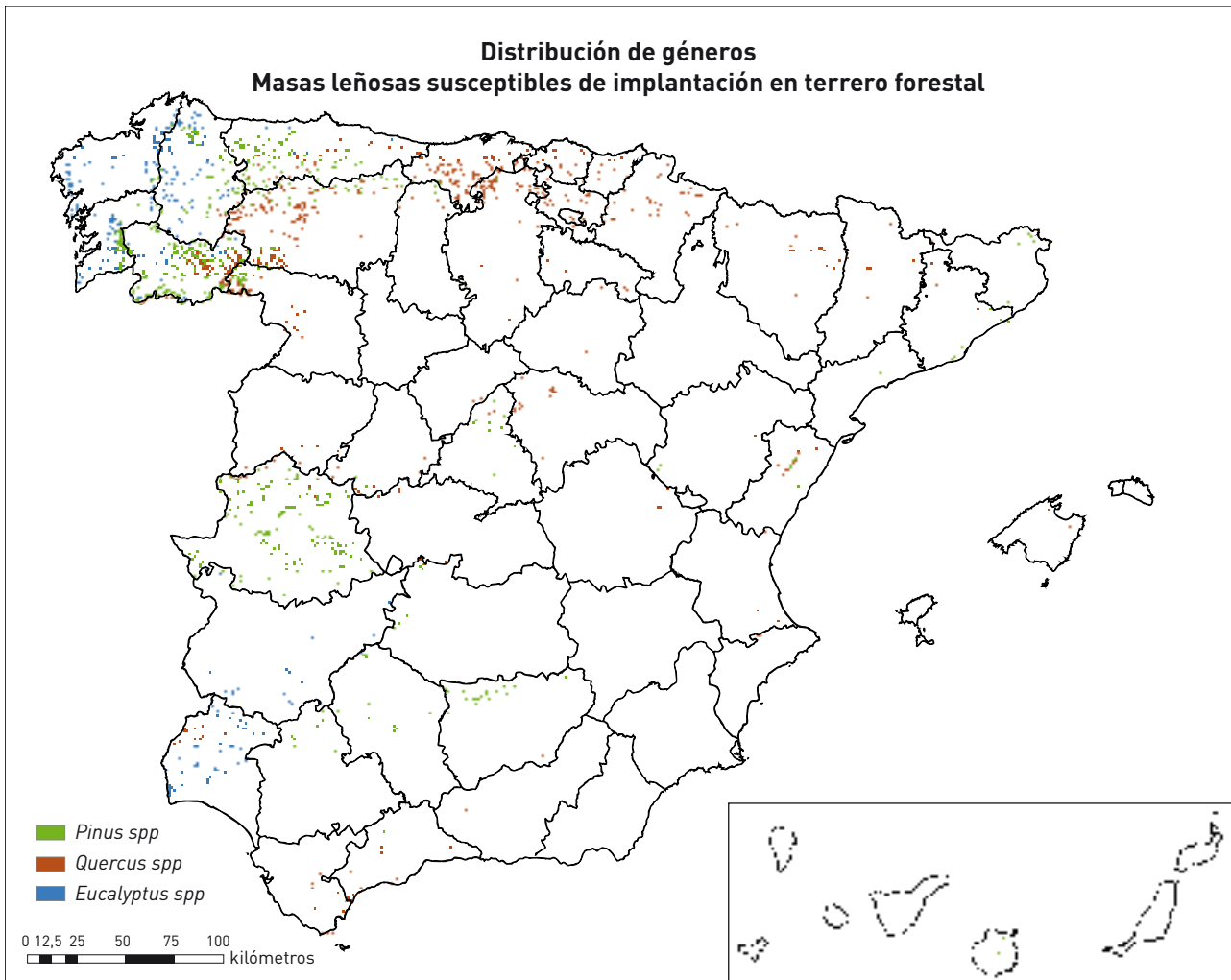
En las tablas que se presentan a continuación se exponen los datos de biomasa disponible y costes por comunidad autónoma.

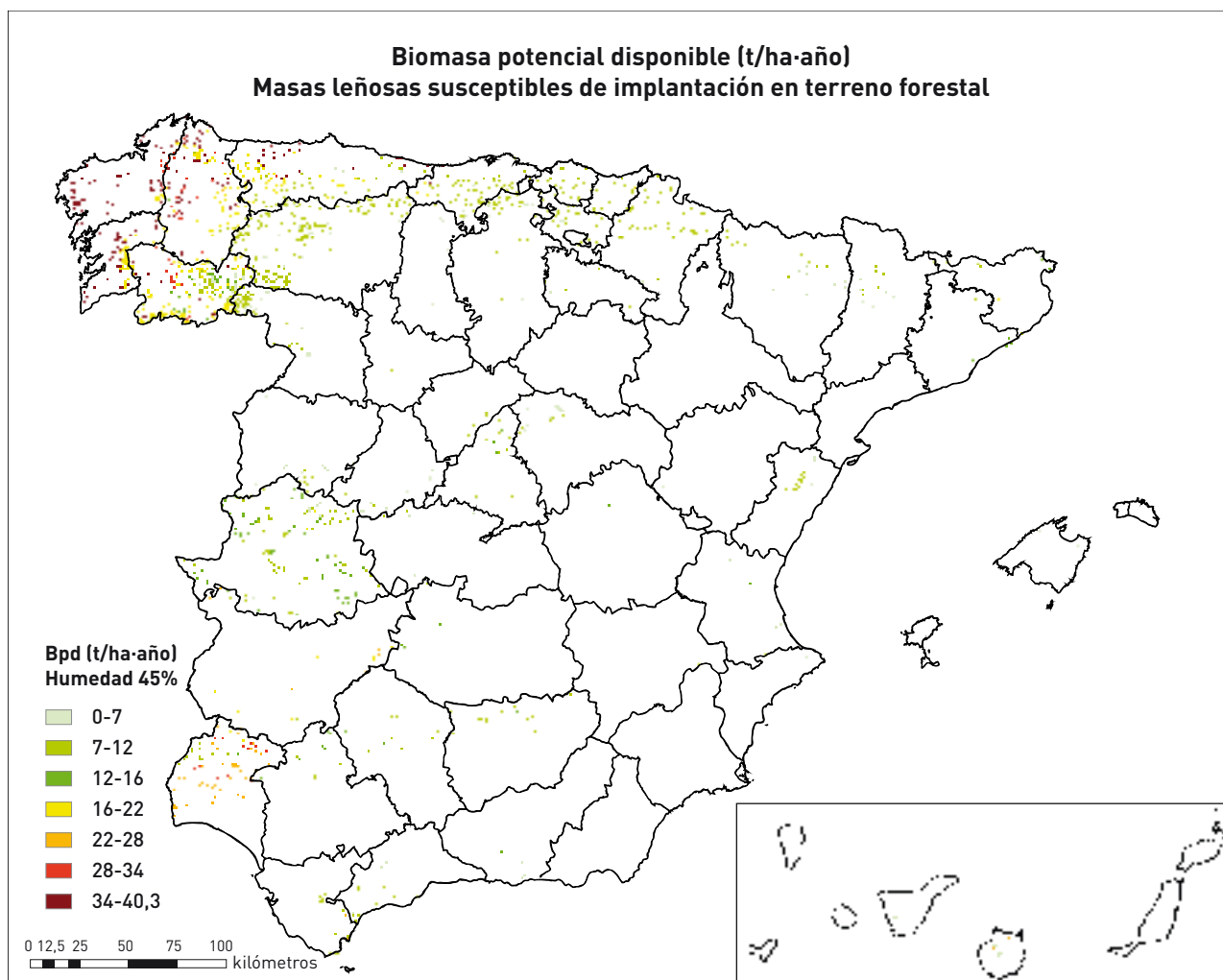
**Tabla 108. Distribución por comunidades autónomas de la biomasa disponible procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno forestal**

