

ESTUDIO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN DE LA MADERA EN ESPAÑA

Jesús Alberto García Fueyo^[*], José Pablo Paredes Sánchez^[], Antonio José
Gutiérrez Trashorras^[**]**
[*] Alumno; [] Tutor(es)**
uo41858@uniovi.es

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

RESUMEN

La situación actual de crisis económica mundial, el aumento del precio de los combustibles tradicionales y el cambio climático por la emisión a la atmósfera de Gases de Efecto Invernadero (GEI) crean la necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía alternativas. Este contexto propicia la utilización de energías renovables para la búsqueda del desarrollo sostenible y la reducción de la dependencia energética de los combustibles fósiles.

En este trabajo se ha estudiado el potencial energético de los residuos de la industria de transformación de la madera en España mediante una metodología basada en el software BIORAISE. Para ello se analizan los recursos disponibles, masa, energía y coste en cada provincia. Estos datos permiten determinar qué provincias poseen un suministro estable, por cantidad y coste, para la instalación de plantas de biomasa con fines energéticos.

Los resultados obtenidos indican que las provincias del norte de España, junto con Barcelona y Murcia, son las zonas más adecuadas para implementar este tipo de instalaciones.

ABSTRACT

The current global economic crisis, the rising price of traditional fuels and climate change by the

emission into the atmosphere of greenhouse gases (GHG) have created the need to find new sources of alternative energy. This context contributes to the use of renewable energy with the aim of achieving sustainable development and reducing energy dependence on fossil fuels.

In this work it has been studied the energy potential of waste from the processing industry of wood in Spain, using a methodology based on the BIORAISE software.

To do so, available resources (mass, energy and costs) are analyzed in each Spanish province. These data allow determining which provinces have a stable supply, quantity and costs, for the installation of biomass plants for energy purposes. The results indicate that the northern provinces of Spain, with Barcelona and Murcia, are best suited to implement this type of installation areas.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la sociedad actual. Es necesario adoptar medidas a escala mundial para estabilizar la temperatura del planeta y evitar daños irreversibles [1, 2].

En este sentido la Unión Europea (UE) ha propuesto una serie de medidas sobre cambio climático y energía que programa nuevos objetivos en materia de medio ambiente y energías renovables para el año 2020. Estos



objetivos respecto a los datos de 1990 son los siguientes:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 20% (30% si se alcanza un acuerdo internacional).
- Ahorrar el 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética, además, en cada país el 10% de las necesidades del transporte deberán cubrirse mediante biocombustibles.
- Promover las energías renovables hasta el 20%.

La Directiva 2009/28/CE [3], obliga a los Estados Miembros de la UE a realizar su propio Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) [4]. Por todo ello, España presentó el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020.

Para las energías renovables, España redactó un Plan Energético aún más ambicioso que el europeo para el año 2020, con el fin de que las energías renovables representen el 20,8 % del consumo final bruto de energía [5].

La UE, a través de diversos programas de investigación y desarrollo, quiere que la industria coopere en la consecución del objetivo comunitario a través de las *Energy Industrial Initiatives* (EIIs), que investigan y diferentes campos como la energía eólica, solar, nuclear, captura y almacenamiento de CO₂, *bioenergía* y la novedosa smartcity (ciudad inteligente) [6,7].

Se han realizado diferentes estudios evaluando el potencial de los recursos de biomasa existentes en Europa [8,9], en este tipo de estudios es habitual utilizar herramientas GIS para la evaluación de la biomasa [10, 11].

Uno de los puntos claves para la utilización de la biomasa como energía es su versatilidad como combustible y capacidad reductora de emisiones de CO₂ [12]. No obstante, es difícil obtener un suministro estable de biomasa para su uso energético, tanto en aplicaciones térmicas como eléctricas.

El presente trabajo está orientado a la búsqueda de zonas adecuadas para la instalación de plantas que sean capaces de cubrir las necesidades térmicas de pequeñas zonas industriales o urbanas, denominadas "district heating" [13,14]. Estas instalaciones podrían, dependiendo de las condiciones locales del mercado, generar también electricidad. Entre las posibles aplicaciones cabe destacar: sistemas de agua caliente sanitaria

(ACS), sistemas de calefacción, sistemas de climatización en piscinas y centros deportivos o para usos industriales [5, 15].

España dispone de un gran potencial de biomasa procedente de los residuos de la industria de primera y segunda transformación de la madera que podría asegurar un abastecimiento estable y continuo de recursos de biomasa.

El objetivo fundamental de este estudio es analizar la situación actual y las perspectivas de futuro de la utilización de los residuos procedentes de las industrias de primera y segunda transformación de la madera en España. Para ello se determinan las provincias que presentan un suministro estable, en cantidad y coste, para utilizar estos residuos con fines energéticos, (i.e. generación de energía eléctrica o producción de energía térmica).

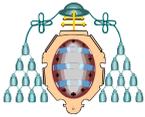
2. MÉTODO DE TRABAJO

Para este estudio, se ha utilizado una metodología basada en la herramienta GIS desarrollada por el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) llamada BIORAISE [10, 11]. Este software permite evaluar los recursos de biomasa agrícola, forestal e industrial existentes en España, así como residuos procedentes de la industria de la madera y la alimentación.

Nuevas actualizaciones de la aplicación BIORAISE, nos permiten calcular los recursos de biomasa disponible directamente de la biomasa existente en una provincia [16]. El método de cálculo nos permite además, obtener el coste de transporte y el contenido energético de la biomasa disponible [17, 18].

2.1 Estudio del recurso de la biomasa

La biomasa es el conjunto de sustancias orgánicas presentes en un hábitat. Las formas en que se presenta son muy variables y pueden utilizarse para usos primarios muy diversos (i.e. fabricación de materiales de construcción e industria agroalimentaria). Cuando finaliza su uso original es posible realizar un aprovechamiento secundario.



En una primera clasificación, se puede dividir la biomasa en dos categorías según su origen [19]:

- Cultivos energéticos. Se obtienen expresamente para la obtención de combustibles (e.g. soja, colza, palma).
- Residuos. La energía se aprovecha generalmente previo proceso de acondicionamiento o transformación en un combustible final (i.e. biogás), entre este tipo de biomasa cabe mencionar los agrícolas, sólidos orgánicos e industriales.

2.2 Parámetros que definen la biomasa

Los parámetros que caracterizan la biomasa son humedad, granulometría, densidad, composición y poder calorífico.

