



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-143

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## **El aprovechamiento de biomasa residual y de cultivos energéticos: experiencias recientes y modelos de producción de biomasa forestal en montes gallegos**

**DOPAZO AMOEDO, R.<sup>1</sup>, VEGA NIEVA, D.J.<sup>1</sup>, ORTIZ TORRES, L.<sup>1</sup> y MARTÍNEZ CHAMORRO, E.<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> Cátedra ENCE. Contacto: EUET Forestal. A Xunqueira s/n. 36005. Pontevedra. España.

e-mail: [dopazo.raquel@gmail.com](mailto:dopazo.raquel@gmail.com); [danieljvn@gmail.com](mailto:danieljvn@gmail.com)

<sup>2</sup> Xunta de Galicia. Contacto: Benito Corbal, 47 8ª. 36071. Pontevedra. e-mail: [enrique.martinez.chamorro@xunta.es](mailto:enrique.martinez.chamorro@xunta.es)

### **Resumen**

El aprovechamiento energético de la biomasa aparece como una gran oportunidad para reducir la dependencia energética exterior y promover el desarrollo de un sector innovador con potencial indiscutible en nuestro país.

Recientemente se han llevado a cabo en España diversas experiencias en el aprovechamiento de biomasa forestal residual con distintas tecnologías de empacado y astillado, cuyos rendimientos y costes, en comparación con el aprovechamiento de un cultivo energético, se discuten en esta comunicación.

Con el fin de estimar el potencial de producción de biomasa, también se comparan los resultados de un reciente estudio de modelización de biomasa en eucaliptares jóvenes en alta densidad, procedentes de rebrotes, en el SO de Galicia y se comparan con otros modelos existentes de producción de biomasa forestal.

Los cultivos energéticos permiten ofrecer una garantía del suministro de una biomasa de calidad, así como una optimización de la logística, lo cual es imprescindible para hacer de este tipo de aprovechamientos una alternativa económicamente sostenible.

En esta contribución se valora el potencial de distintas especies como cultivo energético leñoso, distintos esquemas silvícolas y sistemas de aprovechamiento, así como estimaciones iniciales de la rentabilidad económica de este nuevo uso forestal.

### **Palabras clave**

Bioenergía, biomasa, cultivos energéticos.

### **1. Introducción**

Actualmente existe un creciente interés en la utilización de la biomasa, tanto residual, procedente de los tratamientos silvícolas, como de cultivos específicos, con fines energéticos. Esta tendencia debe continuar y aumentar si se desean alcanzar los ambiciosos objetivos fijados a nivel nacional para el año 2010, de llegar a 1.700 MW de potencia instalados a partir de plantas de biomasa, de los cuales un 40 % se prevé que provengan de cultivos energéticos, y alrededor de un 10% procedan de residuos de corta, según el PER (2005).

Teniendo en cuenta distintos estudios realizados sobre el potencial de recursos de residuos forestales, las Comunidades Autónomas de Castilla y León y Galicia parecen tener la mayor viabilidad de los proyectos de aprovechamiento de este tipo de biomasa, por poseer una gran actividad del sector forestal, ya que entre ambas superan el 40 % del potencial nacional de biomasa procedente de residuos forestales PER (2005). De hecho, existen importantes expectativas para la creación de numerosas centrales de biomasa en Galicia, que cuenta con las producciones potenciales forestales más elevadas de Europa. Las estimaciones iniciales de la biomasa residual forestal producida en los montes gallegos se cifran en 995.000 toneladas anuales (SANZ Y PIÑEIRO, 2003; ENERSILVA 2007; AFG, 2006). Sin embargo, consideraciones económicas y la dificultad de asegurar una producción estable de este tipo de



biomasa en cantidades suficientes, parecen encaminar el futuro de este emergente sector basándose en gran medida en la implantación de cultivos energéticos, ampliamente introducidos en países como Suecia y, más recientemente en Inglaterra e Italia, que suponen una garantía de sostenibilidad de suministro y optimización de la logística de aprovechamiento (VEGA *et al.*, 2008 a).

En este sentido, ya que la estimación del potencial del suministro es clave para asegurar la sostenibilidad tanto económica como medioambiental de este tipo de proyectos, se comparan en esta comunicación varios modelos existentes de producción de biomasa forestal para nuestro territorio y se muestran además los resultados de un reciente estudio en modelización de biomasa en eucaliptares jóvenes rebrotados en el SO de Galicia a alta densidad (15-40000 pies/ha), haciendo especial hincapié en la distribución de biomasa por fracciones y en sus implicaciones en la calidad de combustión para su uso energético.

Los problemas que plantea la manipulación y uso energético de la biomasa forestal son su elevado contenido de humedad y su baja densidad aparente, que dificulta y encarece el transporte (SANZ y PIÑEIRO, 2003). Por este motivo, es necesario procesar el material con alguna de las tecnologías que se describen a continuación, con el objeto de reducir su tamaño previamente a su consumo en las calderas de combustión.

## 2. Aprovechamiento de biomasa forestal residual

Se han llevado a cabo en España varias experiencias de seguimiento de aprovechamientos reales de biomasa con fines energéticos siguiendo distintos sistemas, que se pueden reducir básicamente a tres opciones: astillado en pista, astillado en monte y empacado en monte con posterior astillado en planta.

La tendencia a emplear equipos de astillado, preferentemente en cargadero, es creciente, con la excepción de los montes que cuentan con una fisiografía más favorable y donde los residuos están más concentrados (ej. choperas), en las que es normal que las máquinas entren en el monte (TOLOSANA *et al.*, 2008a).