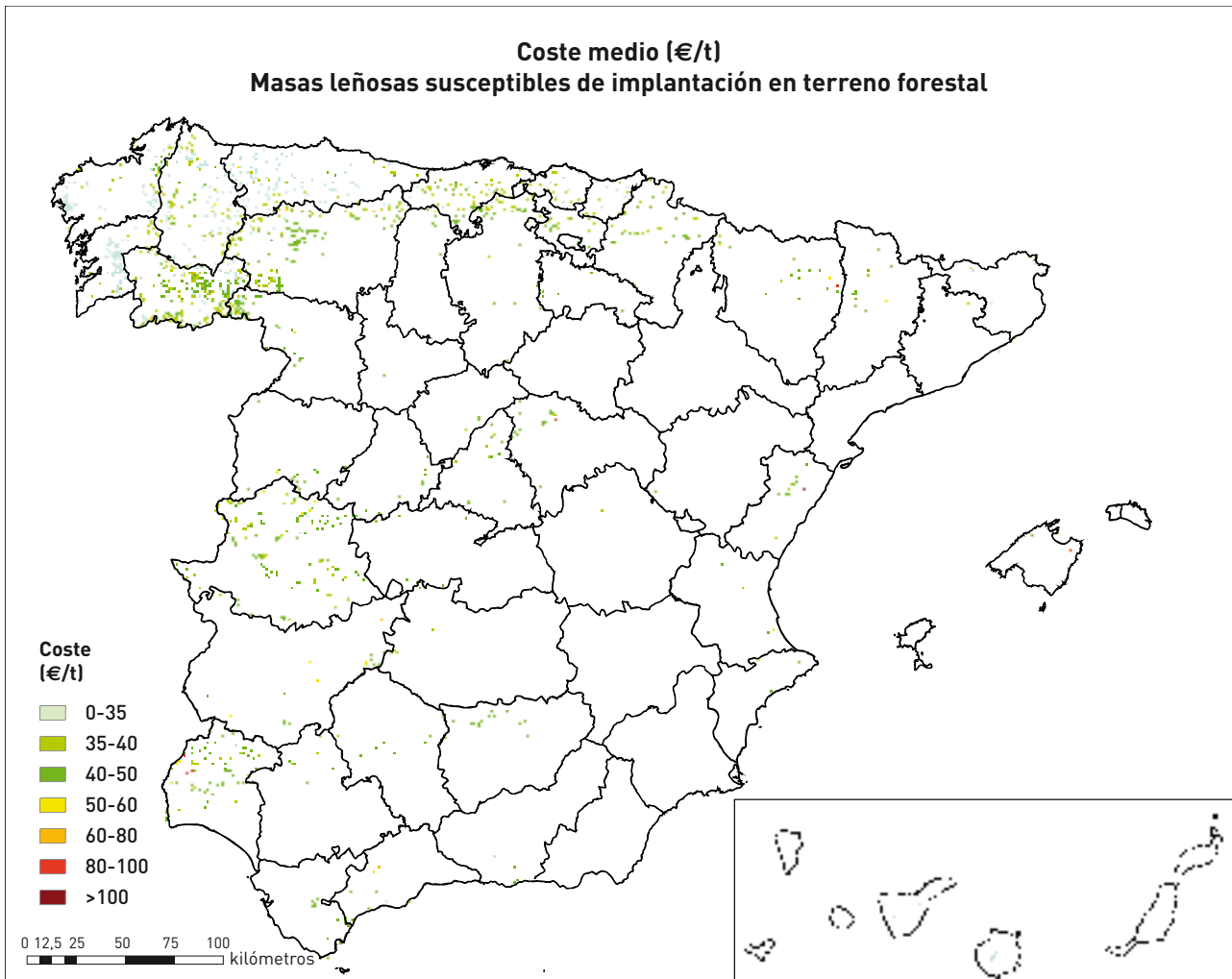
Comunidad Autónoma	Biomasa (t/año)
Galicia	7.931.615
Castilla y León	1.496.793
Andalucía	1.231.669
Extremadura	1.433.327
Cataluña	143.838
Castilla-La Mancha	203.519
País Vasco	275.165
Asturias	1.384.360
Navarra	189.129
Aragón	85.865
Cantabria	472.133
Valencia	104.654
Madrid	81.644
La Rioja	17.315
Murcia	4.407
Islas Baleares	8.025
Islas Canarias	4.874
<b>Total</b>	<b>15.068.332</b>

