

## **SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LA HIBRIDACIÓN TÉRMICA SOLAR CON BIOMASA FORESTAL EN ESPAÑA**

**Sandra Turrado Fernández<sup>[\*]</sup>, Antonio José Gutiérrez Trashorras<sup>[\*\*]</sup>, José Pablo  
Paredes Sánchez<sup>[\*\*]</sup>  
<sup>[\*]</sup> Alumno; <sup>[\*\*]</sup> Tutor(es)  
[uo196979@uniovi.es](mailto:uo196979@uniovi.es)**

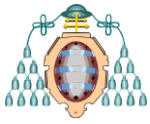
Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

### **RESUMEN**

La actual preocupación por el cambio climático y por la necesidad de buscar alternativas sostenibles a los combustibles fósiles, ha llevado a la Unión Europea al establecimiento de una serie de objetivos en materia de medio ambiente y energías renovables para el año 2020. La hibridación térmica solar con biomasa forestal se presenta como una tecnología con un papel importante en el cumplimiento de dichos objetivos por lo que este estudio analizará las posibilidades de su implementación en España. El recurso de la biomasa forestal fue analizado mediante la aplicación BIORAISE, mientras que los datos referidos al recurso solar fueron obtenidos utilizando la aplicación PVGIS. Una vez hecha la recopilación de datos se elaboraron mapas en los que se mostraba por provincia, el ratio de radiación solar, la biomasa potencial, la biomasa disponible, los costes totales y el ratio de contenido energético de la biomasa disponible. Tras ello se dispuso a analizar el recurso híbrido mediante la suma de los contenidos energéticos de ambos tipos de energía. Los resultados mostraron que el recurso solar es el que más peso tiene en la hibridación y que por tanto, el sur de España es la zona más adecuada para implementar este tipo de tecnologías por disponer de una gran cantidad de dicho recurso.

### **ABSTRACT**

The current concern about the climate change and the need to search for sustainable alternatives to fossil fuels, have carried the European Union to establish objectives on the subject of environment and renewable energy sources to 2020. The solar thermal hybridization with forest biomass appears to be a technology with an important role on the fulfillment of these objectives. This paper analyses the possibilities of its implementation in Spain. The forest biomass resource has been analyzed with the BIORAISE application, while the solar radiation data have been obtained from the PVGIS application. Once the data have been gathered, the solar radiation ratio, the potential biomass, the available biomass, the total cost and the energetic content ratio of the available biomass have been mapped. After that, the hybrid resource was analyzed by adding the energetic content of both energy sources. The results show that the solar resource has more influence in the hybridization than the biomass, and therefore, the south of Spain is more suitable to implement this kind of technology because this area has a huge amount of this resource.



## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los desafíos más importantes a los que se enfrenta la humanidad en la actualidad. Este está provocado por la emisión a la atmósfera de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI). Mediante el desarrollo y utilización de energías renovables, se pretende garantizar un desarrollo sostenible y acabar con la actual dependencia de los combustibles fósiles [1, 2].

En marzo de 2007 se aprobó en Consejo Europeo un plan energético a seguir por todos los miembros de la Unión Europea, en el que se establecieron los siguientes objetivos para el año 2020: reducción de un 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero, reducción de un 20% del consumo de energía primaria mediante el fomento de la eficiencia energética, e incremento de hasta el 20% del consumo de energías renovables. La Directiva 2009/28/CE asumió dichos objetivos y solicitó a los Estados miembros de la Unión que dictaran su propio Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) [3]. De acuerdo con ello se redactó en España el llamado Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, en el que se recoge la situación actual y las propuestas de mejoras para cumplir con los objetivos establecidos por la Unión Europea. En cuanto a las energías renovables, este Plan es aun más ambicioso que el europeo ya que propone que para el año 2020 las energías renovables han de representar un 20,8% del consumo final bruto de energía en España [4].

En relación a ello, este estudio pretende analizar la situación actual y las perspectivas de futuro de la hibridación térmica solar con biomasa forestal en España. Esta tecnología consiste en utilizar de forma conjunta y en función de las necesidades térmicas del momento, la energía solar y la biomasa forestal para producir energía térmica, que podría ser empleada en sistemas de calefacción, en sistemas de agua caliente sanitaria (ACS), en piscinas, en aplicaciones para usos industriales o en sistemas de climatización solar [4, 5]. La necesidad de hibridar surge del carácter discontinuo de la energía solar que impide, incluso contando con sistemas de almacenamiento de energía, cubrir el 100% de las necesidades térmicas. Así por ejemplo, para el caso del ACS, actualmente solo se consigue cubrir entre un 50 y

un 80% de la demanda total con energía solar, por lo que el porcentaje restante ha de suplirse con un sistema de apoyo energético [5, 6]. La fuente energética complementaria más adecuada es la biomasa forestal por ser el principal recurso bioenergético utilizado en aplicaciones térmicas [7]. Por otra parte, la utilización de biomasa se puede ver como un uso indirecto de la energía solar, ya que esta es capaz de almacenar una pequeña fracción de la radiación incipiente gracias al proceso de la fotosíntesis [8]. Además, si se utiliza biomasa forestal autóctona, se fomenta el empleo y el desarrollo económico de la región, y se obtienen efectos medioambientales positivos como el ahorro en tratamientos repobladores y restauradores y la disminución del riesgo de incendio [7, 9].