El astillado a borde de pista requiere una concentración previa de los residuos mediante un autocargador para abaratar el coste del desembosque, a la vez que permite un primer secado de la biomasa. La maquinaria necesaria es una astilladora semimóvil, que posee un motor propio de elevada potencia, y deposita la astilla producida en un contenedor independiente que posteriormente se transporta a planta mediante camiones (VELÁZQUEZ, 2006). Según el IDAE (2007) es el sistema más económico en montes grandes. De hecho, en los países nórdicos es la opción predominante frente a la alternativa de astillado móvil (TOLOSANA *et al.*, 2008a).

El astillado en monte se realiza con astilladoras móviles de menor tamaño, normalmente acopladas en el chasis de un autocargador, que remolca un contenedor de astillas y porta una grúa hidráulica que realiza la alimentación de la astilladora. Para obtener mejores rendimientos, los residuos deben estar agrupados en pequeños montones, siendo el mayor inconveniente del astillado móvil que su uso debe quedar reducido a lugares con buen acceso viario (ENERSILVA, 2007).

El sistema de empacado se basa en reducir el volumen de los residuos para formar unidades de elevada densidad, que pueden ser manejadas por maquinaria forestal convencional (VELÁZQUEZ, 2006).

Este sistema permite optimizar el almacenamiento y transporte de la biomasa, siendo el más recomendado para grandes cantidades de biomasa y grandes distancias de transporte (IDAE, 2007), estando limitado por la pendiente de los terrenos (ENERSILVA, 2007) y por el

elevado coste que supone el uso de la maquinaria, 98 €/h (ALMAGRO *et al.*, 2002), que no aporta valor añadido a la biomasa, ya que necesita un posterior astillado en planta (TOLOSANA *et al.*, 2008a). Aunque existe maquinaria de empacado desarrollada en España, la mayoría es de origen escandinavo, si bien actualmente el uso de empacadoras en países nórdicos está decayendo en favor del astillado.

El CIS-Madera ha realizado en Galicia una serie de pruebas de recogida y tratamiento de residuos en monte en masas de *P. pinaster* y *E. globulus*, con el fin de evaluar los distintos sistemas de aprovechamiento. Partiendo de tres situaciones diferentes según la localización inicial de los restos; dispersos por la parcela (situación 1), agrupados en pequeños montones (situación 2) y agrupados en grandes montones a pie de pista (situación 3), se observó que los amontonados permiten obtener mayores rendimientos y menores costes en su posterior recolección, como se observa en la tabla 1.

Se realizaron pruebas de recogida y apilado con tractor forestal de restos de pino y eucalipto, para contar con parcelas representativas de la situación 3, donde se obtuvieron rendimientos de 3,2 y 4,0 t.m.verde/h respectivamente (partiendo de la situación 1) y unos costes correspondientes de 8,4 y 6,8 €/t.verde.

Las humedades de las especies en el momento del aprovechamiento, los rendimientos obtenidos en la recolección con distinta tecnología y su coste, sin incluir transporte a fábrica, se muestran en la tabla 1 (costes año 2002). Los restos amontonados favorecen el secado de la biomasa en campo, lo que redonda en unos menores costes de transporte (al llevar menos agua por camión) y reduce la necesidad de un posterior secado en planta.

Tabla 1. Resumen de las experiencias del CIS-Madera en Galicia (SANZ Y PIÑEIRO, 2003). (Sit: situación)

Tratamiento	Situación		Rendimiento	Coste de recolección (€/t m. verde)
	Especie	H (%b.h)	Toneladas (m.verde)/h	
Astilladora Chipharvester Bruks 803 CT sobre autocargador Valmet 892 (distancia desembosque = 300m)	Pino-sit.2	35	10,7	8,9
	Pino-sit.3	31	14,0	6,8
	Eucalipto-sit.1	47	9,0	10,6
	Eucalipto-sit.3	26	12,6	7,6
Astilladora Pezzolato PHT 1200	Pino-sit.3	31	13,6	7,6
Compactadora Fiberpac 370 B sobre autocargador Timberjack 1210 B	Pino-sit.2	35	9,6	8,3
	Pino-sit.3	31	9,3	8,6
	Eucalipto-sit.1	47	9,9	8,0
	Eucalipto-sit.3	26	13,1	6,1
Compactadora Balapress	Pino-sit.3 (prod.media)	31	3,4	28,8
	Pino-sit.3 (prod.máx.)	31	4,9	20,0

Estos resultados se actualizaron a precios de 2007 (PEDRAS, 2008), incorporando asimismo una estimación de los costes de transporte; considerando una organización óptima de las operaciones de recogida y preparación de la biomasa y una distancia de transporte de 100 km., el rango de costes de la biomasa residual puesta en planta se situaría entre 23-28 €/tonelada verde para el astillado en campo con chipharvester y entre 27-32,8 €/tonelada verde para la recogida con Fiberpac y astillado en planta, como se muestra en la tabla 2. Estos costes no incluyen beneficio industrial ni costes indirectos.

Tabla 2. Sistemas de mayor rendimiento en las experiencias de Cis-Madera en Galicia (PEDRAS, 2008).

Tratamiento	Costes de biomasa forestal puesta en planta (€/t mat.verde)			
	Recogida	Transporte a planta (100 km)	Astillado en planta	Coste total
Astilladora Chipharvester Bruks 803 CT sobre autocargador Valmet 892 (distancia desembosque = 300m)	11,9-14,5	11-13,5	-	23-28
Compactadora Fiberpac 370 B sobre autocargador Timberjack 1210 B	13,5-16,5	10-12	3,5-4,5	27-33

Por su parte, la Universidad Politécnica de Madrid en colaboración con CESEFOR (TOLOSANA *et al.*, 2007, 2008b) realizaron un seguimiento similar en Castilla y León de aprovechamiento de biomasa en diferentes tipos de corta para los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Populus*, con diferentes sistemas de extracción, cuyos resultados se muestran en la tabla 3. El coste está expresado en €/t verde puesta en fábrica, incluyendo beneficio industrial y costes indirectos.