**Tabla 109. Estimación por provincia del coste medio de obtención de biomasa procedente de masas forestales susceptibles de implantación en terreno forestal**

Comunidad Autónoma	Coste medio (€/t)
Andalucía	43,22
Aragón	44,38
Asturias	34,66
Cantabria	38,86
Castilla-La Mancha	45,53
Castilla y León	42,99
Cataluña	40,35
Extremadura	44,96
Galicia	35,97
Islas Baleares	47,27
Islas Canarias	32,51
La Rioja	44,31
Madrid	41,89
Murcia	47,23
Navarra	40,25
País Vasco	38,52
Comunidad Valenciana	44,49
<b>Total</b>	<b>42,14</b>







## 4.5 BIOMASA AGRÍCOLA EXISTENTE Y A IMPLANTAR EN TERRENO AGRÍCOLA

Se ha llevado a cabo la estimación de biomasa y coste medio de biomasa procedente de masas susceptibles de aprovechamiento a partir de las hipótesis de partida definidas en el apartado de parámetros de cálculo.

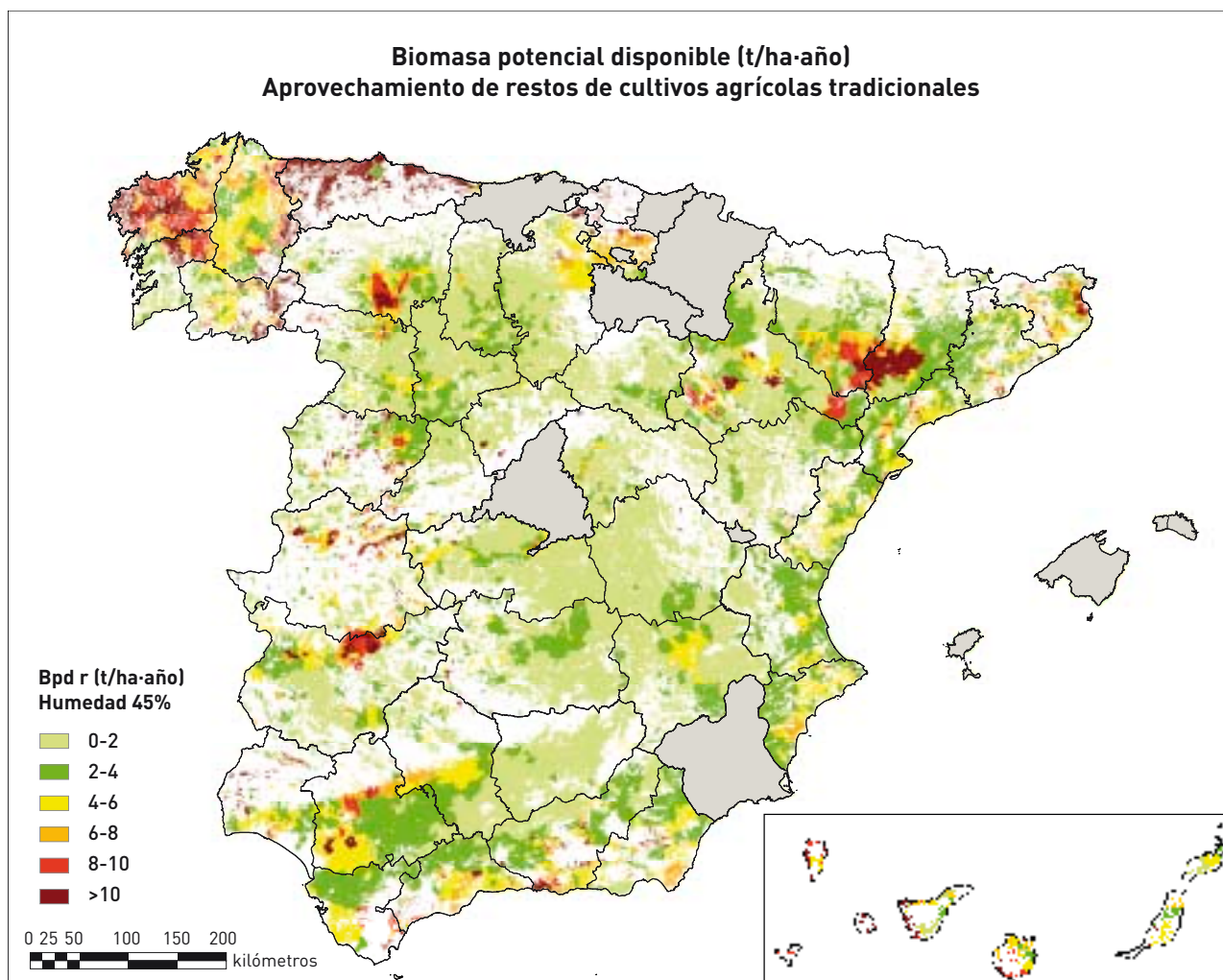
**Tabla 110. Distribución por comunidades autónomas de la biomasa disponible procedente de restos de cultivos agrícolas tradicionales o masas herbáceas o leñosas susceptibles de implantación en terreno agrícola**