Algunos parámetros propios de la biomasa que se deben tener en cuenta para comprobar que su utilización tenga un rendimiento aceptable son:

- ✓ *Humedad.* Tras secado puede ser muy variable desde 5% al 70%. Esta característica afecta muy directamente a su poder calorífico, rendimiento y por tanto a la rentabilidad del recurso. El serrín y la paja tienen una humedad en torno al 5-15%, mientras que en los residuos forestales pueden superar el 50%.
- ✓ *Granulometría.* Existe gran variedad de formas tamaños y densidades según su naturaleza. Está ligada a la tecnología necesaria para su aprovechamiento, teniendo en cuenta que a menor granulometría, mayor es el consumo de energía para su acondicionamiento.
- ✓ *Densidad.* Este parámetro tiene una repercusión muy directa con los costes de transporte. Sin trituración previa a su transporte, la densidad de la biomasa se encuentra en torno a 0,35 kg/m³, lo que conlleva elevados costes en su transporte.
- ✓ *Composición química de la biomasa.* Genera volátiles como el HC, CO₂, H₂, CO y cenizas, vinculados a la propia naturaleza de la biomasa.
- ✓ *Análisis energético.* El poder calorífico de la materia a emplear, así como su temperatura de combustión, son aspectos fundamentales para la valorización del recurso.

2.3 Descripción del método de trabajo

2.3.1 Cálculo de la Biomasa

Como recursos de biomasa se van analizar los Recursos Disponibles y más concretamente, los subproductos de la industria de transformación de la madera no tratada químicamente.

Los residuos estudiados son madera recortes y virutas o serrín, con exclusión de la corteza, considerados sin ningún tipo de tratamiento químico (como podría ser la impregnación de pinturas o barnices), siendo así más adecuados para su uso energético.

La herramienta del CIEMAT, BIORAISE (2015), así como su base de datos GIS [10, 11], permite determinar la masa, la energía y el coste de la biomasa.

Se ha realizado la búsqueda de datos aplicando la opción del "Centróide del Polígono" que localiza un punto geográfico en el centro de la provincia.

Una vez extraídos todos los datos de la Masa de Recursos Disponibles (MRD), tenemos que aplicar un factor de corrección $\lambda = 0,35$ [20]. Éste parámetro permite corregir los efectos derivados de su granulometría o estado de estos residuos para su uso energético. Es decir de cada 100 kg producidos se consideran aptos para su uso energético 35 kg. Para calcular la Masa de Residuo Disponible Corregido (MRDC), es decir, el residuo adecuado para ser explotados con energía, se calcula a partir de la Ecuación 1.

$$\text{MRDC} = \lambda \times \text{MRD} \quad (1)$$

La masa de los MRD y MRDC en cada provincia se evalúa en tonelada materia seca por año (t.m.s./año). Los MRDC son los recursos finalmente utilizables.

2.3.2 Cálculo de la Energía de la Biomasa

El parámetro fundamental en un combustible es el poder calorífico, al igual que cualquier fuente de energía, parámetro íntimamente relacionado con la humedad.

Para determinar el contenido de energía de los residuos de la madera, es habitual utilizar el Poder Calorífico Inferior (PCI) [21].



La relación entre PCI, que es el estado en que se encuentra la materia, la PC seca (poder calorífico de la biomasa seca) y h (grado de humedad de la biomasa) viene dado por la siguiente expresión 2 [22]:

$$PCI = \frac{PC_{seca} \times (100 - h) - 2,44 \times h}{100} \quad (2)$$

Donde PCI y PC seca se mide en MJ/Kg y el grado de humedad (h) en %.

Normalmente, la cantidad de energía que se puede extraer de la biomasa, como máximo es de 18 MJ/kg en masa seca, mientras que para un grado de humedad máxima (en torno al 88%) no se extrae energía. La relación PCI y grado de humedad es lineal (Fig. 1) [23].

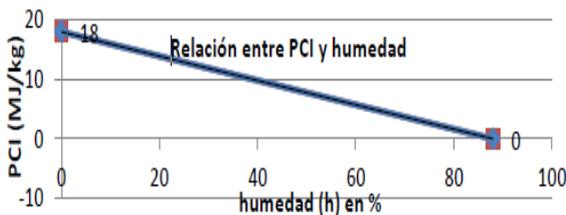


Fig. 1. Relación PCI y grado de humedad.

La mezcla de residuos de la industria de la madera se ha estimado en 14 MJ/kg con un 20% de humedad [20].

En nuestro caso, el potencial de la Cantidad de Energía Disponible (CED) en cada provincia se puede determinar a partir de la Masa de Recursos Disponibles (MRD), y se obtiene a partir de la Ecuación 3.

$$CEDC = (\lambda \times CED) = \lambda \times MRD \times PCI \quad (3)$$

donde CED (GJ/año) es la energía del residuo total que no ha sido tratado químicamente, λ es el factor de corrección citado y CEDC (GJ/año) es la Cantidad de Energía Disponible Corregida.

La base de datos BIORAISE calcula directamente la CED por provincia. Hay que tener en cuenta que los datos los calcula en masa seca [16].

2.3.3 Cálculo de los costes

Para evaluar la viabilidad del suministro es necesario determinar los costes de los MRDC, para determinar, como estudio preliminar, las provincias óptimas para el aprovechamiento energético en plantas de este recurso.

La base de datos BIORAISE nos permite determinar estos costes:

a) Coste de los residuos "puerta fábrica"

Es el coste de los residuos a la puerta de la planta de transformación de la madera, el lugar donde se producen. Esta clase de residuos no siempre tienen un mercado o un precio fijo. Normalmente son gestionados como materia prima o combustible para los procesos de secado de la madera en la propia industria [17, 18].

b) Coste del transporte

El coste del transporte del residuo incluye el coste del vehículo, el conductor y el combustible desde la planta de tratamiento hasta un punto seleccionado. Teniendo en cuenta que hemos utilizado la opción "centroide del polígono", el programa nos dará los datos de transporte hasta el centro de la provincia, que es aproximadamente donde se encuentran la mayoría de las capitales de provincia en España.

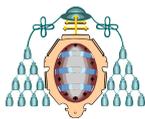
En nuestro estudio se ha utilizado el precio del combustible del Gasóleo A según "Informe de Precios Energéticos: Combustibles y Carburantes, del IDAE del mes de abril del 2015, con un precio de 1,18 €/litro [24].

c) Coste de total

Una vez tenemos los datos del coste de los residuos a la puerta de la fábrica y los costes de transporte, los sumamos y obtenemos el coste total por tonelada materia seca (t.m.s.) (Ecuación 4):

$$CT = CPF + CTr \quad (4)$$

Donde CT (€/t.m.s.) es coste total, CPF (€/t.m.s.) significa coste puerta fábrica y CTr (€/t.m.s.) es el coste del transporte.



3. RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Análisis de los Recursos Disponibles

Una vez obtenidos los datos de nuestro estudio, podemos determinar que en España existen 1.376.476 t.m.s./año.

La Tabla 1 muestra cómo se distribuyen estos residuos por provincias. Las provincias que más recursos presentan son las del Norte.