Tabla 3. Experiencias de aprovechamiento de biomasa forestal en Castilla y León.

Tratamiento	Situación		Coste (€/t. mat. verde)	Dist. a fábrica (km)
	Especie	H(%b.h)		
Saca de árbol completo y astillado fijo en cargadero	Q. pyrenaica	42	54	100
	P. silvestris	56,2	34,2	40
Saca de restos y astillado fijo en cargadero	Chopo	45,5	40,9	100
Astillado móvil en monte	P. pinaster	35	27,4	40
Empacado y astillado en fábrica *	Chopo	50	38	50
	Pino	50	33-47 según tecnología	140-50

\* Experiencias forestales realizadas por ANFTA (Asociación nacional de fabricantes de tableros) en otros lugares.

También el proyecto europeo ENERSILVA, cuyo objetivo es dinamizar el aprovechamiento energético de la biomasa forestal primaria entre los propietarios forestales del sur de Europa, ha analizado las variables que inciden en dicho aprovechamiento, concretamente en montes de Galicia, País Vasco, Cataluña, Portugal y Francia, para los géneros *Pinus*, *Eucalyptus*, *Quercus*, *Castanea* y *Populus*. Según este proyecto, los costes de aprovechamiento y transporte de la biomasa forestal oscilan para España entre 41 y 95 €/t (26% H b.h.) dependiendo del tipo de aprovechamiento y de las diferencias de precios de los trabajos de unas regiones a otras, pudiendo reducirse en cuanto se mejore la tecnología y se introduzca maquinaria de alto rendimiento.

Para Galicia, dicho coste oscila entre 41 y 85 €/t (26% H b.h.) puesta en planta considerando una distancia de transporte de 30 km, incluyendo beneficio industrial y costes indirectos (ENERSILVA, 2007). Según (Tolosana *et al.* 2007, 2008b), las mejoras en la tecnología y la optimización de la logística tienen un gran potencial para aumentar los rendimientos y reducir los costes en el aprovechamiento de la biomasa residual, siendo necesario realizar más experiencias de investigación que orienten el potencial del aprovechamiento de biomasa residual forestal de una manera sostenible.

### 3. Manejo y aprovechamiento de cultivos energéticos

Las especies destinadas a fines energéticos deben poseer ciertas características, siendo fundamental un rápido crecimiento, buena capacidad de rebrote, tolerancia a altas densidades, resistencia a plagas y enfermedades, así como una buena calidad de su biomasa en combustión. Si bien la preparación del terreno para la plantación permite la utilización de maquinaria agrícola convencional, tanto la implantación, mediante estaquillas, como la cosecha de los cultivos se realiza con maquinaria específica (i.e. PARI, 2007).

Las especies de los géneros *Salix* y *Populus* son las más utilizadas en todo el mundo como cultivo energético, por contar con una amplia selección de variedades mejoradas genéticamente. En el Norte y Centro de Europa, el cultivo energético de sauce es el más utilizado, habiendo en Suecia más de 15.000 has en alta densidad y turnos de 2-3 años destinadas a la producción de astilla para abastecer centrales de biomasa, 5.000 has en Inglaterra, donde se ha favorecido recientemente la implantación de este cultivo para bioenergía con el establecimiento de ayudas que cubren la mitad de los costes de plantación, y también en N. América, donde se ha desarrollado un ambicioso programa de mejora genética de sauce para bioenergía seleccionado por sus características óptimas para combustión, con producciones de más de 20 t.m.s./ha/año en turnos de 2-3 años (LABRECQUE & TEODORESCU, 2005).

En España, el sauce puede tener un gran potencial en el Norte de la Península, donde contamos con una abundante presencia de *Salix viminalis*, principalmente utilizado como material parental de las variedades empleadas en Suecia e Inglaterra (LARSSON, 2001), y cuyo potencial en Galicia debería de ser explorado. A diferencia del chopo, el sauce presenta su mayores rendimientos en turnos más reducidos, de 2-3 años (KAUTER *et al.*, 2003), lo que permite utilizar astilladoras-cortadoras de altos rendimientos que no son viables en turnos más largos por alcanzarse diámetros excesivos (>10 cm).

El chopo, por su parte, presenta un mayor potencial para el Sur de Europa, existiendo 5.000 has de cultivo energético de chopo recientemente implantadas en Italia, con turnos de 1-2 años, habiendo también importantes experiencias en el centro de Europa con turnos de 5 años y densidades de 5.000-10.000 pies/ha (i.e. KAUTER *et al.*, 2003; SIXTO *et al.*, 2007) y en Estados Unidos (i.e. DE BELL *et al.*, 1996).

En España, el CIEMAT ha realizado varios ensayos con cultivo energético de chopo, que han reportado buenos resultados a densidades de 5.000-10.000 pies/ha y turnos de 4-6 años utilizando diversos clones (Ciria *et al.* 1995, 1996, 2006; San Miguel y Montoya 1984), y habiendo encontrado máximas producciones con los turnos más largos.

Otras especies utilizadas en menor medida son el *Eucalyptus sp.*, *Paulownia*, *Acacia sp.*, *Robinia pseudoacacia*, o *Ulmus pumila*. En las publicaciones VEGA-NIEVA *et al.*, (2008a, 2008b) se puede encontrar más información sobre el manejo y resultados recientes en la investigación de cultivos energéticos leñosos.