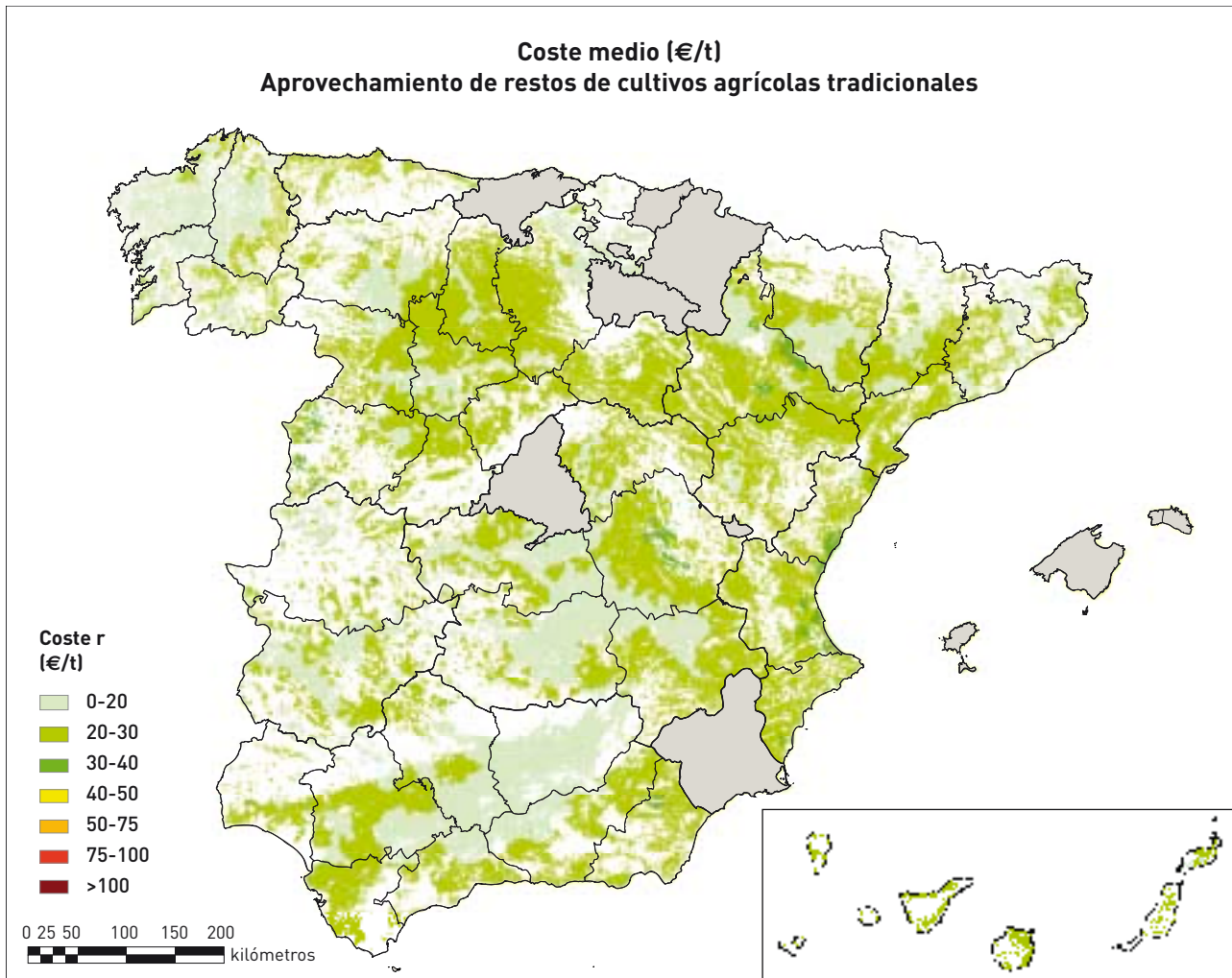
Biomasa potencial disponible según procedencia (t/año)						
Comunidad Autónoma	Restos agrícolas			Masas herbáceas susceptibles de implantación en terreno agrícola	Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno agrícola	Total
	Herbáceos	Leñosos	Total			
Andalucía	2.518.996	4.957.623	7.476.619	2.961.107	1.127.133	11.564.859
Aragón	1.257.356	1.419.104	2.676.460	1.881.502	814.641	5.372.602
Asturias	0	378.173	378.173	0	0	378.173
Cantabria	41.213	6.518	47.731	4.891	6.194	58.816
Castilla-La Mancha	2.060.321	1.073.376	3.133.697	3.831.473	1.233.273	8.198.444
Castilla y León	4.167.623	230.759	4.398.382	5.614.995	1.327.990	11.341.366
Cataluña	1.045.020	2.210.580	3.255.599	758.939	532.713	4.547.251
Comunidad Valenciana	52.487	2.223.407	2.275.894	77.440	71.104	2.424.438
Extremadura	898.837	982.766	1.881.602	1.075.765	880.174	3.837.542
Galicia	992.906	550.870	1.543.777	8.169	149.132	1.701.078
Islas Baleares	113.942	405.250	519.191	294.303	47.555	861.049
Islas Canarias	310	179.767	180.076	485	397	180.958
La Rioja	229.865	217.358	447.223	146.657	48.874	642.753
Madrid	137.583	62.472	200.055	233.813	91.735	525.603
Murcia	56.376	1.028.553	1.084.929	142.168	52.882	1.279.980
Navarra	641.182	126.822	768.005	570.252	186.539	1.524.796
País Vasco	220.548	64.823	285.372	135.909	28.524	449.806
<b>Total</b>	<b>14.434.566</b>	<b>16.118.220</b>	<b>30.552.785</b>	<b>17.737.868</b>	<b>6.598.861</b>	<b>54.889.514</b>