Tabla 1. Masa de Recursos Disponibles

Provincia	Recursos disponibles (MRD) (t.m.s./año)	Recursos disponibles Corregido (MRDC) (t.m.s./año)
La Coruña	105.322,22	36.862,78
Pontevedra	91.131,11	31.895,89
Barcelona	90.732,51	31.756,38
Murcia	73.902,60	25.865,91
Vizcaya	73.035,77	25.562,52
Burgos	67.275,20	23.546,32
Lugo	66.224,12	23.178,44
Asturias	53.377,62	18.682,17
Orense	51.248,23	17.936,88
León	49.730,36	17.405,63
Segovia	49.415,46	17.295,41
Guipúzcoa	48.016,53	16.805,79
Cantabria	47.999,04	16.799,66
La Rioja	42.961,43	15.036,50
Girona	40.662,33	14.231,82
Valencia	40.102,56	14.035,90
Navarra	34.115,79	11.940,53
Álava	31.152,19	10.903,27
Soria	28.513,43	9.979,70
Cuenca	24.142,24	8.449,78
Baleares	23.801,32	8.330,46
Lérida	22.673,99	7.935,90
Teruel	22.624,57	7.918,60
Castellón	17.250,25	6.037,59
Toledo	14.134,42	4.947,05

Ávila	13.140,06	4.599,02
Valladolid	12.985,36	4.544,88
Salamanca	11.641,46	4.074,51
Sevilla	11.146,51	3.901,28
Tarragona	10.769,18	3.769,21
Zaragoza	10.523,30	3.683,16
Zamora	9.777,45	3.422,11
Granada	8.998,06	3.149,32
Almería	8.997,76	3.149,22
Alicante	8.364,78	2.927,67
Madrid	8.263,44	2.892,20
Cáceres	7.412,88	2.594,51
Guadalajara	6.373,90	2.230,87
Huelva	5.613,37	1.964,68
Palencia	5.605,52	1.961,93
Málaga	4.102,04	1.435,71
Santa Cruz de Tenerife	4.011,80	1.404,13
Cádiz	4.010,70	1.403,75
Huesca	3.689,28	1.291,25
Albacete	3.391,52	1.187,03
Badajoz	2.707,89	947,76
Córdoba	2.256,22	789,68
Ciudad Real	1.851,23	647,93
Jaén	704,46	246,56
Las Palmas	593,27	207,65
Total España	1.376.476,73	481.766,86

La Tabla 1 muestra los MRDC por provincia ordenados de mayor a menor. La Coruña con una cantidad de 36.862,78 t.m.s./año, Pontevedra y Barcelona con valores por encima de 30.000 t.m.s./año, seguidas de Murcia, Vizcaya, Burgos, Lugo, Asturias y Orense con valores todas ellas por encima de las 17.500 t.m.s./año.

Frente a estos valores, en contraposición, tenemos otras provincias con cantidades de recursos muy pequeñas como son Las Palmas o Jaén, que no superan las 250 t.m.s./ año.

En el mapa siguiente podemos ver la distribución por provincias de recursos disponibles (Fig. 2).

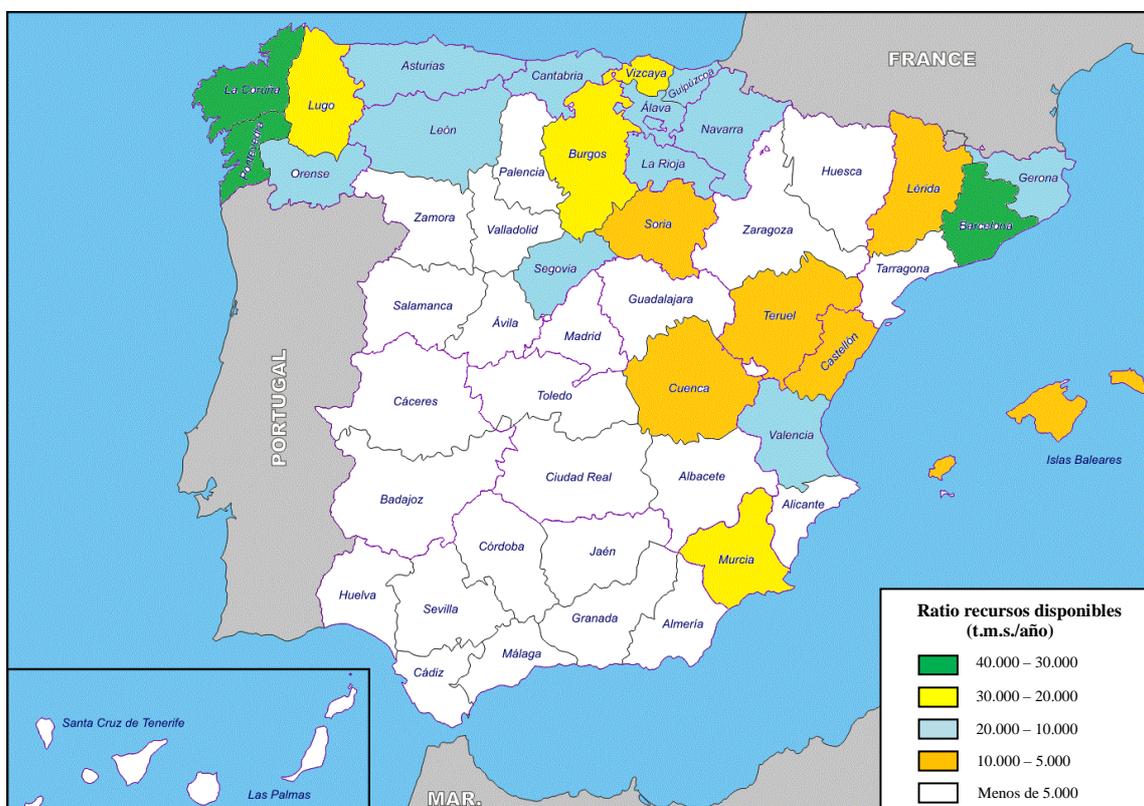
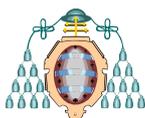


Fig. 2 Distribución de recursos disponibles corregido (MRDC).

3.2 Análisis de la Energía de la Biomasa

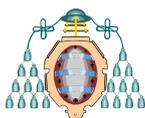
El CEDC es función de los recursos disponibles corregidos MRDC, por lo que es proporcional a estos, guardando el mismo orden en distribución de su potencial energético que en recurso disponible. En las provincias con mayor tenemos valores desde los 691.693,15 GJ/año de La Coruña, seguidas de Pontevedra, Barcelona, Murcia, Vizcaya, Burgos, Lugo y Asturias, todas ellas con valores cantidades de energía mayores a 300.000 GJ/año.

La Tabla 2 muestra la energía de los recursos por provincia.

