



Estudios de Economía Aplicada

ISSN: 1133-3197

secretaria.tecnica@revista-eea.net

Asociación Internacional de Economía
Aplicada
España

BLANCO GONZÁLEZ, JAVIER; GARCÍA DE LA FUENTE, LAURA; ÁLVAREZ GARCÍA, MIGUEL
ÁNGEL

Condicionantes económicos del aprovechamiento de biomasa forestal con fines energéticos. Una
revisión de las estimaciones para el norte de España

Estudios de Economía Aplicada, vol. 31, núm. 1, enero, 2013, pp. 127-149

Asociación Internacional de Economía Aplicada
Valladolid, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30126353003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Condicionantes económicos del aprovechamiento de biomasa forestal con fines energéticos. Una revisión de las estimaciones para el norte de España

JAVIER BLANCO GONZÁLEZ

Departamento de Economía Aplicada, UNIVERSIDAD DE OVIEDO, ESPAÑA. E-mail: blanco@uniovi.es

LAURA GARCÍA DE LA FUENTE

Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT), UNIVERSIDAD DE OVIEDO, ESPAÑA. E-mail: laura@indurot.uniovi.es

MIGUEL ÁNGEL ÁLVAREZ GARCÍA

Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT) y Dpto. de Biología de Organismos y Sistemas, UNIVERSIDAD DE OVIEDO, ESPAÑA. E-mail: maalvarez@indurot.uniovi.es

RESUMEN

Este artículo presenta una revisión de los estudios y ensayos disponibles sobre los costes de producción de biomasa forestal en el norte de España, particularmente, los de la denominada biomasa forestal primaria residual. Se analiza el papel de la biomasa en la economía forestal, así como las características de la oferta y la demanda del incipiente mercado ligado al aprovechamiento energético de este tipo de biomasa. Se discuten los principales factores determinantes de sus costes de producción y, en función de éstos y los precios de mercado, se analizan las condiciones de viabilidad económica de la explotación del recurso. El análisis de estas condiciones puede ser útil para la planificación forestal y energética.

Palabras clave: Economía forestal, biomasa forestal, costes, energías renovables, norte de España.

Economic Determining Factors in the Use of Forest Biomass for Energetic Purposes. A Review of Case Studies in the North of Spain

ABSTRACT

This paper presents a review of the existing studies on forest biomass production costs for the northern Spain, focusing on biomass from forest residues. We analyze the role of biomass in forest economy and the characteristics of supply and demand of the nascent market linked to the use of forest biomass for energetic purposes. It discusses the main factors affecting the production cost of biomass. On that basis, we analyze the economic viability conditions for forest biomass exploitation depending on market prices. Analysis of these issues would be useful for forestry and energy planning.

Keywords: Forest Economics, Forest Biomass, Costs, Renewable Energy, Northern Spain.

Clasificación JEL: Q23, Q42

Artículo recibido en febrero de 2013 y aceptado en marzo de 2013

Artículo disponible en versión electrónica en la página www.revista-eea.net, ref. 9-31109

ISSN 1697-5731 (online) – ISSN 1133-3197 (print)

1. INTRODUCCIÓN

El uso moderno de la biomasa forestal como energía renovable presenta conocidas ventajas: en términos de balance de emisiones y de lucha contra el calentamiento global, como fuente gestionable de energía renovable, a través de su impacto sobre el empleo y el desarrollo rural, o por su contribución a reducir la dependencia energética exterior (Cerdá, 2012b). Junto a sus ventajas, su principal inconveniente se encuentra en los elevados costes de aprovechamiento y transporte (Asikainen *et al.*, 2008; Hakkila, 2006), los cuales suponen un obstáculo para su expansión, capaz de lastrar su viabilidad económica frente a otras alternativas energéticas.

En España, la falta de mercados suficientemente desarrollados, impide disponer de datos de mercado regulares sobre precios y costes lo suficientemente representativos como para evaluar adecuadamente la viabilidad económica del uso energético de estos recursos. En cambio, empiezan a estar disponibles numerosos estudios y ensayos que tratan de medir de forma directa los costes de aprovechamiento de la biomasa forestal. Estos trabajos abarcan diferentes ámbitos territoriales, especies y metodologías, y constituyen una valiosa pero dispersa fuente de información sobre los potenciales costes del recurso. En este contexto, el objetivo de este artículo es sistematizar e interpretar los análisis de costes disponibles, para arrojar luz sobre las condiciones de viabilidad económica de este recurso energético.

El trabajo se centra en la vertiente atlántica del norte de España, una zona con gran potencial forestal pero también con importantes diferencias respecto a la España mediterránea en cuanto a orografía, especies forestales, aprovechamientos madereros o rasgos de la propiedad forestal, que justifican un análisis específico más allá de los resultados nacionales. Conocer mejor los costes de la producción de biomasa forestal con fines energéticos en este amplio territorio, y más en estas etapas iniciales de la actividad en las que la información es escasa, puede ser útil para el diseño de políticas públicas (forestales o energéticas), o de instrumentos de planificación regionales, así como para la toma de decisiones empresariales.

El nuevo aprovechamiento energético de la biomasa no debe entenderse como una actividad aislada del resto de producciones forestales, sino como condicionado por la realidad forestal en la que se inserta, la cual, a su vez, se verá modificada por estos usos (Schwarzbauer y Stern, 2010). Por esta razón, conviene situar brevemente la nueva pieza energética en el engranaje económico general del sector forestal.

En la actualidad, solamente el 12 % de la superficie forestal española está

sujeta a algún instrumento de ordenación (MAGRAMA, 2010)¹. El dato se reduce al 6,5 % en el caso de la superficie forestal privada. La mayor parte de los propietarios privados carecen de incentivos para llevar a cabo cualquier tipo de gestión forestal. No hay una gestión forestal activa porque acometerla no es rentable económicamente, pero esa falta de gestión genera masas forestales de bajísima calidad productiva y maderera, lo que, a su vez, hace económicamente inviable la explotación de gran parte de los montes. El resultado es que la mayor parte de la superficie forestal española, incluido el norte atlántico, no genera ningún aprovechamiento de mercado ni, por tanto, ningún flujo de rentas y empleos (Del Álamo, 2007). Estamos, por tanto, atrapados en un círculo vicioso que pone en peligro la propia conservación de las masas arboladas a medio y largo plazo.

La cuestión es entonces cómo lograr un mejor aprovechamiento viable económicamente de nuestros montes, sin menoscabo de sus funciones ambientales y sociales. El consenso a escala europea y nacional acerca de cómo lograr esto se basa en una gestión forestal *sostenible* que sirva como guía de una silvicultura *multifuncional* capaz de generar beneficios económicos, medioambientales y sociales².

En tal enfoque subyacen las nuevas demandas sociales para los bosques, que el desarrollo económico impulsa en forma de lucha contra el cambio climático, conservación de la biodiversidad, o de mayores requerimientos, en cantidad y calidad, de los usos recreativos. Dentro de este marco, probablemente el cambio estructural más relevante al que se enfrenta el sector forestal está vinculado al cambio climático, a la consideración de las masas forestales como depósitos de carbono y al uso de su biomasa como una fuente de energía y materiales renovables (Delacote y Lecocq, 2011).