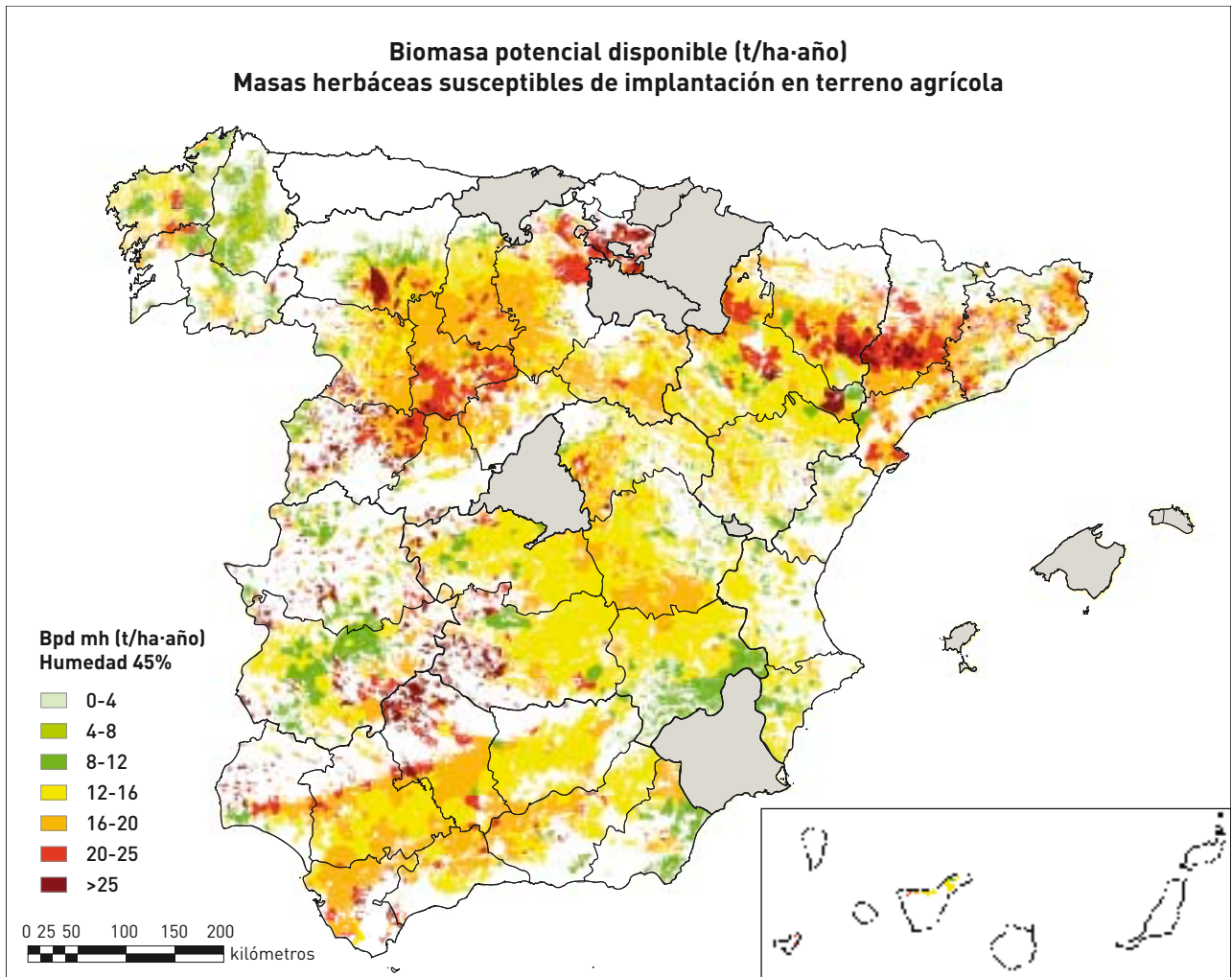


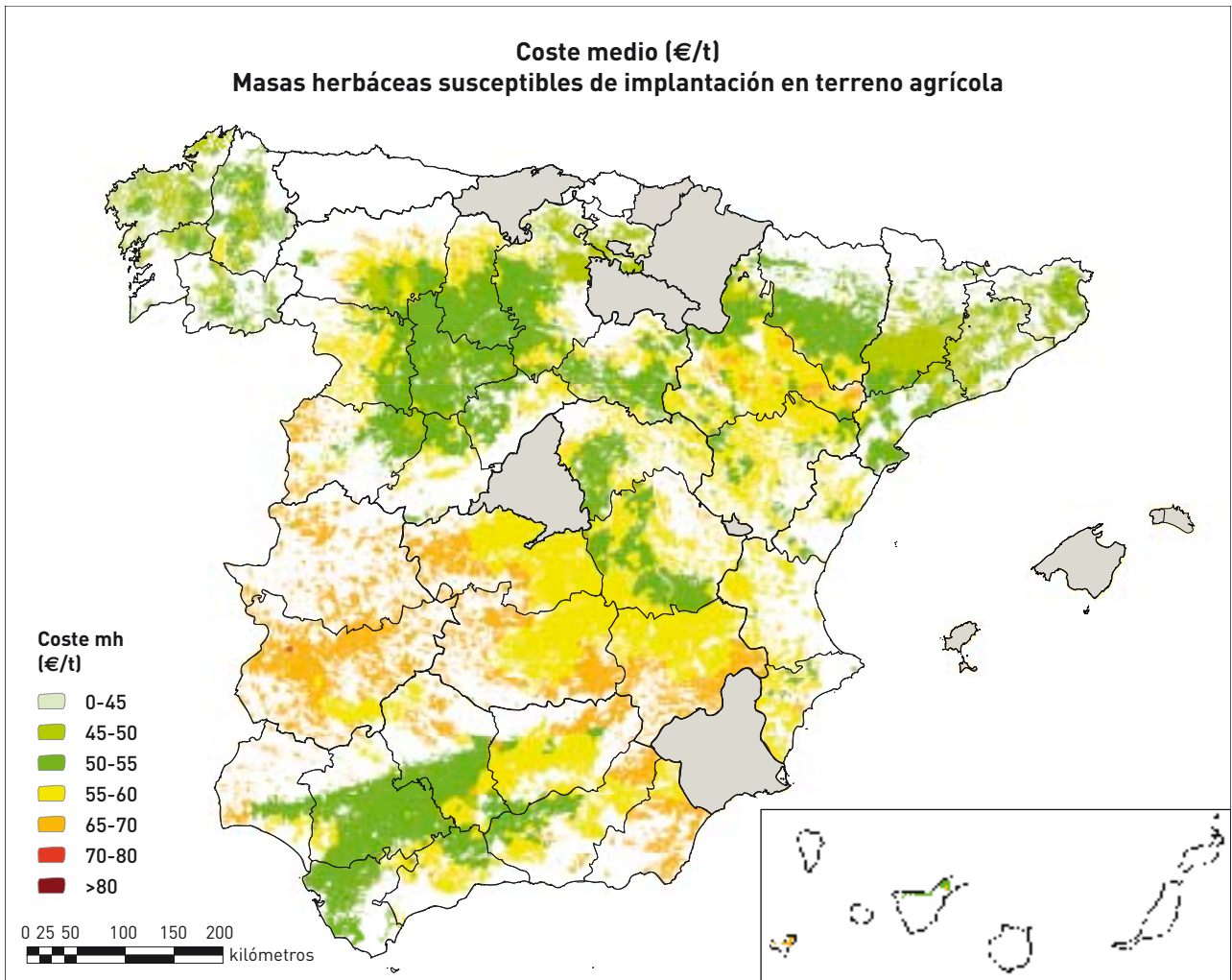
**Tabla 111. Estimación por comunidad autónoma del coste medio de obtención de biomasa procedente de restos de cultivos agrícolas tradicionales o masas herbáceas o leñosas susceptibles de implantación en terreno agrícola**