Tabla 2. Contenido Energético Disponible.

Provincia	Contenido energético (CED) (GJ/año)	Contenido energético (CEDC)(GJ/año) Corregido
-----------	-------------------------------------	---

La Coruña	1.976.266,13	691.693,15
Pontevedra	1.709.984,38	598.494,53
Barcelona	1.702.505,00	595.876,75
Murcia	1.386.708,38	485.347,93
Vizcaya	1.370.443,38	479.655,18
Burgos	1.262.351,88	441.823,16
Lugo	1.242.629,38	434.920,28
Asturias	1.001.577,69	350.552,19
Orense	961.622,00	336.567,70
León	933.140,56	326.599,20
Segovia	927.231,69	324.531,09
Guipúzcoa	900.982,31	315.343,81
Cantabria	900.654,00	315.228,90
La Rioja	806.128,50	282.144,98
Girona	762.988,19	267.045,87
Valencia	752.484,63	263.369,62
Navarra	640.148,88	224.052,11



Álava	584.539,88	204.588,96
Soria	535.026,19	187.259,17
Cuenca	453.005,00	158.551,75
Baleares	446.607,97	156.312,79
Lérida	425.454,91	148.909,22
Teruel	424.527,59	148.584,66
Castellón	323.683,88	113.289,36
Toledo	265.218,25	92.826,39
Ávila	246.560,08	86.296,03
Valladolid	243.657,28	85.280,05
Salamanca	218.440,36	76.454,13
Sevilla	209.153,30	73.203,66
Tarragona	202.072,88	70.725,51
Zaragoza	197.459,36	69.110,78
Zamora	183.464,23	64.212,48
Granada	168.839,59	59.093,86
Almería	168.833,95	59.091,88
Alicante	156.956,73	54.934,86
Madrid	155.055,19	54.269,32
Cáceres	139.095,28	48.683,35
Guadalajara	119.599,85	41.859,95
Huelva	105.329,46	36.865,31

Palencia	105.181,97	36.813,69
Málaga	76.970,67	26.939,73
Santa Cruz de Tenerife	75.277,41	26.347,09
Cádiz	75.256,77	26.339,87
Huesca	69.225,64	24.228,97
Albacete	63.638,48	22.273,47
Badajoz	50.811,03	17.783,86
Córdoba	42.335,71	14.817,50
Ciudad Real	34.736,66	12.157,83
Jaén	12.959,24	4.535,73
Las Palmas	11.132,30	3.896,31
Total España	25.827.954,07	9.039.783,92

Con menor potencial energético tenemos las mismas provincias que con menor recurso disponible, a la cola del estudio se encuentran Las Palmas o Jaén con valores de 4.535,73 y 3.896,31 GJ/año respectivamente.

La Fig.3 muestra la distribución por provincias en contenido energético

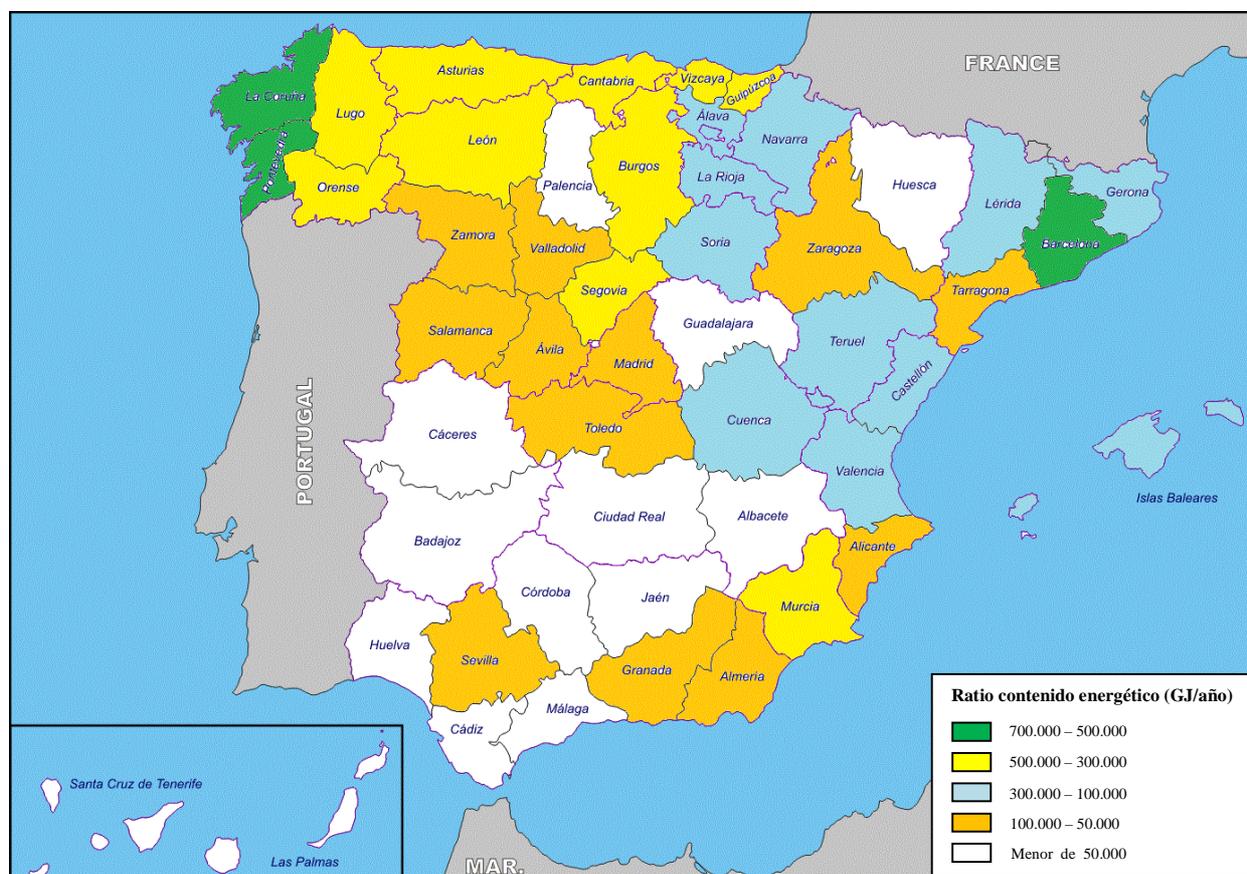
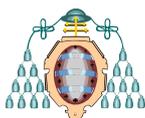


Fig. 3. Distribución del contenido en energía corregido CEDC por provincias

3.3 Análisis de los costes

En este punto se realiza un análisis de los costes de los recursos de biomasa disponible en cada una de las provincias. Como se indicaba anteriormente la herramienta BIORAISE nos proporciona 2 datos diferentes, que son el coste de los residuos a la puerta de la planta y el coste del transporte del residuo.