En este contexto, el aprovechamiento energético de la biomasa forestal bajo patrones de sostenibilidad ambiental podría contribuir positivamente en dos direcciones: mejorar la viabilidad económica y potenciar la sostenibilidad y multifuncionalidad de los recursos forestales. Las razones de esta hipótesis se sustentan en que un aprovechamiento adecuado de la biomasa puede ayudar a mantener y potenciar la fijación de carbono, la integridad, la salud y la resistencia de los ecosistemas forestales a diversas escalas geográficas, y, simultáneamente, mejorar la economía forestal, “*puesto que unos ecosistemas forestales que funcionen correctamente son fundamentales para mantener la capacidad productiva*” (COM (2010) 66 final, p. 3). Por otro lado, existe correlación entre

¹ Lo que convierte a España en el segundo país de Europa con menor proporción de áreas forestales bajo planes de gestión o equivalentes (Forest Europe, UNECE y FAO, 2011).

² Las referencias son el Plan de Acción de la UE para los Bosques [COM (2006) 302] y la Estrategia (1999) y el Plan Forestal Español (2002).

una gestión forestal activa y la reducción del riesgo de incendios forestales³, por lo que el desarrollo de mercados de biomasa puede contribuir a la prevención al proporcionar un incentivo económico para retirar parte del material que alimenta los incendios en bosques no gestionados.

Por tanto, el uso energético de la biomasa forestal ayudaría a romper el círculo vicioso antes aludido, transformándolo gradualmente en un círculo virtuoso: un mayor aprovechamiento de la biomasa contribuye a una gestión forestal más activa, mejorando la calidad de las masas forestales y, por tanto, aumentando el valor comercial de la madera destinada a usos no energéticos, lo que a su vez mejora la rentabilidad económica de las explotaciones forestales e incentiva una gestión más activa que garantice a largo plazo su sostenibilidad y capacidad de ofrecer bienes comerciales y externalidades en forma de servicios ambientales y sociales. Todo ello podría redundar en un flujo de actividades, rentas y empleos (Cámara, *et al.*, 2011) susceptibles de contribuir al mantenimiento de población y el desarrollo sostenible en las áreas rurales (Quijano y Rico, 2011; Burguillo y del Río, 2008). El presente artículo se centra en el caso de la denominada *biomasa forestal primaria residual* (excluyendo otros recursos como los cultivos forestales) precisamente por la potencialidad que el uso energético de esta biomasa tiene para generar beneficios económicos, ambientales y sociales en el ámbito de la España húmeda.

El resto del artículo se organiza como sigue. El siguiente epígrafe caracteriza brevemente la oferta y la demanda de biomasa forestal con fines energéticos. En el tercero se describe la metodología, los casos de estudio analizados, así como la tipología de costes considerados. En el cuarto epígrafe se presentan los resultados sobre la viabilidad económica en función de los costes y la escasa información sobre precios disponible. Por último, el quinto epígrafe recoge las conclusiones.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA Y DE LA DEMANDA DE BIOMASA FORESTAL CON FINES ENERGÉTICOS

Para analizar un mercado incipiente como este, conviene caracterizar adecuadamente la oferta y la demanda (la Tabla 1 resume las distintas fuentes de oferta y de demanda). Puesto que los costes que se analizarán a continuación condicionan la oferta, debe aclararse previamente qué se entiende por *oferta* de biomasa y cuáles son sus fuentes:

- Biomasa forestal *primaria*: madera y productos leñosos extraídos directamente de las superficies forestales. Se clasifica en dos grupos bien diferenciados: i) la generada en operaciones selvícolas (podas, selección de brotes, aclareos, restos de cortas finales o de cortas intermedias), en cuyo

³ Véase Comisión Europea (2010), p. 15.

caso se suele denominar biomasa forestal primaria residual (BFPR, en adelante); ii) La procedente de cultivos energéticos forestales⁴.

- Biomasa forestal *secundaria*: materia orgánica residual (astillas, costeros, serrín, licores negros,...) generados por la industria forestal de transformación de la madera: aserraderos, industria papelera, industria de tableros de madera, carpintería e industria del mueble.
- *Madera recuperada*: derivada de actividades ajenas al sector forestal, tales como desechos de la construcción, demolición de edificios, o embalajes.

Estas tres fuentes constituyen lo que podría denominarse oferta *potencial*. Ahora bien, existen limitaciones ambientales, técnicas y económicas que impiden la utilización total de la oferta potencial. Las limitaciones ambientales se derivan de espacios protegidos o de exigencias sobre sostenibilidad del uso de biomasa forestal tales como la prevención de pérdida excesiva de nutrientes del suelo, la disminución de la biodiversidad o los efectos sobre la escorrentía, entre otros⁵. Las limitaciones tecnológicas pueden derivarse de las condiciones geomorfológicas del terreno (pendiente y altitud). Por último, aunque ambiental y técnicamente sea posible extraer la biomasa, puede ser inviable económicamente en términos de costes de generación, aprovechamiento y transporte. De traída de la biomasa potencial la biomasa no asequible por las citadas limitaciones, tendríamos la biomasa *utilizable*.

Ahora bien, la biomasa *utilizable* no es la “oferta” de biomasa en un sentido económico, ya que ésta será la que finalmente entre en el mercado. Dicha oferta será una fracción de la biomasa utilizable, variable en el tiempo y en el espacio, en función de los costes de extracción y transporte, los precios de otros combustibles, los avances tecnológicos, los precios de otras producciones forestales que compiten por el recurso, o las ayudas públicas, entre otros factores.

⁴ Aunque la clasificación que aquí se propone es usual en la literatura, la terminología no está estandarizada. Así, son frecuentes los términos *biomasa forestal residual* o *residuos forestales*, para englobar a la aquí denominada biomasa forestal primaria (excepto los cultivos forestales) y a la secundaria. La BFPR se corresponde con la definición dada en el R.D. 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, para el subgrupo b.6.3. Los cultivos energéticos forestales (subgrupo b.6.1) incluyen el aprovechamiento principal de las masas forestales, originadas mediante actividades de cultivo, cosecha y, en caso necesario, procesado de las materias primas recolectadas y cuyo destino final sea el energético.

⁵ Sobre las limitaciones ambientales véase Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009); y, a escala europea, el informe de la Comisión sobre los requisitos relativos a la sostenibilidad para el uso de fuentes de biomasa sólida y gaseosa en los sectores de la electricidad, la calefacción y la refrigeración, COM (2010) 11 final.

Tabla 1
Caracterización de la oferta y demanda de biomasa forestal

BIOMASA POTENCIAL	LIMITACIONES	BIOMASA UTILIZABLE	CONDICIONANTES	OFERTA DE BIOMASA	APLICACIONES INTERMEDIAS	APLICACIONES FINALISTAS
Biomasa forestal primaria • Residuos de operaciones selvícolas • Cultivos forestales Biomasa forestal secundaria • Residuos de instalaciones industriales del sector forestal (serrín, tacos, astillas...) • Licores negros de la industria papelera Madera recuperada: de actividades ajenas al sector forestal	Ambientales Técnicas Económicas	→	Costes Precios Tecnología Ayudas Precios otras energías...	Cantidad de materia prima que realmente entra en el mercado	Pellets Astillas Briquetas	Eléctricas • Pequeñas centrales • Co-combustión Térmicas: producción de calor (o frío) en: • calderas domésticas • calderas colectivas e industriales • redes de calefacción centralizadas Cogeneración: producción conjunta de calor y electricidad

Fuente: Elaboración propia.

