

Biomasa forestal: precio, coste y casos prácticos



Objetivo: proporcionar conocimientos generales a propietarios forestales y estudiantes para mejorar la utilización de biomasa en la producción de energía

ÍNDICE

1	Introducción.....	1
2	Precio de los biocombustibles forestales.....	2
3	Coste de la energía.....	4
	3.1 Comparación de precio en toneladas o en volumen.....	4
	3.2 Comparación de precio de diferentes combustibles.....	6
	3.3 Comparación del coste de calefacción en diferentes instalaciones.....	7
4	Anexos.....	14



1 Introducción

El precio de mercado de la biomasa se fija en función de los precios de otras calidades de madera. Generalmente, el proceso de obtención de biomasa se produce con madera de la más baja calidad, ya que su origen puede provenir de cualquier especie forestal o de calidad. Para una mayor rentabilidad, el proceso forestal utiliza madera de menor calidad. Dado que el objetivo final de la calidad de la madera no requiere ninguna propiedad requerida en la madera más valiosa.



Foto 1: Pila de biomasa en bosque de coníferas. CTFC.

El precio de la madera para la biomasa en la fábrica es equivalente al de la madera triturada, lo que significa que es la menos valorada. A partir de este precio, hay que añadir todos los costes de producción y aprovisionamiento, más los beneficios comerciales y los impuestos para llegar al producto final. El coste de producción varía en función de la calidad final de la biomasa, que depende al mismo tiempo del proceso de producción. Normalmente, la mayor calidad tiene el mayor coste de producción. El valor final de la biomasa depende de si la madera está certificada o no; ya que el proceso de certificación es otro coste añadido al producto final.

Una de las ventajas competitivas de la biomasa sobre otros combustibles fósiles es su invariabilidad de precio en diferentes años, este incremento es casi nulo. Este efecto, difícil de predecir en la categoría de combustibles fósiles, confiere a la biomasa cierta superioridad a la hora de calcular la rentabilidad de la inversión en instalaciones alimentadas con biomasa.

Las palabras seguidas de un "*" se definen en el glosario del apéndice.

2 Precio de los biocombustibles forestales

Cada biocombustible presenta precios diferentes en función de la calidad, las cantidades, de la modalidad de venta.

Tabla 1: Pellets, precio según el tipo de suministro, 2017. Fuente: AVEBIOM.

Modalidad	Precio medio (€/t)
Saco de 15 kg	262,66 (3,94 €/saco)
Palet	252,70
A granel (camión volquete)	220,89
A granel (cuba/cisterna)	231,40

Tabla 2: Astillas, precio según tamaño de grano y coste de producción, 2017. Font: Oficina Técnica Municipal de Prevención de Incendios Forestales. Barcelona.

Precio 2017	P16/G30	P45/G50
Situación A	110 €/t	100 €/t
Situación B	80 €/t	70 €/t

A: trabajo en condiciones difíciles. Transporte incluido

B: trabajo en condiciones favorables. Transporte incluido

Tabla 3: Madera, precio al por mayor sin cortar (entre 2,2 y 2,4 m) entregada en fábrica para varias especies, 2017.

Fuente: Bolsa de Vic y Bolsa de Girona (bolsas de madera)

Especies	€/t	Especies	€/t
Encina	64,83	Haya	42,00
Roble	48,67	Alcornoque	38,00

La madera preparada para el consumo minorista (cortada y astillada en trozos) vale el doble o más que el precio que se muestra aquí. El precio dependerá de la cantidad entregada y si es verde (en fresco) o seco, el tipo de suministro, la frecuencia, etc.

Tabla 4: Briquetas, precio en €/t según el método de venta, 2017. Fuentes: Acalora, Biomassa d'Osona, tienda de biomasa.

Modalidad	€/t
Caja /saco individual de briquetas	659 (400-920)
Palet pequeño (300 kg) en sacos	537
Palet grande (600-1 000 kg) en sacos	360 (300-400)
Palet pequeño (300 kg) sin envasar	440
Palet grande sin envasar	300

3 Coste de la energía

El coste de la energía depende del coste del combustible utilizado, más los costes asociados a la instalación (mantenimiento y explotación, amortización, consumo eléctrico, etc.). Esto permite comparar diferentes combustibles o posibilidades de instalación. A continuación, presentamos varios casos prácticos.