Con respecto al sistema de aprovechamiento, es clave considerar las posibilidades de secado en campo de troncos o astillas, así como los costes de transporte asociados a cada alternativa. GIGLER (1999) realizó un estudio económico comparativo de diferentes alternativas de suministro de astillas, trozas o troncos de cultivo energético de sauce, encontrando que el coste total de producción, aprovechamiento y transporte de la biomasa osciló entre 17,6 y 26,1 €/t.(m.s) puesta en planta, suponiendo la elección de la cadena de suministro de mínimo coste un ahorro del 45%, de 14,4 €/t.(m.s).

Si bien los análisis de viabilidad de cultivos energéticos en España son escasos, (MARCOS *et al.*, 2004) compararon la rentabilidad de un cultivo energético en alta densidad



(33.000 pl/ha) y corta rotación (2 años), considerando un ciclo del cultivo de 8 años, con un cultivo tradicional de chopo para producción de madera, con turno de 12 años.

En este estudio se observaron índices de rentabilidad económica a partir de producciones de 21 t/ha (m.s). La productividad media del chopo en corta rotación fue de 22,46 t/ha (m.s), rentable por tanto, sin embargo, los resultados de este estudio muestran un mayor rendimiento económico para el cultivo tradicional de chopo, pero con el inconveniente de una recuperación de la inversión más lenta, ya que los cultivos energéticos permiten ingresos cada dos años, sin olvidar además los efectos positivos que éstos tienen en cuanto a la fijación de CO<sub>2</sub> se refiere (MARCOS *et al.*, 2004).

Por otra parte, GASOL *et al.*, (2008) han estudiado, también en España, la viabilidad del cultivo energético de chopo de media rotación (5 años), considerando un ciclo de 16 años. En este estudio se consideraron dos sistemas de aprovechamiento: cosecha de árbol entero con posterior almacenamiento en campo y obtención directa de astillas en campo. Partiendo de una humedad de la biomasa del 50 % b.h. en el momento de la corta, el sistema de árbol entero permite un secado en campo hasta un 20 % H b.h., que se traduce en unos menores costes de transporte, debiendo realizar el astillado en planta, mientras que cuando la biomasa se astilla directamente en campo, el transporte de astillas se realiza con un 50 % H b.h., debiendo conseguir el secado en planta. La tabla 4 resume los costes de este estudio, considerando una distancia máxima de transporte a fábrica de 30 km.

Los mismos sistemas de aprovechamiento se han evaluado en Italia para turnos más cortos (2 años). Considerando una producción media de 13 t/ha/año (m.s), los costes obtenidos en este estudio fueron de 19,2-30,8 €/t.m.verde para la obtención directa de astillas y entre 18,9-34,6 €/t.m.verde para la corta y posterior astillado en planta, indicando como sistema más económico para grandes producciones de biomasa (>20 t.m.s/ha) el de astillado en campo, por alcanzar mayores rendimientos (SPERANDIO, 2007).

Tabla 4. Costes total de biomasa de cultivo energético de chopo en planta (GASOL *et al.*, 2008).

Producción de biomasa t/ha/año (m.s)	Sist. de aprovechamiento	Coste total de producción y corta (€/t.m.verde)	Coste de transporte (€/t.m.verde)	Coste astillado (€/t.m.verde)	Coste total (€/t.m.verde)
20	Árbol entero	4,8	2,93	2,26	9,99
	Astillas	5,2	4,24		9,44
15	Árbol entero	6,4	2,93	2,26	11,59
	Astillas	7,0	4,24		11,24
13,5	Árbol entero	7,3	2,93	2,26	12,49
	Astillas	7,7	4,24		11,94
9	Árbol entero	10,9	2,93	2,26	16,09
	Astillas	11,6	4,24		15,84

Los resultados de la tabla 4 ilustran tanto el potencial de la plantación de cultivos dedicados exclusivamente a la producción de biomasa que optimicen la logística del aprovechamiento y abastecimiento a planta, como el papel clave de la productividad que se obtenga con estos cultivos en la rentabilidad del aprovechamiento y la planificación de la cantidad y calidad del suministro de biomasa. En esta línea, se discutirán en la siguiente sección de esta comunicación los resultados en la comparación de modelos de predicción de biomasa existentes para el NW de España, así como los resultados de un reciente estudio en la

modelización de la producción de eucaliptares jóvenes rebrotados tras incendio a alta densidad en la región gallega.

#### 4. Comparación de los modelos de predicción de biomasa de eucalipto en la comunidad gallega. Estudio de la producción de biomasa en eucaliptares rebrotados tras incendio a alta densidad en la provincia de Pontevedra, NW España.

La elección del turno más adecuado, y una adecuada planificación de un aprovechamiento sostenible de la biomasa, debe estar basada en estimaciones realistas de la producción potencial de biomasa forestal residual o en un cultivo energético.

Más allá de predecir la producción total de biomasa, es clave conocer su distribución en distintas fracciones, dada las implicaciones que la presencia de nutrientes en las fracciones más finas, hojas y ramillos supone en la calidad de la combustión de la biomasa (i.e. KAUTER *et al.*, 2003) y sostenibilidad nutricional (i.e. MERINO *et al.*, 2005).