Por el lado de la demanda se encuentran las aplicaciones *intermedias* y las aplicaciones *finalistas*. Las primeras demandan biomasa forestal para fabricar combustibles sólidos (*pellets*, astillas, briquetas) que a su vez abastecen a consumidores finales domésticos, colectivos o industriales para obtener energía en forma de calor o electricidad. Las aplicaciones *finalistas* son las eléctricas (en pequeñas centrales o en centrales de co-combustión de combustible fósil y biomasa), las térmicas (para producir calor/frío doméstico, en calderas colectivas o industriales o en redes de calor centralizadas) y las de cogeneración (para la producción industrial conjunta de calor y electricidad). También es posible que las aplicaciones finalistas demanden directamente la biomasa forestal sin apenas transformación para, una vez tratada, transformarla en energía (como en el caso de la industria papelera).

3. METODOLOGÍA

En España se han realizado en los últimos años múltiples ensayos y trabajos para estimar los costes de la biomasa forestal y sus condicionantes técnico-económicos. Sin embargo, el elevado número de escenarios de aprovechamiento

que se pueden llegar a dar (especies explotadas, características del territorio, tipos de trabajos selvícolas aplicados,...) aconsejan sistematizar y territorializar toda esta información⁶. Con este objetivo, se han revisado las estimaciones de costes de producción de la biomasa forestal primaria residual, la secundaria y la recuperada, representativas de la realidad de la España noratlántica, a partir de casos de estudio referidos a Galicia, Asturias, norte de Castilla y León, Cantabria, País Vasco y norte de Navarra, así como de otros trabajos de ámbito más amplio pero que ofrecen resultados parciales de aplicabilidad para esta área geográfica.

Un primer grupo de fuentes analizadas lo forman los ensayos y publicaciones que han resultado de proyectos, estrategias y planes de ámbito europeo, nacional y regional. Entre los más importantes cabe citar la *Estrategia española para el desarrollo del uso energético de la biomasa forestal residual. Segundo borrador* (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2009), que ofrece un análisis general de los costes de producción de la biomasa obtenida de tratamientos selvícolas o de aprovechamientos forestales para las principales especies del país. Destacan igualmente varios proyectos financiados con fondos europeos (Proyecto BIO-SOUTH, 2007; Proyecto ENERSILVA, 2007; Proyecto ECO-COMBOS, 2010) en los que se abordan ensayos de estimación de costes bajo diferentes condiciones y sistemas de trabajo, así como desarrollos metodológicos para el análisis económico de estos aprovechamientos. Un tercer tipo de fuentes han sido varios planes, estrategias y documentos técnicos destinados a estudiar las condiciones de viabilidad de aprovechamiento de biomasa en el norte de León (CIEMAT-CEDER, 2008) y en Cantabria (Tolosana *et al.*, 2009). Igualmente, se han analizado los datos procedentes de estudios llevados a cabo en el norte de España por expertos y grupos de investigación como los de la Escuela de Ingeniería de Montes de Madrid (Tolosana *et al.*, 2008, 2009; Cabrera *et al.*, 2011), o el Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y el Centro de Tecnología de la Madera del Principado de Asturias (Canga *et al.*, 2009). Asimismo, los resultados generales de un estudio promovido recientemente por el IDAE (Cabrera *et al.*, 2011) para toda España y para áreas concretas como la Cornisa Cantábrica⁷, han servido para validar los resultados e intervalos obtenidos en el presente trabajo, tal y como se comenta más adelante. En total, se han manejado 79 casos en los que se estiman costes

⁶ Como recuerdan Anttila *et al.*, (2011), las estimaciones de ámbito nacional proporcionan una visión general, pero carecen del suficiente detalle o representatividad para ser aplicadas a la planificación a escala local y regional.

⁷ *Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio técnico PER 2011-2020*, promovido por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) en el marco de la elaboración del Plan de Energías Renovables en España 2011-2020.

de BFPR en montes del norte atlántico español o bien de especies arbóreas de elevado interés energético en dicha área.

Dada la heterogeneidad de los estudios analizados, se han agrupado sus resultados de acuerdo con cuatro variables de influencia determinante en los costes:

- *Pendiente del terreno.* Es la variable física más relevante en los costes. La diferencia sustancial la marca el umbral de pendiente del 25%, por lo que se han agrupado los costes respecto a dicho umbral ($< 25\%$, $> 25\%$).
- *Tipo de intervención o tratamiento selvícola que origina la biomasa.* Se han diferenciado tres grandes categorías de intervención: cortas finales, claras y clareos-resalveos-podas.
- *Especie arbórea.* Se han seleccionado los estudios basados en las coníferas y frondosas forestalmente más relevantes en el norte atlántico español.
- *Características de los sistemas de trabajo empleados.* Se ha hecho una diferenciación principal entre el carácter fundamentalmente mecanizado, semi-mecanizado o manual de las distintas fases del aprovechamiento (apeo, reunión y apilado, elaboración, saca) y el sistema de procesado elegido: empacado en origen (con astillado en destino) o astillado en origen.

Adicionalmente, para garantizar la adecuada comparabilidad, ha sido necesario estandarizar los costes resultantes de cada estudio en relación con diversos aspectos. En primer lugar, se han transformado todos los valores en términos de euros constantes de 2009 (aplicando el IPC general, INE). En segundo lugar, dado que el grado de humedad de la biomasa es una variable clave en los cálculos de costes, ya que determina los pesos utilizados en las estimaciones, y puesto que los diversos trabajos no se refieren a la materia con un mismo grado de humedad, ha sido necesario aplicar coeficientes correctores para transformar los valores en términos homogéneos de €/t al 25-35 % de humedad (en base húmeda)⁸.

En cuanto a la tipología de costes considerada, salvo mención expresa, nos

⁸ Para homogeneizar los resultados se ha supuesto que las cifras en términos de “materia verde” se refieren a biomasa con grados de humedad del 45-50 % (similar a la que podrían tener en monte) y que los resultados en “materia seca” se refieren a grados de humedad del 10-15 % (humedades mínimas de la materia, una vez secada). Cuando no se especifica si el grado de humedad se refiere a base húmeda o seca, se ha asumido que están referidos a base húmeda. Para la transformación de valores en términos de €/t al 25-35 % de humedad (en base húmeda) se han aplicado los siguientes coeficientes correctores: 1,2 a resultados referidos a materia verde, 1,3 a resultados referidos a materia seca y 1,15 a los casos referidos al 35 % de humedad en base seca. Aunque los valores finalmente elegidos para estos coeficientes están condicionados por las circunstancias particulares más habituales en el norte de España, se pueden encontrar ejemplos, valores y referencias adicionales en Sanz y Piñeiro (2004) y Cabrera *et al.*, (2011).

referiremos a los costes de la biomasa forestal primaria residual (BFPR), excluyendo los cultivos forestales (aunque algunos de los costes parciales manejados podrían extenderse a los cultivos forestales). De acuerdo con la literatura⁹, se han establecido las siguientes tipologías de costes de la BFPR hasta su puesta en planta de transformación o en punto de consumo:

- Costes de generación: abarcan la fase de obtención en monte (por tratamiento selvícola, desbroce, subproductos de cortas, etc.), hasta que la biomasa se halla extendida en el terreno en condiciones para su manipulación y saca.
- Costes de aprovechamiento y transporte: abarcan los costes derivados de las operaciones de recogida (agrupación o apilado en el monte, saca, manipulación), procesado (astillado, empaçado), carga y transporte de la materia prima a las plantas de destino (plantas de transformación en combustibles sólidos, instalaciones térmicas, plantas de generación de electricidad, etc.)¹⁰.
- Costes totales: suma de los costes descritos en los dos puntos anteriores, es decir, el coste total de la BFPR puesta en bruto, empaçada o astillada, en el centro de consumo.