3.1 Comparación de precio en toneladas o en volumen

Dos vendedores ofrecen madera cortada y partida a un cliente:

- Oferta del vendedor 1: madera de encina a 170 € por tonelada, humedad de alrededor del 30% Hbh.
- Oferta del vendedor 2: madera de haya a 110 € por cada estuche de madera apilado, humedad de alrededor del 30% Hbh.

Para comparar precios, debemos calcular cuánto cuesta cada oferta por kWh, la unidad de energía que finalmente se consumirá.

Caso nº1:

El valor calórico (PCI, en kWh/t) define la relación entre energía y peso. Dado que el precio ya está expresado en unidades de peso, es muy sencillo determinar el ICP (ver Tabla 9 en el anexo) correspondiente a la especie suministrada (encina) y el porcentaje de humedad (alrededor del 30%): para la encina tenemos 3512 kWh/t30.

Por tanto 1 kWh = $170 / 3512 = 0,048€$.

Caso nº2:

En este caso, para poder utilizar el PCI, el estere de madera apilado debe estar relacionado con el volumen sólido (rollo m^3), luego la densidad de la madera de haya con la humedad indicada.

Los datos de las tablas proporcionan estos factores de conversión:

- 1 m^3 rollo = 1.2 estéreo apilado (ver Tabla 10 en el apéndice)
- Densidad de haya al 30% Hbh: 0,83 t_{30}/m^3 (ver Tabla 11 en el apéndice)

Por lo tanto: $(110 * 1,2) / 0,83 = 159,04$ € por una tonelada de madera de haya con una humedad del 30%.

El ICP para el haya, con una humedad de alrededor del 30%, es de 3262 kWh (ver Tabla 12 en el apéndice).

Por tanto: $159,04 / 3262 = 0,049$ €.

La conclusión es que ambos vendedores ofrecen madera a precios energéticos comparables.

Glosario de términos de cálculo:

kWh: kilo vatio hora, una unidad tradicional de medida de la energía eléctrica. Corresponde al funcionamiento de una potencia de 1 kW durante 1 hora.

t_{30} : tonelada de madera al 30% de humedad

Hbh: humedad en base húmeda

PCI: valor calórico inferior, cantidad teórica de energía contenida en un combustible. Se refiere a la cantidad de calor liberada por la combustión de una unidad de masa del producto (1kg) bajo condiciones estandarizadas. Cuanto más alto es el PCI, más energía proporciona el producto.

3.2 Comparación de precio de diferentes combustibles

El objetivo es determinar qué biocombustible es el más económico entre las tres ofertas de varios productores:

1. Virutas de madera de coníferas con un contenido de humedad del 30%. Precio: 30 €/MAPA
2. Madera de roble cortada y apilada con un contenido de humedad del 30%. Precio: 90 €/estéreo apilado
3. Pellets o gránulos de coníferas en sacos, sobre paletas, con un contenido de humedad del 10%. Precio: 230 €/t

Para comparar precios, debemos convertirlos en precios por unidad de energía (€/kWh).

1. Astillas de madera de coníferas

Datos de inicio

Cantidad: 1 t MAP madera fina triturada / Precio: 30 €/MAP 30% / Modalidad: madera triturada / Especie: coníferas

Como el precio se expresa en volumen (€/MAP), debe convertirse en un precio por energía con el PCI (kWh/t), determinando así la densidad (t/m³) y la relación de volumen (MAP/m³).

Las tablas proporcionan los siguientes valores:

- Relación de volumen: 0,4 m³/MAP (ver Tabla 2 en el anexo)
- Densidad de coníferas al 30% de humedad: 0,64 t30/m³ (ver Tabla 3 en el anexo)
- PCI de coníferas al 30% de humedad: 3487 kWh/t30 (ver Tabla 9 en el apéndice)

Por tanto: 30€ / (0.4 m³/MAP x 0.64 t/m³ x 3489 kWh/t) = 30 / (0.4x0.64x3489) = 30 / 898,184 = 0,034€

2. Madera de roble

Datos de inicio

Cantidad: 1 t estéreo apilado / Precio: 90 € / estéreo apilado / Modalidad: madera cortada (tronco) / Especie: roble
Como en el caso anterior, el volumen aparente debe convertirse en volumen sólido (conversión de volumen), peso (densidad, rollo de t30/m³) y finalmente en energía utilizando el PCI.