Se comparan a continuación las predicciones de los modelos de producción de biomasa forestal de los estudios de MERINO *et al.* (2005) y ALVAREZ *et al.* (2005), en eucaliptares maduros y extramaduros en A Coruña y Pontevedra, y BRAÑAS *et al.* (2000), en eucaliptares jóvenes de Lugo y Asturias (Tabla 5 y Figura 1). Puede observarse en la Figura 1 cómo las ecuaciones de MERINO *et al.* (2005), escogidas por SANZ y PIÑEIRO (2003) en su publicación en la revista CIS-MADERA como representativas de la producción de biomasa residual en eucaliptares gallegos, ofrecen una estima más conservadora que las del estudio de ALVAREZ *et al.* (2005), y a su vez generalmente exceden los valores predichos por las expresiones de BRAÑAS (2000) derivadas en eucaliptares más jóvenes, si bien, como se muestra en los detalles, esta tendencia se invierte en los diámetros más reducidos, de menos de 15 cm. Este intervalo diamétrico es clave para el esquema de cultivo energético por recepe en cortas rotaciones sucesivas de 2 a 3 años para eucaliptos y sauces y 4 a 5 años para chopos (i.e. SIXTO *et al.*, 2007; VEGA *et al.*, 2008a, 2008b) en altas densidades de 10.000 a 40.000 pies/ha (i.e. CIRIA *et al.*, 2006), que frecuentemente se basa en la utilización de un esquema de cortadora-astilladora limitada a diámetros <10 cm (i.e. KAUTER, 2003; PARI, 2008).

Tabla 5. Características de eucaliptares estudiados en BRAÑAS *et al.* (2000) y MERINO *et al.* (2005) y el presente estudio.

Estudio	Provincias	Pendiente	Litología	Edad (años)	N (pies/ha)	Dn (cm)	Ht (m)
Brañas <i>et al.</i> (2000)	Lugo y Asturias	5-25%	Sedimentos, Cuarcitas, Esquistos y Pizarras	6-18	750 - 1.700	6,5 - 30	10-26
Merino <i>et al.</i> (2005)	A Coruña y Pontevedra	3-30%	Anfibolita, Gneis y Granitos	13-24 (2º y 3er turno)	1.150 - 2.400	13-23	19-29
Presente estudio	Pontevedra	15-50%	Granitos	2º rebrote consecutivo de 2 años	11.500 - 44.800	<10	<10



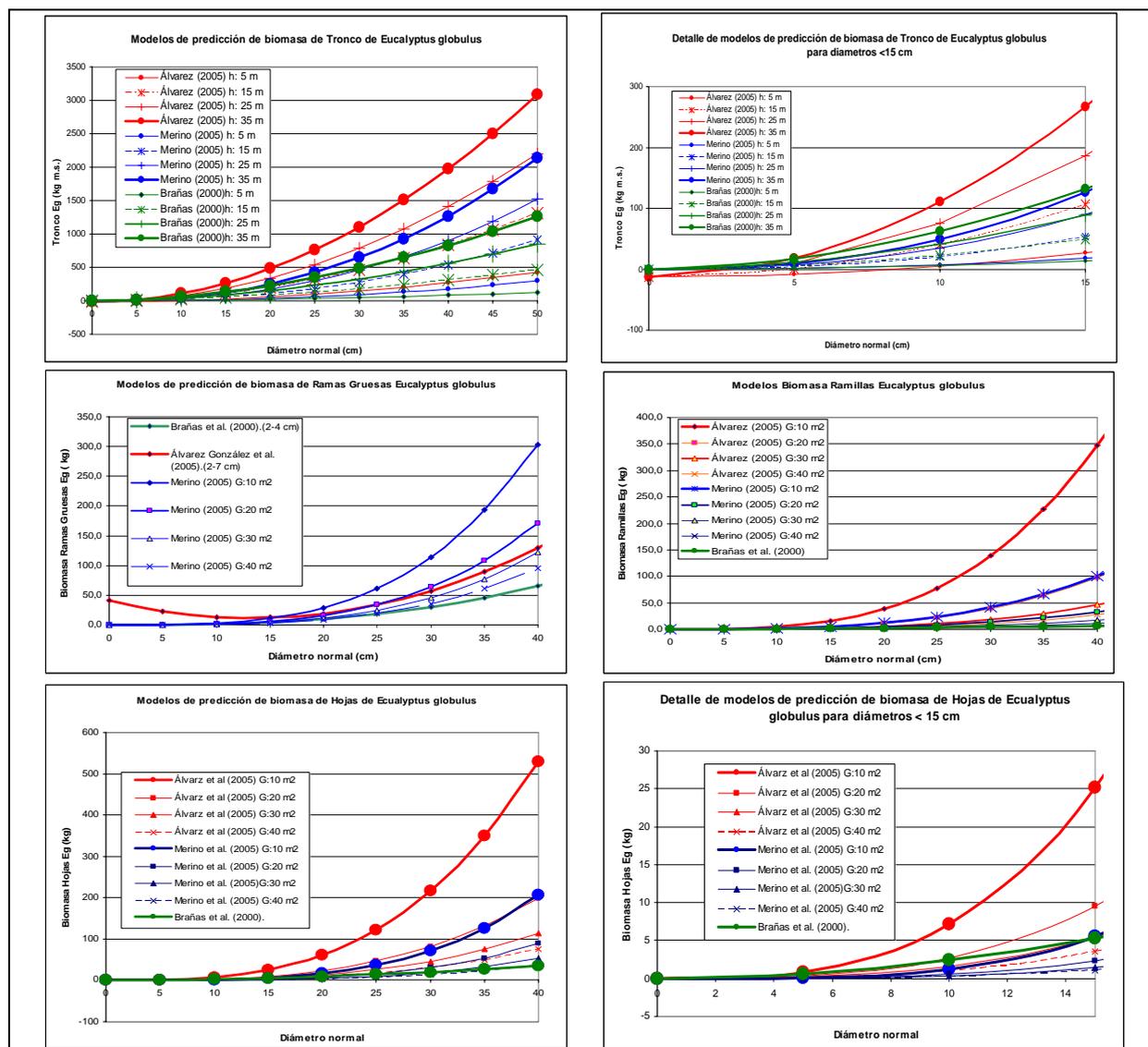


Figura 1. Comparación de los modelos de predicción de distintas fracciones de biomasa en eucaliptares gallegos de ALVAREZ et al. (2005), MERINO et al. (2005) y BRAÑAS et al. (2000).