Dada la variabilidad de costes de transporte del recurso al destino final manejados en los estudios analizados, se ha procedido, en una primera fase, a descontar los costes de transporte para obtener estimaciones exclusivamente asociadas a los costes de generación y aprovechamiento¹¹. En una segunda fase, una vez sumados a éstos los costes de transporte, se obtendrán los costes totales de puesta en planta o terminal logística, que serán los empleados para valorar la viabilidad de la explotación del recurso. Concretamente, para obtener los costes totales se ha sumado a los costes de generación y aprovechamiento un coste genérico, suponiendo una distancia media de 60 km, diferenciando tres posibilidades: transporte de material empaçado, astillado y no procesado (biomasa en bruto). Los costes de transporte, de 8,5€/t, 11€/t y 23€/t, respectivamente, están basados en las estimaciones recogidas en Cabrera *et al.* (2011).

Los costes totales dependerán de los sistemas de trabajo y logística aplicados a la obtención, manejo y transporte de la biomasa, los cuales, a su vez, vendrán

⁹ Se sigue aquí fundamentalmente el desglose utilizado en el Proyecto ENERSILVA (2007).

¹⁰ La contabilización de costes de generación y de aprovechamiento y transporte debe incluir un margen de beneficio para el productor (por ejemplo, ENERSILVA (2007) imputa un 15%), y, en su caso, un beneficio comercial para las empresas que realizan el aprovechamiento y la logística.

¹¹ En aquéllos trabajos en los que no se especifica la cuantía de los costes de transporte, se ha descontado el coste medio por este concepto a partir del resto de estudios en condiciones comparables (similares distancias y formas de procesado de la biomasa).

determinados por las características de la masa arbolada y la labor selvícola realizada. Más concretamente, la elección del sistema de trabajo dependerá principalmente de los siguientes parámetros:

- Las condiciones del terreno (pendiente, rugosidad, tamaño de las parcelas, etc.).
- La densidad y estado de la red viaria.
- Las labores selvícolas de origen, las especies y el estado del monte.
- La distancia al centro de destino.
- Las exigencias según el uso energético de la biomasa.

Diversos estudios han puesto de relieve la trascendencia de optimizar económicamente los sistemas de trabajo y logística. Gómez Mampaso (2008) resalta la importancia del diseño y planificación integrada de todas las tareas, con especial atención a la identificación de formas y direcciones de saca, la delimitación de las zonas de apilado para la mejor accesibilidad de la maquinaria, o las áreas de almacenamiento en el propio monte. Por su parte, Tolosana *et al.*, (2009) subrayan la importancia de una adecuada elección y organización de la maquinaria empleada en las operaciones (tamaño y características de las máquinas adecuadas al tipo de operación y terreno forestal, tiempos de trabajo para reducir los costes fijos y alcanzar niveles rentables de costes medios, progresiva profesionalización y concentración de los operadores en cada fase de obtención), del sistema de procesamiento de la biomasa y del método de transporte vinculado (empacado y transporte a distancias medias-largas, o transporte en bruto hasta la terminal logística o planta donde sería astillada o triturada), y del modelo de organización logística (según la dificultad de acceso al monte, tipo de aprovechamiento y distancia a recorrer).

En cuanto a los costes de generación de la biomasa forestal secundaria, debe tenerse en cuenta que se trata de un subproducto inherente a los procesos productivos de la industria de transformación de la madera, por lo que no necesita especiales acciones para su obtención. Por tanto, más que imputar un coste preciso a estos materiales, son relevantes los precios que los distintos competidores (industria del tablero, fabricantes de pellets,...) pueden pagar para hacerse con la materia prima, tal y como se discutirá en el epígrafe siguiente.

4. RESULTADOS: VIABILIDAD ECONÓMICA DEL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA FORESTAL CON FINES ENERGÉTICOS EN EL NORTE ESPAÑOL

4.1. Análisis de costes

Entre las variables mencionadas como determinantes de los costes de la BFPR, la *pendiente* del terreno y el tipo de *labor selvícola* del que procede la

biomasa son predominantes en la mayor parte de los casos, por lo que comenzaremos presentando los principales resultados respecto a éstas (Tabla 2), para incorporar posteriormente la influencia de la *especie* y de los *sistemas de trabajo* (Tabla 3).

Como muestra la Tabla 2, los costes medios de la BFPR en el norte de España varían considerablemente en función de la pendiente del terreno y del tipo de tratamiento selvícola que origina la biomasa. Los valores en función de la pendiente presentan un amplio rango, pero superar el umbral del 25% de pendiente implica un aumento del promedio de costes del 55% sea cual sea la labor selvícola. Los costes más bajos se dan en las cortas finales y en las claras (sin apenas diferencias entre ambas, 36,3 €/t y 35,6 €/t, respectivamente) donde hay aprovechamiento paralelo de madera y biomasa (procedente de puntas, ramas,...), al tratarse de las operaciones selvícolas generadoras de mayor cantidad de recurso por unidad de superficie. En el caso de las podas, clareos y resalveos el coste medio, de 56 €/t, supera en más del 50% el de las cortas y claras para ambos tipos de pendientes, presentando asimismo una mayor dispersión de valores.

Tabla 2

Principales magnitudes de los costes (€/t) de la BFPR en el norte de España según clases de pendiente y tratamiento selvícola

	Pendientes menores del 25%	Pendientes mayores del 25%
CORTAS FINALES		
Media	36,31	52,05
Límite inferior IC para la media al 95%	29	41,45
Límite superior IC para la media al 95%	43,59	62,64
Mínimo	18,14	22,98
Máximo	63,55	96,09
CLARAS		
Media	35,64	61,52
Límite inferior IC para la media al 95%	24,39	39,49
Límite superior IC para la media al 95%	46,89	83,55
Mínimo	23,06	41,28
Máximo	65,82	103,43
PODAS, CLAREOS Y RESALVEOS		
Media	56,95	85,66
Límite inferior IC para la media al 95%	41,84	64,67
Límite superior IC para la media al 95%	72,06	106,65
Mínimo	22,14	31,56
Máximo	115,57	136,79

Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos analizados.

La Tabla 3 incorpora junto a las dos variables anteriores la especie arbórea (eucalipto, pino, chopo, castaño, quercíneas, haya y “varias especies”¹²) y el sistema de procesamiento (astillado fijo, astillado móvil, empacado fijo y empacado móvil). En cuanto a las especies, destacan por sus menores costes el eucalipto, el chopo y el castaño en las cortas finales con menores pendientes (aunque el pino mejora al castaño en las pendientes mayores). En el caso de las claras, para las que sólo hay estudios de tres especies, la ordenación de costes de menor a mayor es: haya, quercíneas y pino, para los dos tipos de pendientes. En cuanto a las podas, claros y resalveos, los costes más ventajosos aparecen en el chopo y las quercíneas, para ambos tipos de pendientes.