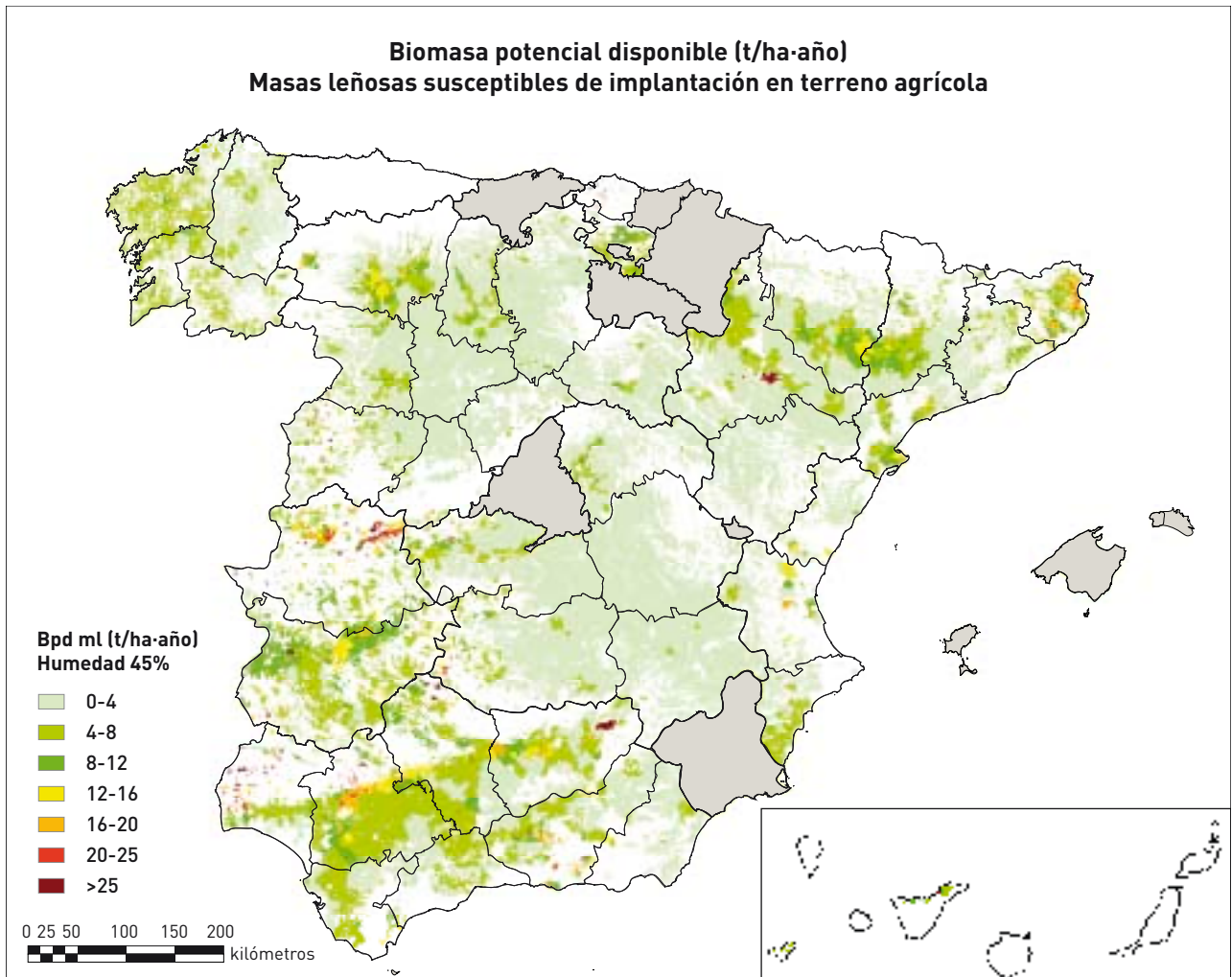
Coste medio de obtención según la procedencia de la biomasa (€/t)			
Comunidad Autónoma	Restos agrícolas	Masas herbáceas susceptibles de implantación en terreno agrícola	Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno agrícola
Andalucía	19,92	55,16	41,59
Aragón	22,08	53,77	42,05
Asturias	22,90	0,00	0,00
Cantabria	17,83	47,37	40,26
Castilla-La Mancha	20,94	55,88	32,31
Castilla y León	21,27	53,33	31,22
Cataluña	19,76	48,35	40,71
Comunidad Valenciana	24,92	54,78	42,09
Extremadura	20,07	61,48	32,65
Galicia	17,58	48,10	37,37
Islas Baleares	23,31	60,25	38,27
Islas Canarias	23,30	57,01	35,00
La Rioja	19,73	48,35	40,28
Madrid	21,19	54,29	35,62
Murcia	25,54	62,83	74,47
Navarra	18,99	48,91	35,57
País Vasco	21,05	46,05	38,88
<b>Coste medio</b>	<b>20,97</b>	<b>53,39</b>	<b>36,26</b>