El estudio de BRAÑAS (2000) fue realizado en masas a densidades y turnos convencionales. No existe, sin embargo, información sobre la distribución de biomasa y su modelización en eucaliptares rebrotados a alta densidad en cortas rotaciones (i.e. 2-5 años, en esquema de cultivo energético- i.e. SIMS et al., 2001 SIXTO, 2007, VEGA et al., 2008a&b-) en Galicia. En colaboración con la empresa pública SEAGA, que realizó durante la primavera del 2008 un trabajo de aprovechamiento de la biomasa de rebrotes de 2 años en montes de la provincia de Pontevedra, se realizó un estudio de la modelización de biomasa y su distribución en eucaliptares jóvenes rebrotados a alta densidad. Las características de las masas estudiadas pueden encontrarse en la tabla 1. Los detalles y la metodología del estudio se pueden encontrar en VEGA-NIEVA (2008c).

En la figura 2 se comparan las producciones de biomasa por fracciones obtenidas en 10 parcelas de inventario de 10 x 10 m. del monte de Viascón (Pontevedra), con las predichas con los modelos de BRAÑAS (2000) y MERINO et al. (2005). La figura 3 resume las densidades (brotes/ha) y áreas basimétricas (m<sup>2</sup>/ha) de las 10 parcelas de inventario.

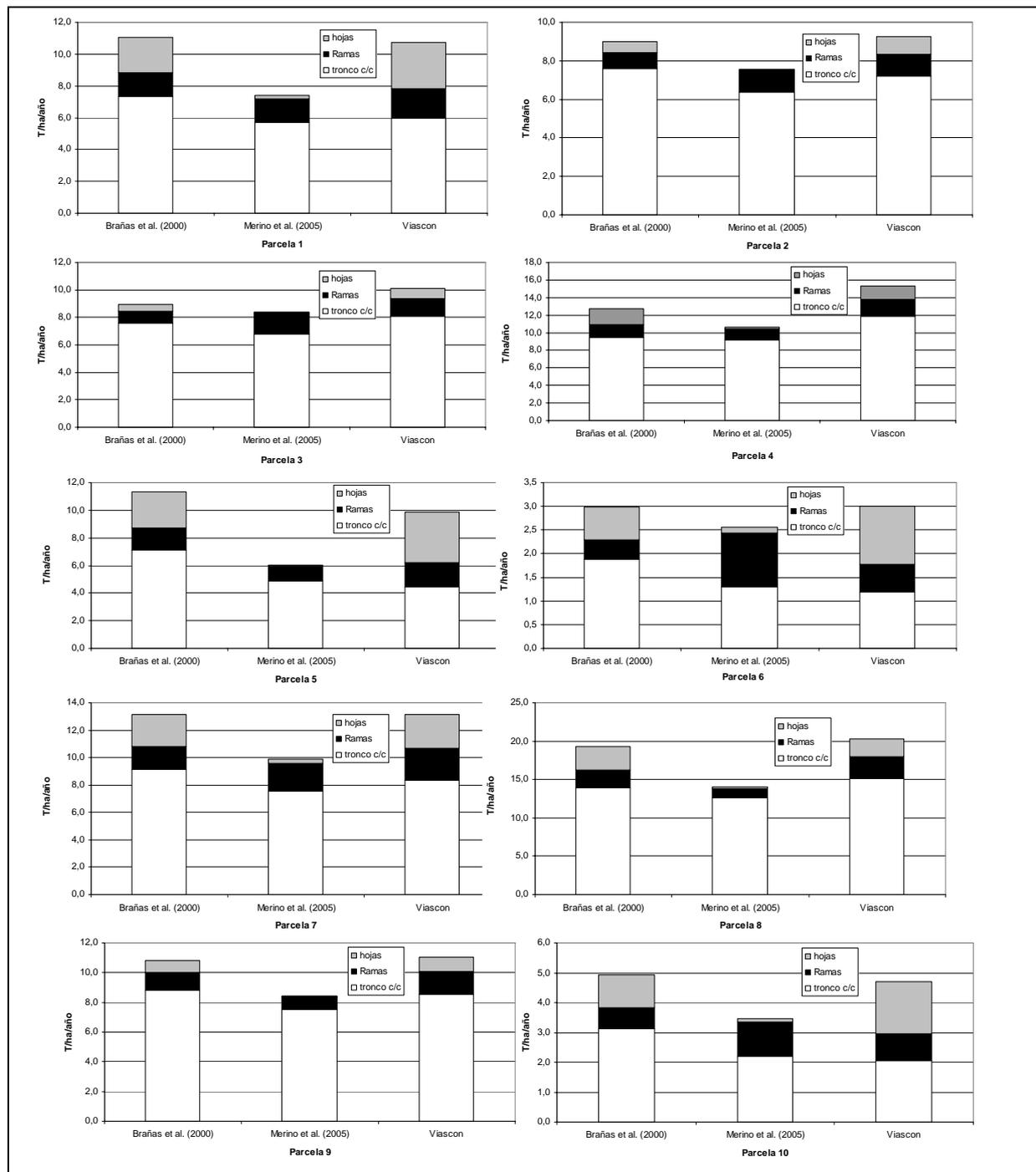


Fig. 2. Comparación de la distribución de producción de biomasa (Ton m.s.) de eucaliptos en 10 parcelas del monte de Viascón, Pontevedra, con la distribución predicha por los modelos de BRAÑAS et al (2000) y MERINO et al.(2005).