Tabla 3

Costes de biomasa forestal residual (€/t) en el norte de España según pendiente, especie arbórea, tratamiento selvícola y sistema de trabajo

		Especie	Cortas finales					Claras			Podas/Clareros/ Resalveos		
			No proc	Ast. Fijo	Ast. Móvil	Emp. Fijo	Emp. Móvil	Media	Ast. Fijo	Emp. Fijo	Media	Ast. Fijo	Emp. Fijo
Pendiente <25%	Eucal.	--	--	--	22	--	22	--	--	--	--	--	--
	Pinos	19	--	--	32	44	33	44 (32-33)	32 (23-27)	37	--	77 (53-61)	77
	Chopo	--	--	--	22	21	22	--	--	--	--	28	28
	Cast.	--	--	--	24	--	24	--	--	--	--	--	--
	Quer.	--	--	--	--	--	--	--	30	30	48	43 (22-39)	44
	Varias	--	49	54	52	--	51	--	--	--	67	--	67
	Haya	--	--	--	--	--	--	--	29	29	--	73	73
Pendiente >25%	Eucal.	--	--	--	34	--	34	--	--	--	--	--	--
	Pinos	27			43 (39-42)	53	42	103	55 (41-49)	65	--	101 (81-84)	101
	Chopo	--	--	--	38	--	38	--	--	--	--	46	46
	Cast.	--	--	--	47	--	47	--	--	--	--	--	--
	Quer.	--	--	--	--	--	--	--	57	57	--	68	68
	Varias	--	77	96	63	--	78	--	--	--	102	--	102
	Haya	--	--	--	--	--	--	--	50	50	--	103	103
		n=4	n=6	n=3	n=18	n=6	n=37	n=4	n=12	n=16	n=8	n=18	n=26

Notas: En aquellas categorías con un amplio rango de costes o algún valor atípico, se indica entre paréntesis el intervalo modal de valores; n= nº de casos/estudios considerados.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los trabajos analizados.

¹² En adelante se aludirá en genérico al pino y al eucalipto, si bien los resultados son representativos de varias de las especies utilizadas en el estudio (como *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* y *Pinus radiata*) por ser las de mayor presencia y aprovechamiento en la España húmeda.

En relación con los sistemas de trabajo, la mayor parte de los estudios se centran en el empacado fijo, el astillado fijo o el empacado móvil (salvo dos estimaciones para biomasa de pino no procesada y transportada en bruto). Como se desprende de la Tabla 3, en las cortas finales con aprovechamiento simultáneo de biomasa destaca la versatilidad del empacado, que aunque según Tolosana *et al.*, (2009) puede suponer un coste de entre 15 y 20 €/t verde, permite aprovechar gran parte de la maquinaria forestal utilizada para las cortas.

Los métodos de producción de menor coste medio en terrenos de poca pendiente son el empacado de restos de cortas de eucaliptos y chopo (en torno a 22 €/t), que se elevan a unos 34-38€/t en pendientes mayores del 25%. Asimismo, no se puede concluir que el astillado sea en general un sistema de menor coste que el empacado en el caso de los aprovechamientos a partir de cortas finales: aunque el astillado presenta una ligera ventaja en las menores pendientes, ocurre lo contrario en las pendientes mayores.

Respecto a las claras (para las que sólo se dispone de estudios sobre astillado fijo y empacado fijo), la mayor parte de los casos recopilados se refieren a masas de pino de distintas especies. El método de producción más competitivo para terrenos de poca pendiente es el empacado fijo (para el pino, 32 €/t frente a 44 €/t del astillado), que se eleva a 55 €/t de media en pendientes mayores del 25%.

Las podas y resalveos (en monte bajo) y los clareos (en masas regulares de turno largo con fines madereros) consisten en un aprovechamiento de ejemplares con diámetro inferior a 7-10 cm o de las ramas objeto de poda, por lo que predomina la corta manual (con motosierra o motodesbrozadora). En consecuencia, los costes están notablemente por encima de los comentados anteriormente, dada la baja densidad de recurso y el carácter más selectivo de las operaciones selvícolas. Aunque solamente en el caso de las quercíneas se dispone de estudios para los dos sistemas, es el empacado fijo el que presenta unos costes inferiores al astillado fijo (43 €/t de media frente a 48 €/t).

Finalmente, tiene interés comparar estos resultados con los costes de obtención de biomasa que recoge un reciente estudio técnico promovido por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) para toda España (Cabrera *et al.*, 2011). Los resultados que aquí nos interesan se refieren a la zona agrupada como Cornisa Cantábrica en el estudio (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco) para las mismas especies contempladas aquí (además de *Quercus faginea*), sistemas de trabajo mecanizados o semi-mecanizados y pendientes del terreno de hasta el 30%. Una vez aplicadas las mismas correcciones indicadas en el epígrafe 3 a los costes medios de obtención de la biomasa¹³, se obtiene que

¹³ Asimismo, se han incrementado los costes básicos en un 21% para incorporar gastos generales y beneficio industrial de los productores. No ha sido posible aplicar correcciones de precios

los costes medios de producción a partir de cortas finales se sitúan en un rango medio de 34-39 €/t, mientras que el recurso procedente de aprovechamientos de árbol completo (claras, clareos, resalvos) se sitúa en los 54-58 €/t. Por tanto, el citado trabajo ofrece resultados que van en la misma línea que los presentados en este artículo.

Para finalizar esta revisión de costes, debe hacerse mención de la biomasa secundaria y recuperada. Los datos disponibles sobre precios de estos materiales son todavía más fragmentarios que en el caso de la BFPR, puesto que tampoco existen estadísticas regulares y detalladas. Solamente se dispone de algunas estimaciones procedentes de expertos del sector o de investigaciones de carácter regional. Por tanto, a título únicamente orientativo, se presentan en la Tabla 4 los costes de puesta en destino de biomasa forestal secundaria (procedente de las industrias de primera y segunda transformación de la madera) y de la recuperada de actividades ajenas al sector forestal (embalajes, construcción,...). Los datos proceden de Freire *et al.*, (2008), y ponen de manifiesto la mayor competitividad en costes que presenta la utilización de esta fuente de materia prima respecto a la biomasa forestal primaria.

4.2. Aproximación a los precios del mercado de BFPR y sus condicionantes

Los costes de la biomasa constituyen umbrales mínimos a partir de los cuales la biomasa podrá entrar en el mercado. Ahora bien, los precios que alcance la materia prima serán el resultado de la interacción entre la oferta (por tanto, los costes) y lo que estén dispuestos a pagar los demandantes del recurso. El carácter incipiente de esta actividad y la ausencia de mercados organizados seguramente explica la inexistencia de fuentes estadísticas de precios sistemáticas, por lo que solamente se dispone de horquillas de precios estimadas por estudios concretos a partir de informaciones diversas. En todo caso, dada su escasez y dispersión, puede ser útil recabar cualquier información sobre precios aunque sea parcial.

El lado de la demanda, tal y como se ha descrito en el epígrafe 2, está compuesto por diversos submercados. Por un lado, los productores de electricidad, de calor (o frío), o de ambas cosas a la vez (aplicaciones finalistas). Por otro, los productores de combustibles sólidos (astillas, briquetas y pellets), es decir, las aplicaciones intermedias. A éstos deben añadirse los mercados demandantes de biomasa con fines no energéticos: la fabricación de tableros de madera, y la fabricación de pasta papelera. Estos dos subsectores pueden emplear maderas de diámetros reducidos, por lo que compiten por el recurso con los usos energéticos, de modo que serán los precios que cada subsector pueda pagar por la mate-

porque el estudio no especifica el año de las valoraciones, si bien gran parte de los datos a lo largo del informe están referidos a trabajos previos de 2008 y 2009.

ria prima los que determinen el destino final del recurso, influyéndose mutuamente todos ellos¹⁴.