Las tablas proporcionan los valores necesarios:

- Relación de volumen: rollo de 1,2 estéreo /m³ (véase el cuadro 10 del apéndice)
- Densidad de robles al 30% de humedad: 0,88 t30/m³ (ver Tabla 11 en anexo)
- PCI de roble al 30% de humedad: 3279 kWh/t30 (ver Tabla 9 en el anexo)

Por lo tanto: $(90€ \times 1.2 \text{ estéreo /m}^3) / (0.88 \text{ t/m}^3 \times 3279 \text{ kWh/t}) = (90 \times 1.2) / (0.88 \times 3279) = 0.038€$

3. Pélets de coníferas:

Datos de inicio

Cantidad: 1 t esterilizada / Precio: 230 €/t / Modalidad: palet de gránulos en bolsas / Especie: coníferas

En este caso, dado que el precio ya está expresado en unidades de peso, sólo se necesita el PCI para convertirlo en un precio por energía. El ICP de los pellets de madera al 10% de humedad es de unos 4700 kWh/t (= (5272+4082) / 2)

Por lo tanto: $230€ / 4700 \text{ kWh/t} = 230 / 4700 = 0,049€$

3.3 Comparación del coste de calefacción en diferentes instalaciones

Para poder elegir correctamente un combustible entre los disponibles para calefacción y agua caliente sanitaria, se debe calcular el coste de la energía consumida en cada caso. El coste de la energía depende de la instalación, del combustible utilizado y de la energía producida (Figura 1).