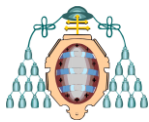
El objetivo de este estudio es determinar qué zonas de España podrían utilizar la hibridación térmica solar con biomasa forestal de una manera más eficiente y económica en función de la cantidad de radiación solar que reciben y de la cantidad de biomasa que poseen. Por tanto se trata de un estudio orientado a la instalación de plantas de elevada potencia que sean capaces de cubrir las necesidades térmicas en una amplia zona alrededor de la misma, es decir, a la instalación de los llamados district heating [6]. La utilización de este tipo de sistemas ayudaría a España a alcanzar el objetivo del 20,8% de utilización de energía renovable establecido en el PER con recursos autóctonos, de ahí la importancia de realizar un estudio como el sugerido.

## 2. MÉTODO DE TRABAJO

Se ha realizado un estudio por provincia de la radiación solar incidente y de la cantidad de biomasa forestal disponible, así como de los costes de transporte y recolección de la misma.

### 2.1 Estudio del recurso solar

España, debido a sus condiciones climáticas y a su situación geográfica, es uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de sol, por lo que presenta las condiciones óptimas para el aprovechamiento de la energía



solar [1, 10]. Para el estudio del recurso solar en cada provincia española se ha utilizado la aplicación PVGIS [11]. El PVGIS es una herramienta SIG (Sistema de Información Geográfica) desarrollada por el Instituto de la Energía y el Transporte (IET) que permite obtener la radiación solar horizontal anual por unidad de superficie (ratio de radiación solar), indicando la región de la que se desea conocer el dato [12, 13].

## 2.2 Estudio del recurso biomasa forestal

España se caracteriza por poseer una gran cantidad de biomasa procedente de fuentes muy diversas (podas, leñas, astillas, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos...), que permite asegurar un abastecimiento adecuado y continuo en cualquier parte del país. Este estudio se centrará en la biomasa forestal, es decir, frondosas, coníferas y mezclas de ambas, por ser el tipo de biomasa más adecuado para aplicaciones térmicas [7, 14, 15].

Numerosos estudios han evaluado el potencial de la biomasa en distintas regiones mediante herramientas SIG [9, 16]. En este caso se ha utilizado una aplicación SIG llamada BIORAISE y desarrollada por el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). Esta aplicación permite evaluar los recursos de biomasa forestal existentes en España, exceptuando las Islas Canarias. La última actualización de dicha aplicación permite no solo calcular la biomasa existente en superficies con radios discretos de entre 1 y 100km alrededor de una localización determinada, sino también calcular directamente la biomasa existente en una provincia [17].

El método de cálculo de la biomasa forestal utilizado por la aplicación BIORAISE, consiste en otorgar a cada una de las categorías del suelo existente en la cartografía europea de usos del suelo Corine Land Cover, un valor medio de productividad anual tomado de las tablas de producción de las distintas especies forestales. De esta forma permite obtener información sobre la biomasa potencial total en la superficie de estudio. Una vez conocido ese dato, es capaz de calcular la biomasa disponible introduciendo diferentes restricciones de tipo medioambiental y además, el

coste de recolección, el coste de transporte y el contenido energético de la biomasa disponible [18, 19].

La metodología empleada consistió en definir mediante el punto central y el radio, un círculo de área  $A_c$ , que abarcara la mayor superficie posible de dicha provincia [20, 21]. De esta manera se consigue estudiar la biomasa en un radio de acción adecuado alrededor de un punto central, que se correspondería con el lugar idóneo para la instalación de la planta de district heating [22]. Así por ejemplo, en la figura 1 se muestra el círculo que representa la provincia de Asturias. Se actuó de este modo con todas las provincias que permite la aplicación BIORAISE.