Tabla 4

Costes orientativos de puesta en destino de biomasa forestal secundaria y recuperada

Tipo		Costes (€/t)
Biomasa forestal secundaria	Corteza	10,8 -13,8
	Serrines	27 - 33
	Viruta de pino y eucalipto	30 - 36
	Recortes	24 -28
	Serrín rojo	6 - 12
Madera recuperada	Residuos procedentes de palets, cajas y embalajes de madera, etc.	9

Fuente: Basada en datos de Freire *et al.*, (2008).

La industria del tablero está estrechamente conectada con los mercados de biomasa debido a su capacidad para absorber parte de la BFPR y de la biomasa secundaria. Según recoge la *Estrategia Española para el desarrollo del uso energético de la biomasa forestal residual* (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2009), el precio pagado por la industria del tablero estaría alrededor de los 37,5 €/t en condiciones normales de fabricación, puesto el recurso en planta (sin triturar). Por su parte, el *Plan regional de ámbito sectorial de la bioenergía de Castilla y León* (JCyL *et al.*, 2009) indica como referencia unos precios de adquisición de la madera para la industria de desintegración (tablero y pasta de papel) de entre 35 y 45 €/t.

En cuanto a la generación de electricidad, según la citada *Estrategia Española* e información procedente de promotores de centrales de generación eléctrica con biomasa forestal (subgrupo b.6.3 del R.D. 661/2007), los titulares de las plantas podrían llegar a pagar como máximo 42-50 €/t (para un PCI medio de 3.000 kcal/kg), por la BFPR puesta en planta. Por su parte, el *Plan Regional de Ámbito Sectorial de la Bioenergía de Castilla y León* (Junta de Castilla y León, 2009) señala que el precio de referencia de adquisición de la materia prima sólida puesta en planta en las condiciones de mercado en 2009 se situaba entre los 20 y los 40 €/t para las centrales de producción eléctrica, con la posibilidad de que usuarios térmicos, especialmente si tuvieran asignada cuota de emisión de CO₂, pudieran llegar a abonar precios en el intervalo de 45-60 €/t.

¹⁴ Es decir, bajos costes de generación de la biomasa no garantizan que su uso final sea energético si otras aplicaciones pueden ofrecer un precio más alto. Del mismo modo, una elevación general de los precios de la materia prima por su vinculación con mercados no energéticos puede compensar costes mayores de obtención de la biomasa haciéndola viable.

En cuanto a los precios de referencia de las aplicaciones intermedias, como la de fabricación de pellets, el mencionado plan de Castilla y León recoge un rango de precios de referencia de adquisición de la materia prima entre 20 y 50 €/t (según la calidad del pellet de destino). Por otro lado, debe recordarse que la biomasa forestal secundaria procedente de la industria de transformación de la madera es una importante fuente de recursos para la industria del pellet y del tablero. A título orientativo, los precios de serrines, leñas, astillas y virutas de diferentes especies (sobre todo pino, castaño y roble) destinados a la industria del tablero oscilaban en 2010 en Asturias entre 14-30 €/t¹⁵.

4.3. Viabilidad económica

La información recabada sobre precios pagados por los demandantes, presentada en el epígrafe anterior, junto con los costes totales de puesta en planta de la biomasa, permiten una aproximación a las condiciones de viabilidad económica del aprovechamiento de la BFPR en el norte español. Es decir, se trata ahora de contraponer los intervalos de precios de los mercados de destino con los costes de la biomasa, para extraer conclusiones acerca de qué tipo de tratamientos selvícolas, especies y condiciones del terreno generan costes compatibles con la movilización del recurso hacia los mercados de destino.

La Tabla 5 sintetiza todas estas variables. Los costes totales de la BFPR puesta en planta se han agrupado en cuatro intervalos: bajos (25-30 €/t), moderados (30-45 €/t), altos (45-65 €/t) y muy altos (65-90 €/t). Las diversas condiciones del terreno, sintetizadas en la pendiente, se dividen en: muy favorables (<25%), favorables (25-35 %), poco favorables (35-45 %), y desfavorables (45-65 %). Se incluyen las labores, especies y sistemas de trabajo que darían lugar a tales costes, señalándose los posibles mercados de destino en función de los precios observados compatibles con dichos costes totales. De la Tabla 5 se desprende lo siguiente:

- Costes bajos (25-30 €/t): constituye la franja de costes más reducida. Se obtiene para biomasa procedente de *cortas finales* de eucalipto, pino y chopo, empacada y en condiciones del terreno muy favorables (en esta horquilla se sitúa asimismo el *resalveo* de quercíneas en zonas de muy poca pendiente). Estos costes para la biomasa puesta en planta son competitivos para cualquiera de los mercados de destino: generación eléctrica, fabricación de pellets y astilla, fabricación de tableros de madera, y leñas. Otra interpretación posible es que para precios de mercado por debajo de 25-30 €/t puesta en planta, la biomasa forestal no se movilizaría, es decir, se dejaría en el monte al no cubrirse los costes de su producción.

¹⁵ Datos facilitados por FAEN (Fundación Asturiana de la Energía).

Tabla 5

Gradiente de costes/ precios y posible entrada al mercado de biomasa forestal primaria residual obtenida en el norte de España

Tipo de biomasa movilizad			Posibles mercados de destino
Tratamiento, especie y sistema de procesado	Condiciones del terreno	Costes	
Cortas finales de eucalipto/ chopo/ pino. Empacado	Muy favorables	Bajos: 25-30€/t	<ul style="list-style-type: none">• Generación eléctrica.• Fabricación de tablero, pellets y astilla.• Leñas.
Resalveos de quercíneas. Empacado			
Claras de pino/haya. Empacado	Muy favorables	Modera-dos: 30-45€/t	<ul style="list-style-type: none">• Generación eléctrica• Fabricación de tablero^(*) y pellets^(*)• Fabricación de astilla para usos térmicos• Leñas
Podas de chopo. Empacado			
Cortas finales de eucalipto/pino/castaño. Empacado	Favorables		
Cortas finales de pino. Empacado o en bruto	Favorables		
Claras de pino. Astillado			
Claras de quercíneas. Empacado			
Resalveo de quercíneas. Empacado	Favorables o poco favorables		
Cortas finales de eucalipto/chopo. Empacado	Poco favorables		
Cortas finales de diferentes especies de frondosas y coníferas. Astillado	Muy favorables	Altos: 45-65€/t	<ul style="list-style-type: none">• Generación eléctrica^(*)• Fabricación de astilla para usos térmicos^(*)• Leñas
Resalveo de quercíneas. Astillado	Favorables		
Claras de pino. Empacado	Poco favorables		
Cortas finales de pino/castaño. Empacado			
Podas de chopo. Empacado			
Cortas finales de pino. En bruto	Desfavorables		
Clareos de pino. Empacado	Muy favorables		
Claras de quercíneas/haya. Empacado	Poco favorables		
Cortas finales de pino. Empacado	Desfavorables		
Podas, resalveos y clareos de pino/quercíneas. Astillado	Favorables o poco favorables	Muy altos: 65-90€/t	<ul style="list-style-type: none">• Leñas.
Cortas finales de diferentes especies de frondosas y coníferas. Astillado o empacado	Desfavorables		

^(*) Mercados en los que el recurso estaría en el límite de viabilidad de entrada.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los trabajos analizados.