3.3.1 Análisis de los Costes Totales

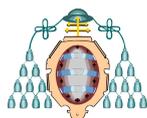
La suma de los dos datos anteriormente descritos, nos proporciona el coste total del residuo puesto en nuestra planta para proporcionar energía o, incluso, convertirlo en pellets [25].

Una vez obtenidos todos los datos de los costes, podemos verlos reflejados en la Tabla 3, con las

provincias ordenadas de menor a mayor coste total.

Tabla 3. Coste Total

Provincia	Precio medio puerta fábrica (CPF) (€/t.m.s.)	Coste medio transporte (CTr) (€/t.m.s.)	Coste total (CT) (€/t.m.s.)
Las Palmas	15,37	10,22	25,59
Alicante	21,31	8,24	29,55
Madrid*	24,06	N/D	35,50
Córdoba	24,00	13,07	37,07
Cádiz*	28,12	N/D	39,56
Granada	28,80	12,07	40,87
Castellón	31,59	10,74	42,33



Huesca*	31,27	N/D	42,71
Valencia	31,23	12,04	43,27
Sta Cruz de Tenerife	37,52	6,19	43,71
Tarragona	35,99	7,76	43,75
Valladolid	38,33	6,56	44,89
Almería	35,83	10,75	46,58
Toledo*	35,22	N/D	46,66
Zaragoza*	35,24	N/D	46,68
Málaga	35,36	11,42	46,78
Asturias	39,90	7,48	47,38
Sevilla*	35,96	N/D	47,40
Guadalajara	39,84	7,71	47,55
Jaén	38,22	9,64	47,86
Álava	38,68	9,25	47,93
Burgos	40,40	7,62	48,02
Huelva*	36,79	N/D	48,23
Cáceres*	37,28	N/D	48,72
Badajoz*	37,37	N/D	48,81
Albacete	37,50	12,3	49,80
Girona*	39,23	N/D	50,67
Vizcaya*	39,28	N/D	50,72
Cuenca	40,15	10,64	50,79
Cantabria*	39,69	N/D	51,13
Murcia	40,22	11	51,22
Zamora*	39,95	N/D	51,39
Lérida	39,34	12,08	51,42
La Coruña*	40,07	N/D	51,51
Ciudad Real	34,12	17,42	51,54
Salamanca*	40,17	N/D	51,61
Guipúzcoa	39,86	11,75	51,61
La Rioja	39,96	11,65	51,61
Ávila*	40,30	N/D	51,74
Segovia*	40,43	N/D	51,87
Pontevedra	40,21	11,71	51,92
Soria	38,91	13,12	52,03
Baleares	39,02	13,31	52,33
Lugo	39,74	13,01	52,75
Barcelona	37,94	15,08	53,02
Palencia	40,54	12,88	53,42

Navarra	39,07	15,19	54,26
Teruel	40,18	15,17	55,35
Orense	40,31	15,06	55,37
León	40,44	15,28	55,72
Media España	36,41	11,44	47,84

N/D=Dato no disponible.

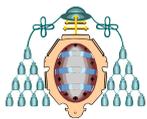
El estudio nos refleja valores significativos donde se puede observar como los costes son proporcionales a la cantidad de recursos y a su contenido energético. En la Tabla 3 se han ordenado las provincias de menor a mayor coste total. En ella se puede observar que las medias que tenemos en España son de 36,41 €/t.m.s. de recurso puesto a la puerta de la fábrica que lo vende, tenemos un coste medio de transporte de esos recursos hasta el centro de la provincia de 11,44 €/t.m.s. que nos proporcionan una media total del coste de 47,84 €/t.m.s.

En algunos casos existen datos "No Disponibles" (N/D) en la base de datos de la provincia para el cálculo del transporte con su centroide. Para solventar esta incertidumbre se ha estimado un valor de este coste para estas provincias, a partir de la media aritmética de todas las provincias en las que podemos obtener valor. Con una media para el país de 11,44 €/t.m.s..

Podemos observar, por ejemplo, que provincias como las Palmas de Gran Canaria, con una cantidad de recursos mucho menor que la media, tiene el menor coste total con un importe de 25,59 €/t.m.s. repartido en 15,37 €/t.m.s. por el residuo y 10,22 €/t.m.s. por el transporte a una planta situada en el centro de la provincia.

En situación opuesta a la anterior, tenemos provincias como Orense o León, con gran cantidad de recursos pero con los costes más elevados del país. León, en última posición, presenta unos costes de residuo de 40,44 €/t.m.s. y unos costes de transporte de 15,28 €/t.m.s., con una suma total de 55,72 €/t.m.s., significa 7,88 € mayor por que la media de España, que representa un sobre coste por encima de la media nacional del 16,46%.

Resumiendo los resultados obtenidos de los costes y en relación al coste total, tenemos 5 provincias con costes inferiores a 40 €/t.m.s. como son (ordenadas de menos a mayor), Las Palmas de Gran Canaria, Alicante, Madrid, Córdoba y Cádiz, tenemos otras 7 provincias con costes totales



entre 40 y 45 €/t.m.s., que se corresponden con Granada, Castellón, Huesca, Valencia, Sta. Cruz de Tenerife, Tarragona y Valladolid. Con un coste entre 40 y 45 €/t.m.s. están las provincias de Almería, Toledo, Zaragoza, Málaga, Asturias,

Sevilla, Guadalajara, Jaén, Álava, burgos, Huelva, Cáceres, Badajoz y Albacete.

Las 24 provincias restantes, tienen unos costes elevados por encima de los 50 €/t.m.s.

A continuación se representa mapa con la distribución del coste total por provincias, (Fig. 4).