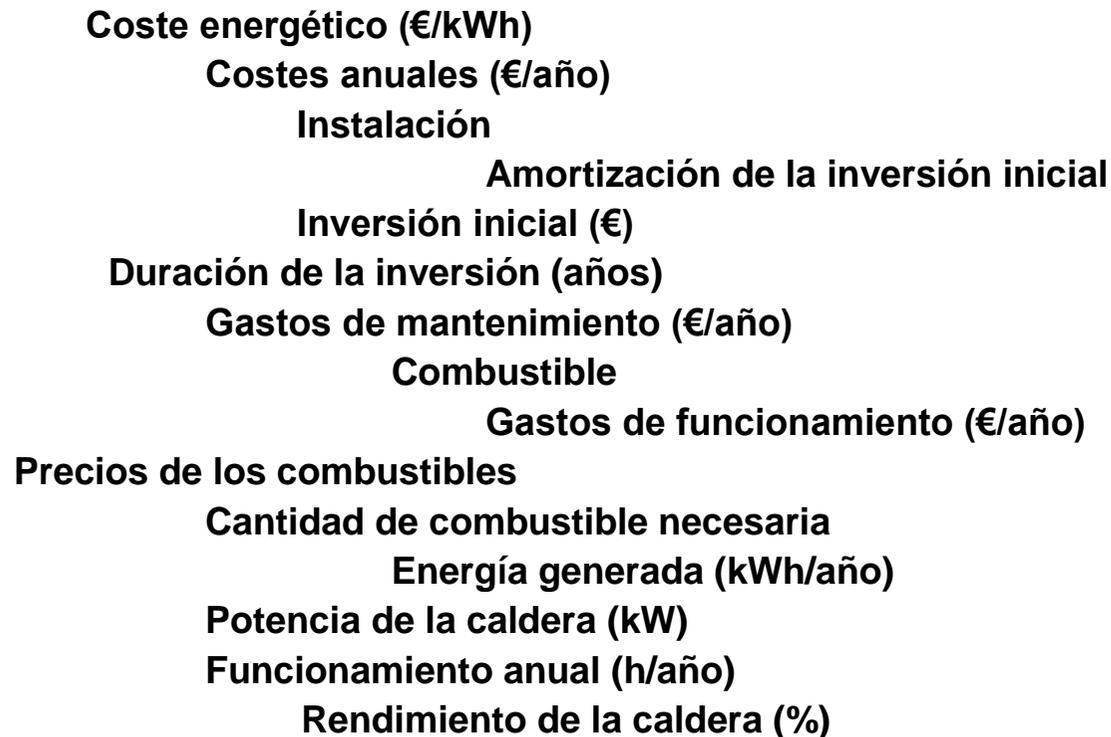


Figura 1: Diferentes conceptos que intervienen en cálculos energéticos

Tabla 6: Diferentes datos de combustibles energéticos

	Símbolo	Unidades	Madera H2O limpia (t)	Madera H2O local (t)	Astillas H30 (t)	Pélets M10 (t)	Gas natural (m ³)	Fuel doméstico (l)
Costos de inversión de la Instalación (TTC)	I	€	45 000	45 000	65 000	40 000	13 000	18 000
Coste de la electricidad (C)	C _{el}	€/an	50	50	200	100	30	30
Gastos de limpieza y mantenimiento (E)	C _m	€/an	430	430	530	330	155	155
Eficiencia general	η	%	0,75	0,75	0,79	0,84	0,9	0,85

Se presenta a continuación un ejemplo de comparación de diferentes ofertas para calentar una habitación.

Se compara el uso de 6 combustibles diferentes: 1. madera de producción limpia; 2. madera de un productor local; 3. astillas; 4. pellets; 5. Gas natural Combustible doméstico.

Tabla 7: Comparación de precios y poderes caloríficos de diferentes combustibles energéticos

	Símbolo	Unidades	Madera H2O limpia (t)	Madera H2O local (t)	Astillas H30 (t)	Pélets M10 (t)	Gas natural (m ³)	Fuel doméstico (l)
Precio	P _c	€/u.	77	130	88	216	0,72	1,04
Poder calorífico inferior	Q, PCI	KWh/u.	3 980	3 980	3 400	4 600	9,6	10

Los datos de partida de las instalaciones a comparar son los siguientes:

- Potencia (P): 100 kW
- Horas de funcionamiento (h): 1300 h/año
- Periodo de inversión (a): 20 años

A partir de estos datos, se deben calcular los distintos factores para determinar el coste de la energía.

Cálculo de la producción de energía final (energía neta, después de aplicar la eficiencia de la caldera):

- Cálculo de la producción de energía final (energía neta, una vez aplicada la eficiencia de la caldera):
Primero se calcula la **energía producida bruta** (E_{1ia} , kWh/año):

$$E_{1ia} = P * h$$

Donde

- P = Potencia de la caldera (kW)
- h = horas de funcionamiento anuales (h/año)

Y sobre ésta se aplica la eficiencia de cada caldera (η) para obtener la **producción de energía final**, neta (E_{final} , kWh/año):

$$E_{final} = E_{1ia} * \eta$$

Donde

- E_{1ia} = Energía primaria (kWh/año)
- η = eficiencia (%)

Cálculo del coste de combustible:

La relación entre la energía producida bruta y el poder calorífico de cada combustible proporciona la **demanda anual de combustible** (Q_c , cantidad/año):

$$Q_c = E_{1ia} / Q$$

Donde

- E_{1ia} = Energía producida bruta (kWh/año)
- Q = Poder calorífico inferior (PCI, kWh/unidad de peso o volumen)

Aplicando el precio de cada combustible se obtiene el *gasto anual en combustible* (C_c , €/año):

$$C_c = Q_c * P_c$$

Donde

- Q_c = Cantidad anual de combustible (peso o volumen/año)
- P_c = Precio de cada combustible (€/peso o volumen)

Cálculo de los costes de la instalación y totales:

El *coste de la instalación* debe incluir la *amortización anual*, el *coste de operación* (consumo de combustible) y el *mantenimiento*.

En este caso, la **amortización** se calculará desestimando los intereses:

$$A=I/a$$

Donde

- I = Inversión inicial (€)
- a = Duración de la inversión (años)

El *coste de operación* incluye el **consumo de combustibles**, calculados previamente, así como el **mantenimiento**.