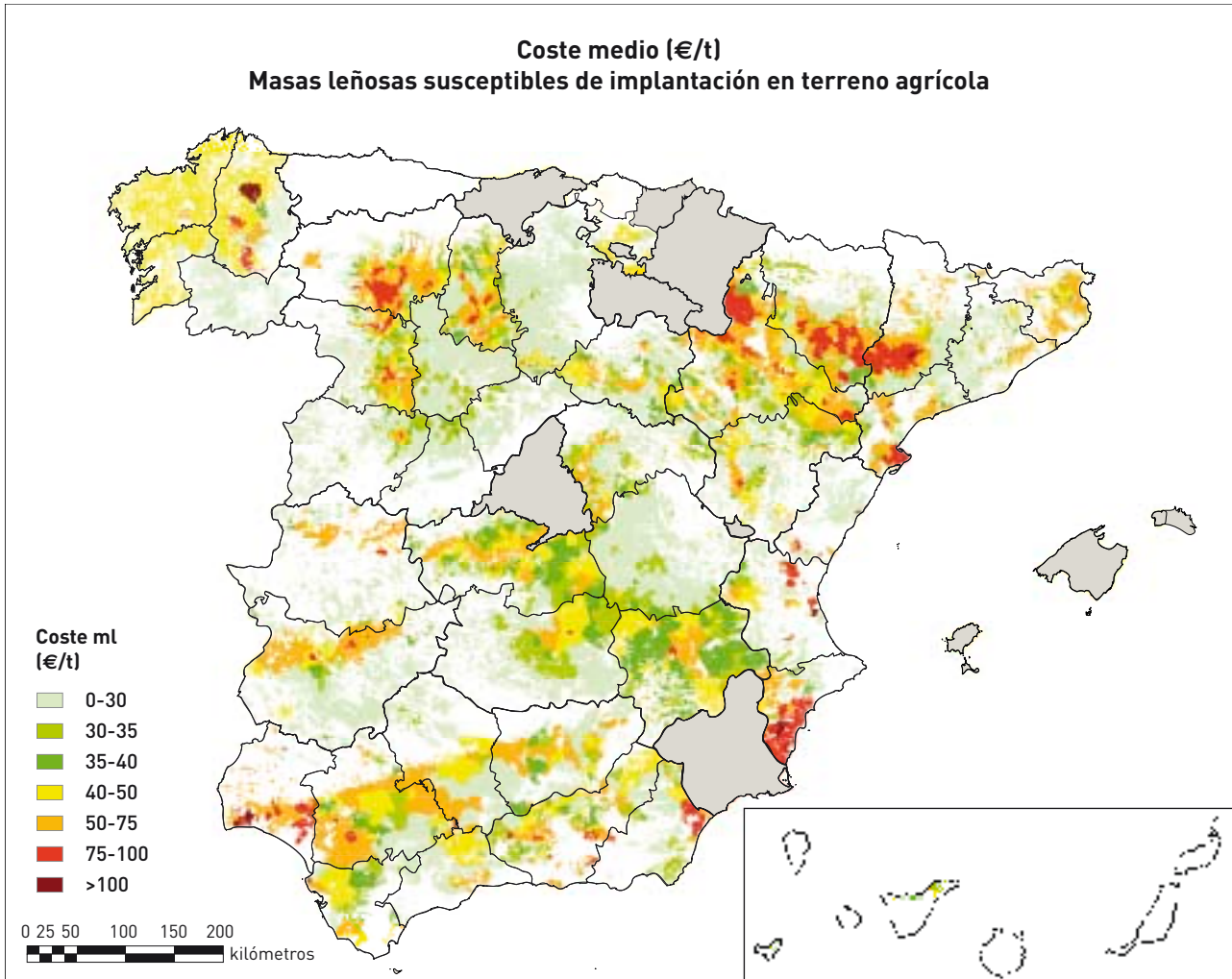












# 5 Bibliografía



- Barbero Martín, A., Catalán Bachiller, G. y González Rodríguez, F. *Manual de forestación en tierras agrícolas*. Publicaciones YRYDA. 1994.
- Berndes, G. & Magnusson, L. *The future of bioenergy in Sweden*. The Swedish Energy Agency. Estocolmo. 2005.
- Biomass Energy Europe. *Status of Biomass Resource Assessments*. European Commission. Freiburg. 2008.
- Cabrera, M. *El monte bajo de Castaño en Asturias: Alternativas selvícolas*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 1997.
- Cánovas Garre, P. A. *La encina y la Tierra agrícola*. 2004. Recuperado el 9 de Julio de 2009, de etotana.com: <http://encina.etotana.com/index.php>
- COMPETE. (s.f.). *Competence Platform on Energy Crop and Agroforestry Systems for Arid and Semi-arid Ecosystems-Africa*. Recuperado el 13 de 09 de 2009, de <http://www.compete-bioafrica.net/>
- Curt, M.D. *Biocombustibles. Cirsis energética. Oportunidades de negocio*. Grupo Agroenergética. Madrid. 2008.
- De Wit, M. & Faaij, A. *European biomass resource potential and costs*. Biomass and Bioenergy, 1-15. 2009.
- DG-TREN European Commission. *Sustainability Criteria and Certification Systems for Biomass Production*. Enschede. 2008.
- ETSI Montes, EUIT Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. 2008.
- European Environment Agency. *Maximising the environmental benefits of Europe's bioenergy potential*. Office for Official Publications of the European Communities. Copenhagen. 2008.
- Fernández López, J. (s.f.). Euforgen. Recuperado el 10 de junio de 2009, de [http://www .forestaes.net/archivos/forestal/pdfs%2038/castanea\\_sativa.pdf](http://www.forestaes.net/archivos/forestal/pdfs%2038/castanea_sativa.pdf)
- Gandullo, J. M. y Sánchez Palomares, O. *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*. Ed. ICONA, MAPA. 1994.
- García López, J. M., González Jiménez, J. y Allué Camacho, C. *Fitoclimatología de Quercus canariensis Willd. en España. Potenciales y adecuación fitoclimáticas*. Flora Monteibérica, 14-29. 2005.
- Gil Oyaregui, M. V. PFC: *Estudio del sector del mimbre en la provincia de Cuenca: situación actual y perspectivas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid. Madrid. 2003.
- González-Río, F., Castellanos, A., Fernández, O., Astorga, R. y Gómez, C. *El cultivo del Eucalipto en la Cornisa Cantábrica. Manual de silvicultura práctica*. KRK Ediciones. Asturias. 1998.
- IDAE. *Principales experiencias del aprovechamiento de la biomasa sólida realizadas recientemente en España*. IDAE. Madrid. 2007.
- INIA. *Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. (INIA). Madrid. 2005.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Plan de fomento de la utilización de los restos forestales y agrícolas con fines energéticos. Evaluación de los residuos forestales y agrícolas potenciales en España*. Madrid. 1999.
- Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). *Plantaciones del género Populus para la producción de biomasa*. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 277-294. 2007.
- Kopetz, H. *Biomass News*. AEBION, 1. 2009.
- Llobet, S., Navascues, P, Riera, J. y Vidal, A. *Silvicultura del pi blanc (Pinus halepensis)*. Ed. Agencia Local de Desenvolupament Forestal. 2003.
- Lopez de Diego, T. y Tolosana, E. *Análisis de la producción y tablas de cubicación para Eucalyptus globulus en el Principado de Asturias y la marina lucense*. Madrid. En edición.
- Luger, E. *Eucalypt introduction as energy crop*. Wieselburg, Austria.
- Madrigal A. *Tablas de producción para los montes españoles*. Ed. FUCOVASA. 1999.
- Madrigal, A., Álvarez, J. y Rodríguez, R. *Tablas de producción de los montes españoles*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid. 1999.
- Junta Castilla y León y Cesefor. *Manual de buenas prácticas para el aprovechamiento integrado de biomasa en choperas*. Madrid.
- Montero, G., Ruíz-Peinado, R. y Muñoz, M. *Producción de biomasa y fijación por los bosques españoles*. Instituto Nacional de Investigación. Madrid. 2005.
- Montoya Oliver, J. *Chopos y choperas*. Mundi-Prensa. Madrid. 1993.
- Montoya Oliver, J. *Encinas y encinares*. Mundi-prensa. Madrid. 1993.
- Montoya Oliver, J. *El Eucalipto*. Mundi-Prensa. Madrid. 1995.