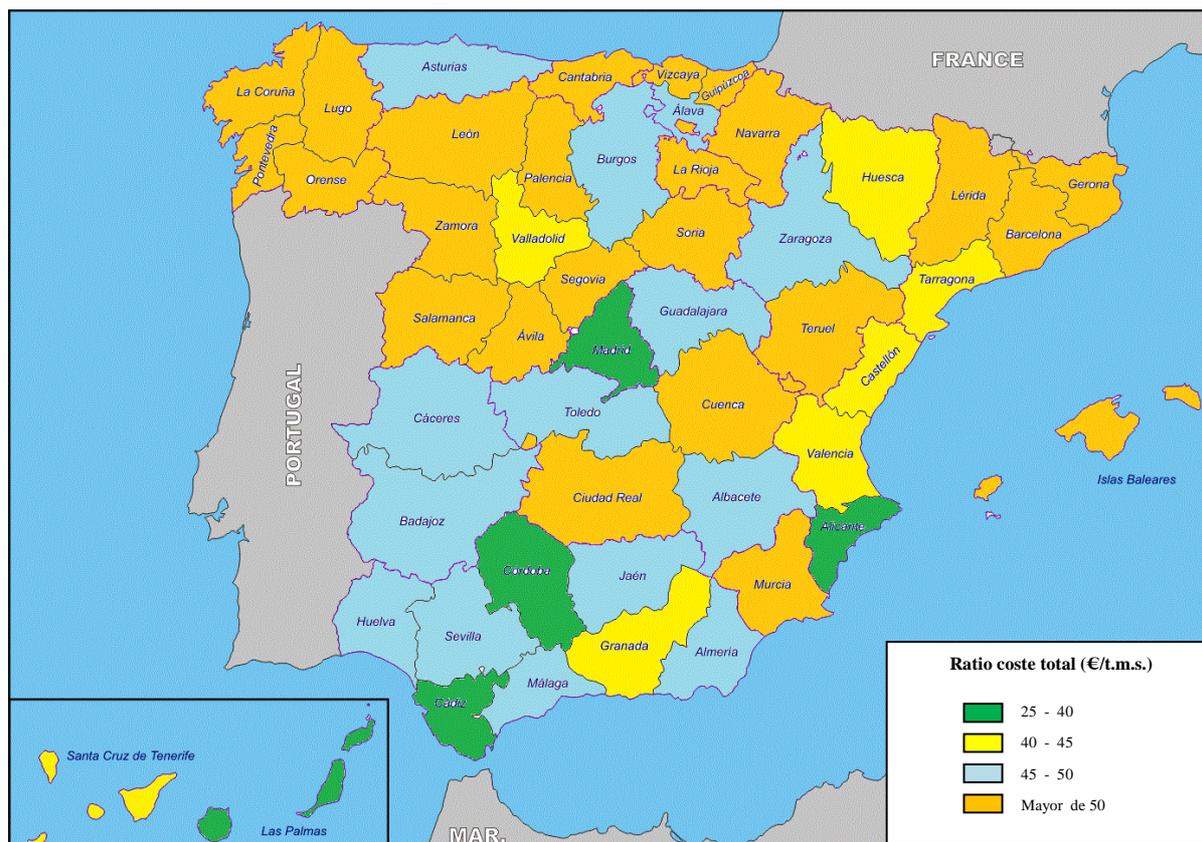


Fig. 4. Mapa de la distribución de Costes Totales por provincias

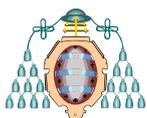
3.3.2 Análisis de los Costes Puerta Fábrica

En la distribución de costes en función de los residuos disponibles puestos a la puerta de la fábrica, se puede observar que aunque son parecidos a la distribución anterior, se ven pequeñas variaciones en la distribución por provincias. Estas variaciones son producidas por el coste del transporte desde la planta de producción del residuo, hasta la planta de tratamiento, y que pueden variar notablemente.

Hay que tener en cuenta que la variación de costes del recurso depende de los mercados locales y los potenciales compradores, entre los

que destacan empresas como ENCE [26], que encarecen el producto que pueden demandar estos recursos con otros fines.

Como se puede observar, la provincia de Las Palmas de Gran Canaria tiene unos costes muy pequeños del residuo disponible, con un importe tan solo de 15,37 €/t.m.s., seguida de las provincias de Alicante, Córdoba, Madrid, Cádiz, Granada, Valencia, Huesca, Castellón y Ciudad Real entre las 10 donde obtenemos el residuo a mejor precio.



En el lado opuesto, con los costes más elevados del país tenemos las provincias de León con un coste de 40,44 €/t.m.s. y Palencia con un coste de 40,54 €/t.m.s. que representa la provincia más cara donde comprar residuos de biomasa

A modo de ejemplo se presenta tabla ordenada de menor a mayor de las 10 provincias con menor coste (Tabla 4).

Alicante	21,31
Córdoba	24
Madrid*	24,06
Cádiz*	28,12
Granada	28,8
Valencia	31,23
Huesca*	31,27
Castellón	31,59
Ciudad Real	34,12

Tabla 4. Coste recursos disponibles Puerta fábrica

Provincia	Precio medio puerta fábrica (€/t.m.s.)
-----------	--

Las Palmas 15,37

A continuación se muestra mapa con la distribución por provincias de costes puerta de fábrica (Fig. 5).

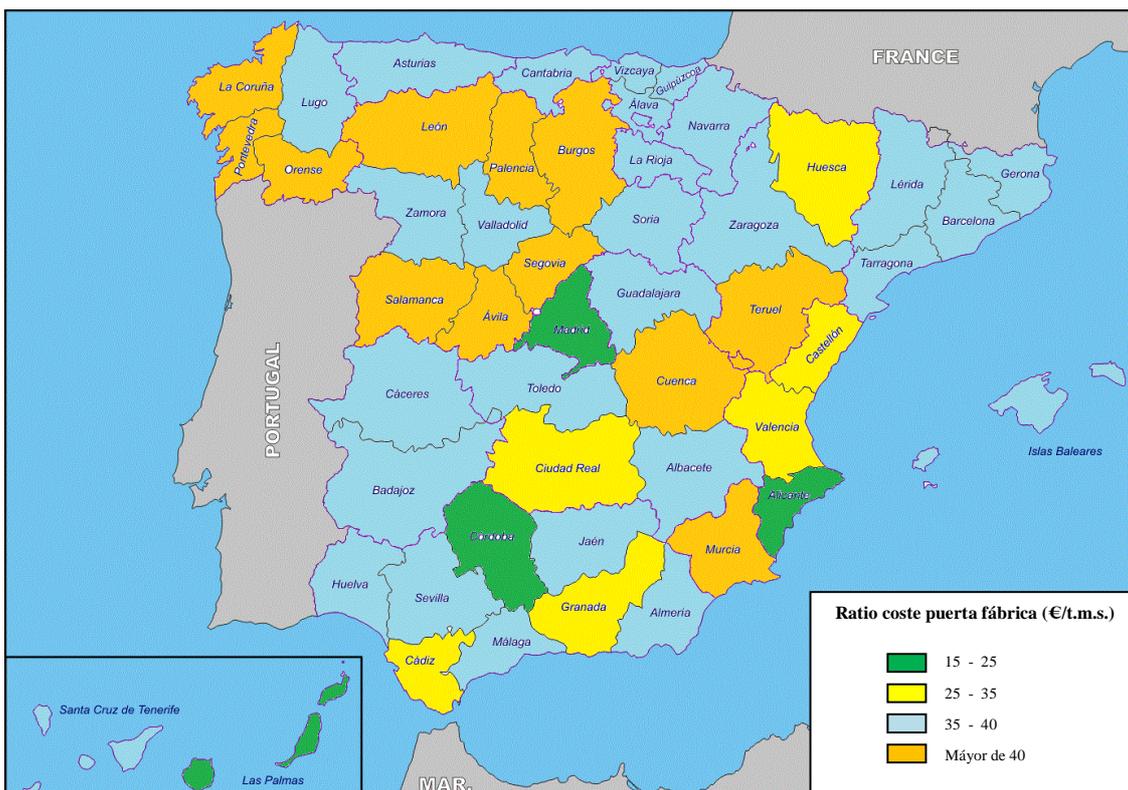
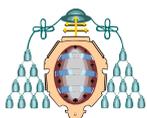