A partir de aquí se puede calcular el **coste total anual de calefacción** sumando el coste de amortización, coste de operación (consumo de combustibles más eléctrico) y mantenimiento:

$$C_t=A+(C_c+C_{el})+C_m=A+C_{op}+C_m$$

Donde

- A = Amortización (€/año)
- C_c = Gasto en combustibles (€/año)
- C_{el} = Coste electricidad (€/año)
- C_m = Coste de mantenimiento y limpieza (€/año)
- C_{op} = Coste de operación (€/año) = C_c + C_{el}

Cálculo del Coste final de la energía:

El coste final (€/MWh) se obtiene de la relación entre la **suma de gastos** (coste total anual) y la energía neta producida:

$$C_e = C_t / E_{\text{final}}$$

Donde

- C_t = costes totales anuales de la instalación (€/año)
- E_{final} = energía producida neta (kWh/año)

Tabla 8: Datos económicos de diferentes combustibles

	Símbolo	Unidades	Madera H2O limpia (t)	Madera H2O local (t)	Astillas H30 (t)	Pélets M10 (t)	Gas natural (m ³)	Fuel doméstico (l)
Producción de energía primaria	E _{1ia}	kWh/a	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000
Producción de energía final*		MWh/a	130	130	130	130	130	130
Demanda anual de combustible	E _{final}	MWh/a	97,5	97,5	102,7	109,2	117	110,5
Coste del consumo anual de combustible (B)	Q _c		32,7	32,7	38,2	28,3	13 500	130 000
Depreciación técnica/económica (A)	C _c	€/an	2 515	4 246	3 365	6 104	9 750	13 520
Costes de explotación (D = B + C)*	A	€/an	2 250	2 250	3 250	2 000	650	900
Coste anual total (F = A + D + E)	C _{op}	€/an	2 565	4 296	3 565	6 204	9 780	13 550
Coste final de la energía	C _t	€/an	5 245	6 976	7 345	8 534	10 585	14 605
Producción de energía primaria	C _e	€/MWh	53,80	71,55	71,52	78,15	90,47	132,17

4 Anexos

Tabla 9: Poder calorífico inferior en función de la especie y humedad (kWh/t%)^c

Especies	Humedad (bh)						
	0 %	20 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %
Encina	5 307	4 110	3 512	3 212	2 913	2 614	2 314
Robles	4 975	3 844	3 279	2 996	2 714	2 431	2 148
Pino silvestre	5 338	4 135	3 533	3 232	2 931	2 631	2 330
Pino negral	5 296	4 101	3 504	3 205	2 906	2 607	2 309
Pino blanco	5 082	3 930	3 354	3 066	2 778	2 490	2 202
Pino piñonero	5 374	4 164	3 558	3 256	2 953	2 651	2 348
Chopo	4 815	3 716	3 167	2 892	2 618	2 343	2 068
Castaño	5 184	4 012	3 425	3 132	2 839	2 546	2 253
Haya	4 951	3 825	3 262	2 981	2 699	2 418	2 136
Coníferas	5 272	4 082	3 487	3 190	2 892	2 595	2 297
Fronosasas	5 078	3 927	3 351	3 063	2 775	2 488	2 200

Tabla 10: conversión de volúmenes^a

	Madera en rollo	Troncos 1 m	Troncos troceados y partidos 33 cm		Astillas	
	m ³ sólido	Estéreo	Estéreo	Apilado (m ³ aparente)	Finas (P16) MAP	Medias (P45) MAP
1 m ³ de madera en rollo	1	1,4	1,2	2	2,5	3
1 estéreo de troncos 1 m	0,7	1	0,8	1,4	- 1,75	- 2,1
1 estéreo de troncos 33 cm	0,85	1,2	1	1,7		
1 m ³ aparente de troncos 33 cm apilados	0,5	0,7	0,6	1		
1 MAP de astillas finas (P16)	0,4	- 0,55			1	1,2
1 MAP de astillas medias (P45)	0,33	- 0,5			0,8	1

Tabla 11: Densidades en función de la humedad bh y la especie (3)