- Costes moderados (30-45 €/t): se alcanza para *cortas finales* de pino, eucalipto, chopo, castaño y haya, en terrenos favorables o muy favorables y tratamiento mediante empacado. Además, en el caso del eucalipto y el chopo se lograrían estos costes incluso en terrenos poco favorables. Igualmente se situarían en esta franja las *claras* de pino, haya y quercíneas en terrenos como mínimo favorables, así como las *podas* de chopo y los *resalveos* de quercíneas. Los precios observados para los mercados de destino compatibles con esta franja de costes serían claramente la generación eléctrica, la fabricación de astilla para usos térmicos y las leñas; y

estarían en el límite de la viabilidad los usos de fabricación de pellets y de tableros, en función de las condiciones concretas de precios de mercado de los productos finales.

- Costes altos (45-65 €/t): asociados a *cortas finales* y *claras* de diversas especies en terrenos poco favorables o desfavorables, mediante empacado; e incluso astillado en terrenos favorables o muy favorables de *cortas finales* y *clareos*, impediría probablemente el acceso del recurso a mercados como el de pellets o de astilla para generación eléctrica, y estaría en el límite de la viabilidad en el caso de la astilla de alta calidad para usos térmicos.
- Costes muy altos (65-90 €/t): esta franja de costes, vinculada a terrenos poco favorables o incluso favorables para las labores de *poda*, *resalveos* y *clareos* de diversas especies, y tratamiento con astillado; así como para el caso de *cortas finales* en condiciones de pendiente desfavorables, también para diferentes especies, hacen que los únicos mercados de destino viables sean los de leñas.

Se debe recordar que las valoraciones anteriores se basan en las condiciones de costes, precios y políticas públicas vigentes. Sin embargo, desde un punto de vista dinámico, estas condiciones pueden cambiar en función de, al menos, dos factores. Por un lado, las políticas públicas de apoyo en materia forestal y energética. Los análisis de costes considerados en este artículo son “de mercado”, ya que no incluyen subvenciones a la producción de la materia prima (que han puesto en marcha algunas comunidades autónomas), si bien en los precios pagados por los mercados de destino está implícito el marco regulatorio vigente hasta ahora para la generación eléctrica renovable (RD 661/2007). Sin duda, los cambios del marco de apoyo público forestal, así como del inestable marco regulatorio de las energías renovables, actualmente en proceso de reforma, pueden afectar a las condiciones de oferta y demanda futuras y, por tanto, a los costes, precios y condiciones de viabilidad económica.

Por otro lado, al tratarse de una tecnología no madura, existe un notable margen de reducción de costes mediante las economías de escala y las economías de aprendizaje, así como por los avances tecnológicos tanto en las fases de obtención y aprovechamiento de la materia prima como en la etapa final de usos térmicos y eléctricos. Este potencial de reducción de costes está recogido en la literatura, basándose en décadas de experiencia de países como Suecia o Finlandia, en los que los costes de recogida de residuos forestales disminuyeron un 15% cada vez que se duplicó la capacidad de producción entre 1975 y 2003 (Cerdá, 2012a). En general, el potencial en la reducción total de costes de producción de energía a partir de biomasa para el año 2020 estaría entre el 15% y el 40% (European Climate Foundation, 2010; IPCC, 2011).

5. CONCLUSIONES

Una de las primeras conclusiones que se desprende del análisis realizado es la relevancia que para los costes tienen los sistemas de trabajo y logística aplicados a la generación, manejo y transporte de la biomasa, los cuales, a su vez, estarán determinados por las características del terreno y de la masa arbolada, junto con el tipo de labor selvícola de la que se obtiene la biomasa. Particularmente, la pendiente del terreno y el tipo de intervención selvícola se muestran como las variables más relevantes para los costes. Los resultados analizados indican en este sentido que el umbral de pendiente determinante está en torno al 25%, de modo que es para pendientes inferiores a este umbral y para biomasa residual derivada de cortas finales y empacada para la que se obtienen las franjas de costes más bajas (especialmente para el caso del eucalipto, el pino y el chopo). El gradiente de costes va aumentando a medida que crece la pendiente y empeoran en general las condiciones del terreno, y a medida que se vincula a labores selvícolas con menor capacidad de generación de biomasa por unidad de superficie o de trabajo aplicado (claras, clareos, resolveos y podas). Se han observado igualmente diferencias relevantes en función de la especie arbórea predominante y de los ya mencionados sistemas de trabajo y manejo aplicados.

Los costes se han contrapuesto a las escasas fuentes de información sobre los precios pagados por los demandantes de biomasa forestal, es decir, las aplicaciones intermedias, las aplicaciones finalistas, y los otros usos no energéticos de la biomasa. El objetivo de este ejercicio es arrojar alguna luz sobre las condiciones de viabilidad económica de la explotación energética de la biomasa (la BFPR, especialmente). Las conclusiones al respecto indicarían que, en principio, la horquilla de costes bajos, la más favorable (en el entorno de 25-30 €/t de biomasa puesta en destino), asociada a las condiciones del terreno, labores, especies y sistemas de trabajo antes reseñados, sería competitiva para cualquiera de las aplicaciones. La biomasa con costes moderados (30-45 €/t) sería capaz de acceder a los mercados de generación eléctrica y de astilla para usos térmicos (además de las leñas), pero estarían en el límite para el caso de la fabricación de pellets y de tableros, al menos en las condiciones de mercado observadas en los últimos años para los precios de las aplicaciones finales. Para los costes altos (45-65 €/t) se convertiría probablemente en inviable el acceso del recurso a los mercados de fabricación de pellets o de astilla para generación eléctrica, y estaría en el límite para el caso de astilla de calidad con destinos térmicos. Por último, los costes muy altos (65-90 €/t) hacen inviable cualquier destino salvo probablemente el de algún mercado tradicional de leñas.

De todo esto se desprende que en las masas forestales del norte español en condiciones de aprovechamiento más desfavorables —una porción muy relevante de la superficie de las mismas seguramente—, la venta de BFPR no financiaría en muchos casos las labores selvícolas que la generan (salvo en algunos casos

para las cortas finales), al menos en las condiciones de mercado observadas en los últimos años. Esto podría justificar, si los decisores públicos consideran que los beneficios de mercado y las externalidades superan a los costes, la implantación de subvenciones por el lado de la demanda y/o de la oferta de biomasa, como de hecho existen en gran parte de las comunidades autónomas y en otros países europeos. En todo caso, si se concibe el aprovechamiento energético de la biomasa forestal como parte de una gestión activa integral y sostenible de los montes, éste puede contribuir, con ingresos periódicos, a maximizar el valor de los bienes y servicios, de mercado y en forma de externalidades, que pueden ofrecer las masas forestales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTTILA, P.; ASIKAINEN, A.; LAITILA, J.; BROTO, M.; CAMPANERO, I.; LIZARRALDE, I. AND RODRÍGUEZ, F. (2011): "Potential and supply costs of wood chips from forests in Soria, Spain", *Forest Systems*, 20 (2), pp. 245-254.
- ASEMFO (2010): *El papel de la biomasa forestal primaria en el nuevo PER 2011-2020*. Asociación Nacional de Empresas Forestales y Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. <http://www.asemfo.org/> [Último acceso: Noviembre 2011].
- ASIKAINEN, A.; LIIRI, H.; PELTOLA, S.; KARJALAINEN, T. y LAITILA, J. (2008): *Forest Energy Potential in Europe EU27*. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp069.htm>.
- BURGUILLO, M. y DEL RÍO, P. (2008): "La contribución de las energías renovables al desarrollo rural sostenible en la Unión Europea: pautas teóricas para el análisis empírico". *Información Comercial Española, Revista de Economía*, 845, pp. 149-165.
- CABRERA, M.; VERA, A.; CORNEJO, J. M.; ORDÁS, I.; TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; MARTÍNEZ, I.; VIGNOTE, S.; HOTAIT, N.; LAFARGA, A. y GARRAZA, J. A. (2011): *Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio técnico PER 2011-2020*. IDAE. <http://idae.electura.es/libros/516/> [Último acceso: Noviembre 2012].
- CÁMARA, A.; FLORES, M. y FUENTES (2011): "Análisis económico y medioambiental del sector eléctrico en España", *Estudios de Economía Aplicada*, 29(2), pp. 493-514.
- CANGA, E.; PRADA, M. y MAJADA, J. (2009): "Modelización de la biomasa arbórea y evaluación de rendimientos y costes en una clara de *Pinus pinaster* para la obtención de biomasa en Asturias". Comunicación presentada