Fig. 5 Distribución de Costes de los Recursos puestos a puerta de fábrica



3.3.3 Análisis del Coste medio transporte

En este análisis hay que tener en cuenta que en 17 provincias de las 50 estudiadas no se ha podido determinar con exactitud el coste del transporte por no estar disponible en la base de datos BIORAISE, por lo que según se ha explicado con anterioridad, se ha estimado un precio en base a la media aritmética de todas las provincias en las que podemos obtener valor. Una vez

extraídos todos los datos, podemos observar que la provincia con menor coste de transporte es Santa Cruz de Tenerife con un coste de 6,19 €/t.m.s. frente a los 17,42 €/t.m.s. de Ciudad Real como la provincia más cara para mover nuestros residuos (Tabla 3). A continuación se muestra mapa con la distribución por provincias de los costes de transporte (Fig. 6).

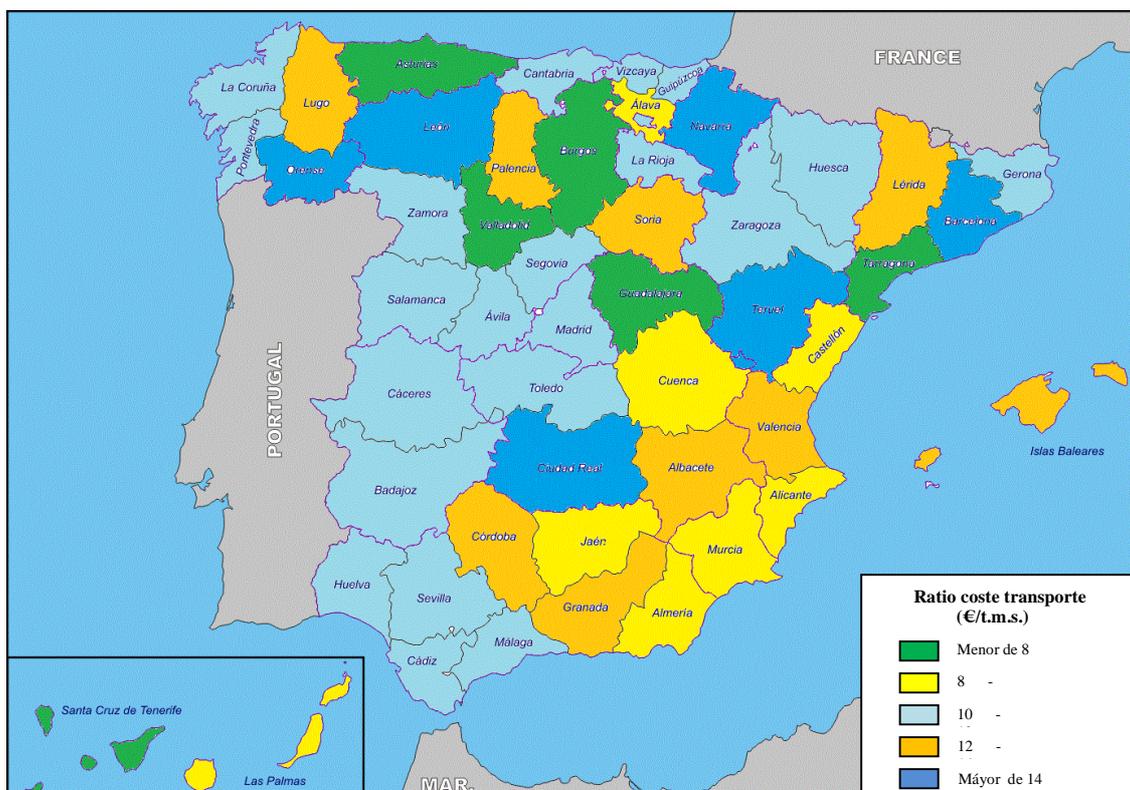


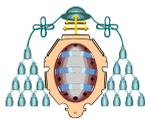
Fig. 6. Distribución de Coste del transporte

4. CONCLUSIONES

De este estudio podemos determinar que España tiene una cantidad de recurso disponible y aprovechable procedente de los residuos de la industria de la madera, con un potencial total de 1.376.476 t.m.s./año.

Se ha observado que algunas provincias generan cantidades importantes de residuos por encima de las 90.000 t.m.s./año como pueden ser La Coruña, Pontevedra y Barcelona, destacando

también que la mayoría de las provincias con grandes cantidades de recursos disponibles se encuentran en la zona norte del país como pueden ser Vizcaya, Burgos, Lugo, Asturias y Orense con valores todas ellas por encima de las 50.000 t.m.s./año. Hay que destacar entre estas provincias el caso de Murcia en la 4ª posición en recursos disponibles, que no se produce por tener próximos grandes bosques sino por la importante industria del mueble ubicada en esta provincia. En el lado opuesto tenemos las provincias con menor



cantidad de recurso disponible, como son Las Palmas o Jaén que no superan las 1.000 t.m.s./año.

Este orden de importancia en cuanto a cantidad se repite en los valores corregidos dada su relación de proporcionalidad con los no corregidos. En relación al Contenido energético, sucede algo similar, al ser proporcional a la cantidad de recursos, las provincias con mayor potencial energético son las mismas que en recursos y en el mismo orden ya sea corregido o no.

El total del contenido energético de España en esta clase de residuos asciende 25.827.954 GJ/año (sin aplicar factor de corrección), que es un dato muy importante a tener en cuenta para la implementación de tecnologías que permitan aprovechar dicho potencial energético.

Respecto a los costes de los recursos, hemos observado que estos aumentan proporcionalmente en relación a la cantidad de residuo disponible en cada provincia, así, según va aumentando la cantidad de residuo, cada vez se va encareciendo más su coste por tonelada.

Con un coste medio para el país de 36,41 €/t.m.s, el rango de coste de residuo de materia seca en España varía entre los 40,54 €/t.m.s de Palencia como precio más caro, hasta los 15,37 de las Palmas como el más barato.

Son relevantes los datos de las provincias con mayor cantidad de recursos como la Coruña y Pontevedra, con unos costes muy elevados de 40,07 y 40,21 €/t.m.s respectivamente.