Especie	Anhidra	50% Hbh	30% Hbh	Específ
	(t ₀ /m ³ ₀)	(t ₅₀ /m ³ ₅₀)	(t ₃₀ /m ³ ₃₀)	(t ₀ /m ³ ₅₀)
<i>Quercus ilex</i>	0,87	1,42	1,02	0,71
<i>Quercus pubescens</i>	0,73	1,23	0,88	0,62
<i>Quercus petraea</i>	90,7	1,19	0,85	0,59
<i>Quercus faginea</i>	0,75	1,26	0,9	0,63
<i>Quercus sp</i>	0,73	1,23	0,88	0,61
<i>Fagus sylvatica</i>	0,69	1,17	0,83	0,58
<i>Abies alba</i>	0,51	0,91	0,65	0,45
<i>Pinus uncinata</i>	0,5	0,89	0,64	0,45
<i>Pinus sylvestris</i>	0,48	0,85	0,61	0,43
<i>Betula pendula</i>	0,6	1,05	0,75	0,52

Especie	Anhidra	50% Hbh	30% Hbh	Específ
	(t ₀ /m ³ ₀)	(t ₅₀ /m ³ ₅₀)	(t ₃₀ /m ³ ₃₀)	(t ₀ /m ³ ₅₀)
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,67	1,14	0,81	0,57
<i>Populus nigra</i>	0,43	0,78	0,56	0,39
<i>Platanus x hispánica</i>	0,65	1,12	0,8	0,56
<i>Pinus nigra</i>	0,51	0,91	0,65	0,46
<i>Betula pendula</i>	0,6	1,05	0,75	0,52
<i>Castanea sativa</i>	0,59	1,02	0,73	0,51
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,67	1,14	0,81	0,57
<i>Populus nigra</i>	0,43	0,78	0,56	0,39
<i>Platanus x hispánica</i>	0,65	1,12	0,8	0,56
<i>Pinus nigra</i>	0,51	0,91	0,65	0,46
<i>Pinus halepensis</i>	0,55	0,96	0,69	0,48
<i>Pinus pinea</i>	0,51	0,9	0,64	0,45
<i>Pinus pinaster</i>	0,44	0,78	0,56	0,39
<i>Pinus radiata</i>	0,46	0,82	0,59	0,41
Coníferas	0,51	0,9	0,64	0,45
Fronosas	0,67	1,15	0,82	0,57

Tabla 12: Conversión unidades energía (2)

	Joule (J)	Caloría (cal)	Kilowatt hora (kWh)	TEP
Joule (J)	1	0,239	$0,278 \cdot 10^{-6}$	$0,239 \cdot 10^{-10}$
Caloría (cal)	4,184	1	$1,162 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-10}$
Kilowatt hora (kWh)	$3,600 \cdot 10^6$	$0,860 \cdot 10^6$	1	$8,60 \cdot 10^{-5}$
Tonelada equivalente de petróleo (TEP)	$41,840 \cdot 10^9$	1010	$11,622 \cdot 10^3$	1

B - Bibliografía

- (a) : COMMISSION FRANCESCATO, V.; ANTONINI, E.; ZUCCOLI, L. Manual de combustibles de madera. Producción. Requisitos de calidad. Comercialización. Valladolid: AVEBIOM, 2008.
- (b) : RODRÍGUEZ, J. et al. Aprofitament i desembosc de biomassa forestal. [S.l.]: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Centre de la Propietat (CPF)., 2006.
- (c) : AFIB, CTFC. Taules d'equivalències. [S.l.]: [s.n.], 2016.

Diseño y redacción: Judit Rodríguez

Créditos ilustraciones:

Page 0: L.-A. Lagneau © CNPF

Page 1: S. Gaudin © CNPF

Maquetación: Eduter-CNPR

Edición: junio 2019



Este proyecto fue financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación (comunicación) refleja únicamente la opinión del autor, y la Comisión Europea no es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.

Por más información contactar con las entidades socias del proyecto eforOwn

Si eres propietario/a forestal

En Bélgica



En España



En Francia



Si eres estudiante o formador/a

En Bélgica



En España



En Francia