- al 5º Congreso Forestal Español. *Montes y sociedad: saber qué hacer*, Ávila, 21-25 Septiembre.
- CERDÁ, E. (2012a): "Energía obtenida a partir de biomasa". *Cuadernos Económicos, Información Comercial Española*, 83, 1^{er} semestre, pp. 117-140.
- CERDÁ, E. (2012b): "La biomasa en España: una fuente de energía renovable con gran futuro". Documento de trabajo DT 01/2012, Fundación IDEAS. http://fundacionideas.es/sites/default/files/pdf/DT-La_biomasa_en_Espana-Una_fuente_de_energia_renovable_de_gran_futuro.pdf [Último acceso: Noviembre 2012].
- CIEMAT-CEDER (2008): *Plan de aprovechamiento energético de la biomasa en las comarcas de El Bierzo y Laciana (León)*. Memoria Ref. P7/282 para la Fundación Ciudad de la Energía.
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (2006): *Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento relativa a un Plan de acción de la Unión Europea para los bosques*, COM (2006) 302 final, http://ec.europa.eu/agriculture/fore/action_plan/com_es.pdf.
- COMISIÓN EUROPEA (2010): *Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo relativo a los requisitos de sostenibilidad para el uso de fuentes de biomasa sólida y gaseosa en los sectores de la electricidad, la calefacción y la refrigeración*, Bruselas, COM (2010) 11 final.
- COMISIÓN EUROPEA (2010b): *Libro Verde sobre protección de los bosques e información forestal en la UE: Preparación de los bosques al cambio climático*, Bruselas, COM (2010) 66 final.
- CONSEJO DE LA UE (1999): "Resolución del Consejo de la Unión Europea sobre una estrategia forestal para la Unión Europea", *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 26.02.1999, (DO 1999/C 56/01).
- DELACOTE, P. y LECOCQ, F. (2011): "Fuelwood, timber and climate change: Insights from forest sector modeling-An introduction", *Journal of Forest Economics*, 17(2), pp. 107-109.
- DEL ÁLAMO, C. (2007): "La economía del monte español". *Economistas*, 113, pp. 106-115.
- DEL RÍO, P. (2012): "Costes y diseño de los instrumentos de promoción de la electricidad renovable". *Cuadernos Económicos, Información Comercial Española*, 83, 1^{er} semestre, pp. 61-84.
- EUROPEAN CLIMATE FOUNDATION (2010): *Biomass for heat and power. Opportunity and economics*. <http://www.europeanclimate.org/> [Último acceso: Noviembre 2012].
- FOREST EUROPE, UNECE y FAO (2011): *State of Europe's Forests 2011. Status & Trends in Sustainable Forest Management in Europe*, Ministerial Conference on the Protection of Forest in Europe, Oslo.
- FREIRE, E.; CARBIA, J.; RODRÍGUEZ, A. y RODRÍGUEZ VALERO, M. R. (2008): "Aprovechamiento energético de la biomasa forestal residual". *Energía: Ingeniería Energética y Medioambiental*, 204, pp. 63-71.

- GÓMEZ MAMPASO, V. - TRAGSA (2008): "Trabajos de campo para la obtención de biomasa forestal". Curso de Verano "La biomasa forestal en España: situación actual y perspectivas de aprovechamiento", Universidad de Cantabria, Santander (28 de julio al 1 agosto).
- HAKKILA, P. (2006): "Factors driving the development of forest energy in Finland", *Biomass and Bioenergy*, 30(4), pp. 281-288.
- IPCC (2011): *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, capítulo 2 (Bioenergy). <http://srren.ipcc-wg3.de/report>. [Último acceso: Noviembre 2012].
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (2009): *Plan regional de ámbito sectorial de la bioenergía de Castilla y León*. Ente Público Regional de la Energía de Castilla y León (EREN) e Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITA-CyL). <http://www.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente>. [Último acceso: Noviembre 2011].
- MAGRAMA (2010): *Anuario de Estadística Forestal 2010*, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.magrama.gob.es>. [Último acceso: Noviembre 2012].
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1999): *Estrategia Forestal Española*. <http://www.magrama.gob.es>. [Último acceso: Noviembre 2011].
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2002): *Plan Forestal Español*. <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/montes-y-politica-forestal/estrategia-forestal-y-plan-forestal-espanol/pfe.aspx>. [Último acceso: Noviembre 2012].
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (2009): *Estrategia española para el desarrollo del uso energético de la biomasa forestal residual. Segundo borrador*.
- O.Ö. ENERGIESPARVERBAND y FUNDACIÓN ASTURIANA DE LA ENERGÍA, FAEN (2008): *Estudio de los factores de éxito para la penetración en el mercado de la calefacción por biomasa (incluyendo un análisis transnacional)*. <http://www.faan.es>. [Último acceso: Septiembre 2010].
- PROYECTO BIO-SOUTH (2007): *Análisis técnico-económico de la producción y uso de los biocombustibles para aplicaciones de calor y frío en el Sur de Europa*. Presentación del proyecto, CENER, Pamplona (24 y 25 de enero). <http://www.bio-south.com>. [Último acceso: Septiembre 2010].
- PROYECTO ENERSILVA (2007): *ENERSILVA – Promoción del uso de la Biomasa Forestal con fines energéticos en el suroeste de Europa (2004-2007)*. <http://www.enersilva.org/> [Último acceso: Septiembre 2011].
- QUIJANO, A. y RICO, M. (2011): "Contribución de la bioenergía al desarrollo sostenible del medio rural. Análisis para Castilla y León", *Estudios de Economía Aplicada*, 29(1), pp. 309-332.
- SANZ, F. y PIÑEIRO, G. (2004): "Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. Parte I: Situación actual y evaluación de sistemas de tratamiento", *Revista CIS-Madera*, 10, pp. 6-25.

- SCHWARZBAUER, P. y STERN, T. (2010): "Energy vs. material: Economic impacts of a "wood-for-energy scenario" on the forest-based sector in Austria. A simulation approach", *Forest Policy and Economics*, 12(1), pp. 31-38.
- TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; LAIÑA, R. y MARTÍNEZ, R. (2008): "Sistemas de aprovechamiento de la biomasa en Castilla y León. Las experiencias en curso", *Boletín del CIDEU*, 5, pp. 97-106.
- TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; LAIÑA R. y MARTÍN, M. (2009): *Diagnóstico y propuesta de acciones de promoción del tratamiento y aprovechamiento de la biomasa forestal como elemento dinamizador de la gestión forestal en la Comunidad Autónoma de Cantabria*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