Entre las provincias de menos coste de transporte, podríamos destacar Santa Cruz de Tenerife, Valladolid, Asturias y Burgos con valores que comienzan en los 6,19 €/t.m.s. para la primera de ellas, y entre las más caras tendríamos las provincias de Teruel, Navarra, León y Ciudad Real, con un precio para esta última de 17,42 €/t.m.s. como la más cara de España.

Una vez determinados los costes del recurso y del transporte podemos analizar los costes totales en cada provincia, con lo que podemos concluir que los costes totales de los residuos de la industria de la madera, varían entre 25,59 €/t.m.s de las Palmas como la más barata, hasta los 55,72 €/t.m.s. de la provincia de León como la más cara del país, duplicando el precio de la primera.

Se puede determinar de esta forma que el suministro de residuos procedentes de la industria de la madera, estaría por debajo de los 83 €/t.m.s

en todas las provincias de España, que es el precio mínimo de referencia para el suministro de madera a plantas de producción de pellet en Europa [27], combustible utilizado en aplicaciones térmicas y/o eléctricas en Europa.

Una vez analizados los resultados se puede concluir que España presenta un gran potencial de suministro en cantidad y precio en diferentes partes del país para la instalación de una planta de aprovechamiento de estos recursos.

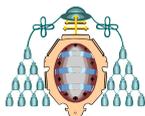
No obstante sería necesario hacer estudios locales del comportamiento del coste del recurso para evaluar en concreto cada localización específica.

NOMENCLATURA

- MRD: masa de recurso disponible (t.m.s./ año)
MRDC: masa de recurso disponible corregida (t.m.s./ año)
CT: Coste total
CPF: Coste puerta fábrica
CTr: Coste del transporte
PCI: Poder calorífico inferior (MJ /kg)
h: grado de humedad de la biomasa (%)
 λ : factor de corrección (adimensional)
PC seca: (MJ /kg)
CED: Cantidad de energía disponible (GJ / año)
CEDC: Cantidad de energía disponible corregida (GJ / año)
PER: Plan de Energías Renovables
GEI: Gases de efecto invernadero
GIS: Sistemas de Información Geográfica

REFERENCIAS

- [1] Salvador Ruiz Romero, Antonio Colmenar Santos, Manuel Alonso Castro Gil, EU plans for renewable energy. An application to the Spanish case, Renewable Energy, Volume 43, July 2012, Pages 322-330, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.033>.
- [2] Karoly Nagy, Krisztina Körmendi, Use of renewable energy sources in light of the "New Energy Strategy for Europe 2011-2020", Applied Energy, Volume 96, August 2012, Pages 393-399, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.066>.



- [3] Diario Oficial de la Unión Europea 5.6.2009, Directiva 2009/28/CE del parlamento Europeo y del Consejo, 23.04.2009
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:ES:PDF>
- [4] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) 2011-2020
- [5] Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020
- [6] Ricardo Estévez, La apuesta 20/20/20 para 2020 (ECOINTELIGENCIA) 2011
<http://www.ecointeligencia.com/2011/03/1a-apuesta-202020-para-2020/>
- [7] Jose Pablo Paredes Sánchez, Antonio José Gutiérrez Trashorras, Juan Manuel González aballín, Bio-smartcity: Biomass supply to a Smartcity. A case study.
- [8] Van Dam J, Faaij A, Lewandowski I, et al. (2007) Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. Biomass and Bioenergy.
- [9] F. Lopez-Rodriguez, C. Perez Atanet, F. Cuadros Blázquez, A. Ruiz Celma. Spatial assessment of the bioenergy potential of forest. residues in the western province of Spain, Caceres. 13.08.2009
- [10] Laura C Schneider, Ann P Kinzig, Eric D Larson, Luis A Solórzano, Method for spatially explicit calculations of potential biomass yields and assessment of land availability for biomass energy production in Northeastern Brazil, Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 84, Issue 3, May 2001, Pages 207-226,
[http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00242-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00242-5).
- [11] Antonio Gómez, Marcos Rodrigues, Carlos Montañés, César Dopazo, Norberto Fueyo, The potential for electricity generation from crop and forestry residues in Spain, Biomass and Bioenergy, Volume 34, Issue 5, May 2010,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.01.01>.
- [12] L. Gustavsson, P. Borjesson, B. Johansson, et al. (1995) Reducing CO2 emissions by substituting biomass for fossil fuels. Energy 20
- [13] F. López-Rodríguez, C. Pérez Atanet, F. Cuadros Blázquez, A. Ruiz Celma, Spatial assessment of the bioenergy potential of forest residues in the western province of Spain, Caceres, Biomass and Bioenergy, Volume 33, Issue 10, October 2009, Pages 1358-1366, ISSN 0961-9534,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.05.026>.
- [14] Ana Sancho/Bioenergy International. El district heating urbano con biomasa más extenso de España (2015). Publicado en Bioenergy international nº 25.10.2014.
<http://www.bioenergyinternational.es/noticias/News/show/el-district-heating-urbano-con-biomasa-mas-extenso-de-espana-680>
- [15] Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables Observatorio Tecnológico de la Energía jueves, 26 de enero de 2012
- [16] BIORAISE, Biomass GIS database (2015). Fecha de acceso: Julio 2015. Disponible en: <http://bioraise.ciemat.es/bioraise/>
- [17] Esteban, L.S., Carrasco, J.E. Biomass resources and cost: assessment in different EU countries. Revista: Biomass and Bioenergy. Vol 35 (2011), S21-S30
- [18] Esteban, L.S., Ciria, M.P.; Carrasco, J.E. An assessment of relevant methodological elements and criteria for surveying sustainable agricultural and forestry biomass by-products for energy purposes Bioresources 3 (2008). 910-928.
- [19] José Antonio Ruiz Díaz y varios, Cambio climático, un desafío a nuestro alcance, Ed.Universidad de Salamanca, 2009.
- [20] ALTENER. (2002) Joint opportunities for European biomass, ALTENER final report. Oviedo: University of Oviedo, Spain.
- [21] Lopez-Rodriguez F, Perez Atanet C, Cuadros Blázquez F, et al. (2009) Spatial assessment of the bioenergy potential of forest residues in the western province of Spain, Caceres. Biomass and Bioenergy.
- [22] Xavier Elías Castells, Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad, Ed. Díaz de Santos, 2012.



- [23] Dirección General de Industria Energía y Minas de Andalucía, Instalaciones de Biomasa, 2008.
- [24] Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), A. INFORME DE PRECIOS ENERGÉTICOS: COMBUSTIBLES Y CARBURANTES, Datos a 21 de abril de 2015.
- [25] Plataforma Tecnológica Española de la Biomasa (BioPlat), Pellets de biomasa en España.
- [26] ENCE, energía y celulosa. Presentación Corporativa. Enero 2014
- [27] E. Tromborg, T. Ranta, J. Schweinle, et al. (2013) Economic sustainability for wood pellets production – a comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US. Biomass and Bioenergy 57: 68–77.