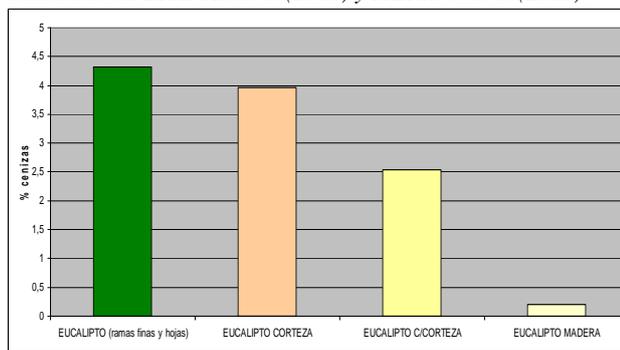
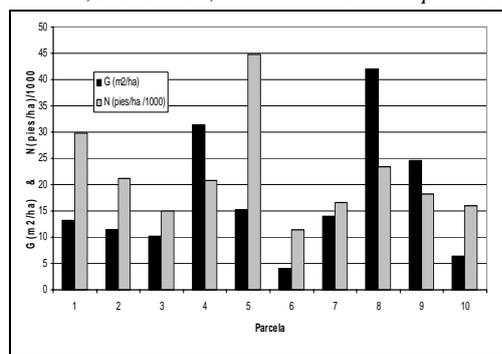


Fig.3. Área basimétrica y densidad de las 10 parcelas Fig. 4. Porcentaje promedio de cenizas en fracciones de *E.globulus*

Los resultados de la figura 2 ilustran las diversas precisiones de las ecuaciones disponibles para el NW de España en las distintas fracciones para distintos valores de densidades y áreas basimétricas: las ecuaciones de BRAÑAS (2000) y, especialmente, las de MERINO *et al.* (2005), que, como se discutió en la figura 1, para diámetros reducidos, presenta estimaciones más conservadoras, parecen modelar razonablemente bien la producción de biomasa en los troncos del monte de Viascón, a pesar de que estas ecuaciones fueron derivadas para predecir la biomasa maderable de  $>7$  cm y  $> 4$  cm para MERINO *et al.* (2005) y BRAÑAS (2000), respectivamente. Con respecto a la predicción de la biomasa alocada en las ramas, las ecuaciones de BRAÑAS (2000) subestiman cerca de un 25% la producción de las parcelas de Viascón, mientras que las expresiones de MERINO *et al.* (2005) parecen otorgar un papel excesivo al área basimétrica G. Las mayores desviaciones se encontraron en las predicciones de la biomasa de hojas, siendo especialmente marcado para las ecuaciones de MERINO *et al.* (2005), que subestiman en algo más de un 100% el peso de hojas, probablemente debido a una mayor alocación de biomasa en la fracción de hojas en los brotes jóvenes de este monte; mientras que para el modelo de BRAÑAS (2000), la ausencia de un parámetro explicativo del efecto del área basimétrica G resulta sub y sobreestimaciones de un 40% en el valor de la biomasa de hojas acumuladas en parcelas de G más reducida (parcelas 2,3,6,10) y elevada (i.e. 8,  $G=42$  m<sup>2</sup>/ha), respectivamente.

## 5. Conclusiones

Existen numerosas iniciativas para el aprovechamiento energético de la biomasa en nuestra nación, como una oportunidad para rentabilizar aprovechamientos silvícolas y poner en valor terrenos con un nuevo uso del suelo. Esfuerzos en mecanización, selección de especies, determinación de selvicultura, y herramientas de planificación se necesitan para desarrollar este potencial en una nueva oportunidad para valorizar nuestro sector forestal.

## 6. Agradecimientos

Los autores querrían expresar su agradecimiento a Cátedra ENCE por el apoyo económico para el presente estudio, y al personal de la empresa SEAGA, por su colaboración en el estudio del potencial de biomasa de eucaliptares gallegos rebrotados tras incendio.

## 7. Bibliografía

AFG (Asociación Forestal de Galicia). 2006. Atlas de la biomasa forestal primaria en bosques cultivados de Galicia. Proyecto Biorreg-Floresta. Evaluación de las potencialidades de los recursos renovables. 12 p.

ALMAGRO C.; TOLOSANA E.; AMBROSIO Y.; FERNÁNDEZ B.; VIGNOTE S. 2002. El estado actual de la gestión de los residuos forestales en España. Organización Galega de Comunidades de Montes Veciñais en Man Común (ORGACMM). En: [www.orgacmm.org/xTEIMAS/TEIM-17\\_DESENVOLVEMENTO/TEIM-17.htm](http://www.orgacmm.org/xTEIMAS/TEIM-17_DESENVOLVEMENTO/TEIM-17.htm)

ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G; MERINO, A.; BALBOA, M.A.; y RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R. 2005. Estimación de la biomasa arbórea de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia. Recursos Rurais 1:21-30.

BRAÑAS, J.; GONZÁLEZ-RÍO, F.; SOALLEIRO, R.; y MERINO, A. 2000. Biomasa Maderable y no Maderable en Plantaciones de Eucalipto. Cuantificación y estimación. Revista CIS-Madera 4: 72-75.

CIRIA, M. P.; MAZON, P.; CARRASCO, J.; FERNANDEZ, J. 1995. Effect of rotation age on the productivity of poplar grown at high plantation density. In: Chartier P. *et al.*, editors. Biomass for energy, environment, agriculture and industry (Proceedings of the Eighth European Biomass Conference, Vienna, Austria, 1994). Oxford: Pergamon, 1995. 489-494.