- Nicolás Peragón, J., Domínguez Lerena, S., Herrero Sierra, N. y Villar Salvador, P. *Plantación y siembra de Quercus ilex: efectos de la preparación del terreno*. Segundo congreso forestal español. Pamplona. España. 1997.
- Observ'ER. *Estado de las Energías Renovables en Europa*. Intelligent Energy-Europe. 2008.
- Picchi, G. *Cultivos energéticos leñosos (SRC) . Jornadas sobre l'aprofitament energetic de biomasa llenyosa a Catalunya*. Barcelona. 2007.
- Ponce Lajara, A. *Experiencia sobre la siembra de bellotas de encina en Granada*. Quercus, 19-22. 1996.
- Rijssenbeek, W. *Expert Meeting Jatropha*. Comisión Europea. Bruselas. 2007.
- Rodríguez, R., Cueto, A. I., Majada, J. y Benito, J. L. *Selvicultura del Pino insignis (Pinus radiata)*. *Manual básico*. Ed. Consejería del Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Asturias. 2006.
- Rojas, F. *El eucalipto especie protectora y productora para el sector forestal*. Junio de 2001. Recuperado el 8 de junio de 2009, de [http://www.forestaes.net/archivos/forestal/especial%20cantabria/cantabria\\_eucalipto.html](http://www.forestaes.net/archivos/forestal/especial%20cantabria/cantabria_eucalipto.html)
- Serrada, R., Montero, G. y Reque, J. A. *Compendio de Selvicultura Aplicada en España*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid. 2008.
- Serrada, R., Montero, G. y Reque, J. A. *Compendio de selvicultura en España*. Ed. FUCO VASA, INIA. 2008.
- Sixto, H., Hernández, M., Barrio, M., Carrasco, J. y Cañellas, I. *Plantaciones del género Populus para la producción de biomasa*. 2007. [www.inia.es](http://www.inia.es)
- Soria activa. [s.f.]. Recuperado el 9 de junio de 2009, de [http://www.soriaactiva.com/pse\\_cultivos\\_energeticos/index.html#ocho](http://www.soriaactiva.com/pse_cultivos_energeticos/index.html#ocho)
- Spinelli, R. *Short Rotation Coppice*. Producción en Italia. CNR-Ivalsa. 2006.
- Ministerio de Educación y Ciencia. *Tecnología Agraria y Alimentaria*.
- Tolosana, E. *Manual técnico para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal*. FUCOVASA-Mundi-Prensa. Madrid. 2009.
- Tolosana, E., Laina, R., Martínez Ferrari, R. y Ambrosio, Y. *Manual de buenas prácticas para el aprovechamiento integral de biomasa en resalvos de montes bajos de frondosas*. CESEFOR. España. 2009
- Torre Antón, M. *Tesis doctoral. Degradación inducida por algunas prácticas agrarias tradicionales. El caso de los rebollares (Q. Pyrenaica Willd.) de la provincia de León*. Universidad Politécnica de Montes. Madrid. 1994.
- Vicedex. 2007. Recuperado el 27 de mayo de 2009, de [http://www.vicedex.com/pdf/guiacultivovicedex\\_rv061.pdf](http://www.vicedex.com/pdf/guiacultivovicedex_rv061.pdf)
- <http://puntoveinte.espacioblog.com/post/2009/09/17/ficha-pino-pinonero-pinus-pinea>
- <http://www.tinet.cat/~ralturo/coscoja/arbore/pinaceae/Psylv.htm>
- <http://www.agrobyte.com/agrobyte/publicaciones/pino/7plagas.html>
- [http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/montes\\_politica\\_forestal/recursos\\_geneticos\\_forestal/pdf/Pinus\\_canariensis.pdf](http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/montes_politica_forestal/recursos_geneticos_forestal/pdf/Pinus_canariensis.pdf)
- <http://www.avebiom.org>
- <http://www.pelletcentre.info>
- [http://www.esf.edu/willow/PDF/newsletters/newsletter5\\_1.pdf](http://www.esf.edu/willow/PDF/newsletters/newsletter5_1.pdf)
- [http://www.claas.com/countries/generator/clpw/en/claasUS/products/fh/jaguar/start,lang=en\\_US.html](http://www.claas.com/countries/generator/clpw/en/claasUS/products/fh/jaguar/start,lang=en_US.html)



[www.idae.es](http://www.idae.es)

**IDAE:** Calle Madera 8, 28004, Madrid, Tel.: 91 456 49 00, Fax: 91 523 04 14  
mail: [comunicacion@idae.es](mailto:comunicacion@idae.es)