CIRIA M.P.; GONZÁLEZ E.; MAZÓN P.; CARRASCO J.E. 1996. Influence of the rotation age and plant density on the composition and quality of poplar biomass. Biomass for energy and the environment. 9th European Bioenergy Conference & 1st European Energy from biomass technology exhibition. Vol II, pp. 968-973.

CIRIA, M.P. 2006. La Producción de Chopo con fines energéticos en España. *In*: I Congreso Internacional de Bioenergía. La Bioenergía, una oportunidad, una necesidad. Valladolid. Spain. 18-20 October 2006.

DE BELL, D.; CLENDENEN, G.; HARRINGTON, C.; ZASADA, J. 1996. Tree growth and stand development in short rotation populus plantings: 7 years results for two clones at three spacings. Biomass and Bioenergy 11(4): 253-269.

ENERSILVA. 2007. Promoción del uso de la biomasa forestal con fines energéticos en el Suroeste de Europa (2004-2007). Proyecto Enersilva. 44 p.

GASOL, C.; MARTÍNEZ S.; RIGOLA, M.; RIERADEVALL, J.; ANTÓN, A.; CARRASCO, J.; CIRIA, P.; GABARRELL, X. 2008. Feasibility assessment of poplar bioenergy systems in the Southern Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews: 12p.

GIGLER, J.; MEERDINK, G.; HENDRIX, E. 1999. Willow supply strategies to energy plants. Biomass and Bioenergy 17 (3):185-198.

IDAE. 2007. Biomasa: Cultivos energéticos. 50 p. Madrid.

KAUTER, D.; LEWANDOWSKI, I.; CLAUPEIN, W. 2003. Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use - a review of the physiological basis and management influences. Biomass and Bioenergy 24(6): 411-427.

LABRECQUE, M.; TEODORESCU, T. 2005. Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada). Biomass and Bioenergy 29(1): 1-9.

LARSSON, S. 2001. Commercial varieties from the Swedish willow breeding programme. Aspects of Applied Biology 65:193-198.

MARCOS F.; GARCIA F.; VILLEGAS S. 2004. Economic analysis of short rotation poplar crops in west central Spain. In: Biomass and Bioenergy Production for Economic and Environmental Benefits. Charleston, South Carolina. 7-10 November 2004.

MERINO, A.; BALBOA, M.A.; RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G. 2005. Nutrient exports under different harvesting regimes in fast-growing forest plantations in southern Europe. Forest Ecology and Management 207: 325-339.

PARI, L. 2007. La logistica delle SRF: situazione attuale e prospettive future. *In: FORLENER 2007. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura. Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola. Biella 27-30 September 2007.*

PEDRAS, F. 2008. Xestión e mecanización da biomasa forestal. Experiencias en Galicia. Santiago de Compostela, 23 de Enero de 2008.

PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA (PER) 2005-2010. 2005.IDAE. 345 p.  
SANZ, F.; PIÑEIRO, G. 2003. Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la Cadena Monte-Industria. Parte I: Situación actual y evaluación de sistemas de tratamiento. CIS-Madera 10: 6-25.

SAN MIGUEL A.; MONTOYA J.M. 1984. Resultados de los primeros 5 años de producción de tallares de chopo en rotación corta (2-5 años). Anales INIA, Serie Forestal 8, 73-91.

SIXTO, H.; HERNÁNDEZ, M. J.; BARRIO, M.; CARRASCO J.; CAÑELLAS I. 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. Invest. Agar.: Sist. Recur. For. 16(3), 277-294.

SPERANDIO G. 2007. Aspetti economici delle colture da biomassa a ciclo breve. Parte seconda: redditività dell'investimento. *In: FORLENER 2007. Convegno: Ottimizzazione della filiera de produzione di biomasse ligno-cellulosiche. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura. Biella, 27-30 September 2007.*

TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; LAINA, R.; MARTÍNEZ, R. y PINILLOS, F. 2007. Rendimientos y costes de diferentes aprovechamientos de la biomasa forestal: Las experiencias en curso en Castilla y León. Universidad Politécnica de Madrid y Cesefor. Madrid.

TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; LAINA, R. y MARTÍNEZ, R. 2008a. Guía de la maquinaria para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal. Cesefor. 92 p. Castilla y León.

TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; LAINA, R. y MARTÍNEZ, R. 2008b. Sistemas de aprovechamiento de biomasa en Castilla y León. Las experiencias en curso. Bol.Inf. CIDEU 5: 97-106.

VEGA-NIEVA, D. J.; DOPAZO, R.; ORTIZ, L. 2008a. Cultivos Energéticos Leñosos: una necesidad para el sector de la biomasa + Q Energía 7: 26-29.

VEGA-NIEVA, D. J.; DOPAZO, R.; ORTIZ, L. 2008b. Reviewing the Potential of Forest Bioenergy Plantations: Woody Energy Crop Plantations Management and Breeding for Increasing Biomass Productivity. En: World Bioenergy 2008. Jönköping, Sweden 27-29 Mayo 2008.

VEGA-NIEVA, D. J. 2008c. Revisión de experiencias a nivel mundial en cultivos energéticos y modelización de la producción de biomasa en eucaliptares gallegos. Trabajo tutelado de Investigación de 3er ciclo. Universidad de Vigo. Ingeniería de los Recursos Naturales y Tecnologías Medioambientales. 153 p.

VELÁZQUEZ, M. B. 2006. Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. Ecosistemas 15 (1): 77-86. Enero 2006.