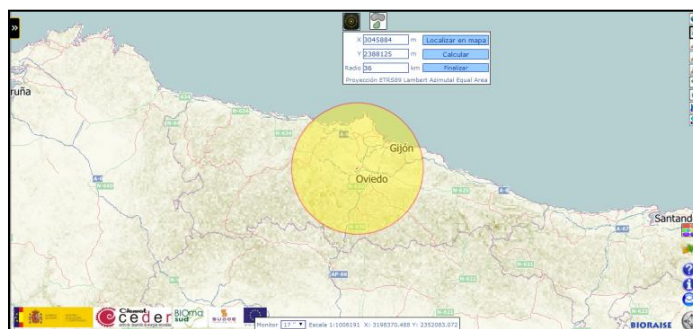
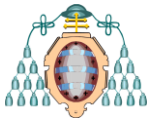


Fig. 1 Círculo que representa la provincia de Asturias [17]

La metodología anteriormente explicada fue utilizada para la obtención de todos los parámetros a excepción de la biomasa forestal potencial. Esta última se analizó mediante la opción del BIORAISE que permite analizar el recurso en una provincia determinada, indicando directamente el país y la provincia que se desea estudiar.

### 2.2.1 Biomasa forestal potencial y disponible

La biomasa forestal potencial es aquella que resulta de considerar el aprovechamiento de toda la superficie arbolada en la que se encuentran presentes aquellas especies de interés forestal (frondosas, coníferas y mezcla de ambas) [14, 15]. Por tanto, el total de biomasa forestal potencial ( $b_p$ ) existente en una provincia, evaluada en toneladas de materia seca anuales (t.m.s./año), será el resultado de sumar el conjunto de biomasa potencial que hay de las distintas especies (ec. 1):



$$b_p = b_{pf} + b_{pc} + b_{pm} \quad (\text{ec. 1})$$

La biomasa disponible por su parte, es aquella resultante de aplicar a la biomasa potencial total restricciones medioambientales, económicas y técnicas; así como de considerar los otros usos como madera y la eficiencia de la recogida, pues resulta difícil recoger todo el material y por razones ecológicas se deben dejar restos en el terreno [14, 15]. El total de biomasa disponible ( $b_d$ ), evaluada en toneladas de materia seca anuales (t.m.s./año), se obtiene como resultado de la suma de la biomasa disponible de las distintas especies consideradas (ec. 2):

$$b_d = b_{df} + b_{dc} + b_{dm} \quad (\text{ec. 2})$$

Con el fin de relacionar la biomasa disponible en el círculo representativo de cada provincia, con el total de biomasa potencial en la provincia, se ha definido el factor de utilización de la biomasa por provincia (ec. 3):

$$\text{Factor de utilización (\%)} = \frac{b_d}{b_p} \times 100 \quad (\text{ec. 3})$$

Para poder comparar los datos obtenidos para cada provincia, se calculó el ratio de biomasa disponible ( $R_{bd}$ ), es decir, la cantidad de biomasa disponible por unidad de superficie (ec. 4). La superficie considerada es la del círculo que representa la provincia en cuestión:

$$R_{bd} = \frac{b_d}{A_c} \quad (\text{ec. 4})$$

### 2.2.2 Contenido energético de la biomasa forestal disponible

BIORAISE calcula el contenido energético en función del PCI y considerando que la biomasa tiene un contenido en humedad del 0%. El contenido energético del conjunto de la biomasa forestal disponible (CE) será la suma de los contenidos energéticos de las distintas especies (ec. 5):

$$CE = CE_f + CE_c + CE_m \quad (\text{ec. 5})$$

Con el fin de poder comparar de una manera más adecuada el contenido energético de cada provincia, se ha definido el ratio de contenido energético ( $R_{CE}$ ), es decir, el contenido energético en biomasa forestal por unidad de superficie (ec. 6):

$$R_{CE} = \frac{CE}{A_c} \quad (\text{ec. 6})$$

### 2.2.3 Costes de recolección y transporte de la biomasa forestal

En este estudio solo se han analizado los costes del recurso potencial, es decir, antes de sufrir el proceso de transformación energética. Por ello no tiene sentido analizar el coste del recurso solar pero sí el de la biomasa, pues esta requiere ser recolectada y transportada antes de ser utilizada para obtener energía.

Los costes de recolección incluyen los costes derivados del apeo, de la reunión del material, del desembosque y del compactado [19]. El coste de recolección medio de la biomasa forestal ( $C_r$ ) fue obtenido promediando los costes de recolección de las distintas especies (ec. 7):

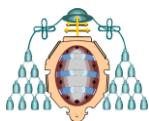
$$C_r = \frac{C_{rf}b_{df} + C_{rc}b_{dc} + C_{rm}b_{dm}}{b_d} \quad (\text{ec. 7})$$

Definiendo previamente el coste del combustible, que en este caso se tomó como 1,36€ [24], BIORAISE permite obtener también el coste del transporte de la biomasa. Los costes de transporte se refieren al coste que supone llevar el material recolectado desde el punto de recolección hasta el centro del círculo definido [19] y se calculan de forma similar a los costes de recolección (ec. 8):

$$C_t = \frac{C_{tf}b_{df} + C_{tc}b_{dc} + C_{tm}b_{dm}}{b_d} \quad (\text{ec. 8})$$

El coste total que supone la obtención de la biomasa (C) será la suma de ambos costes (ec. 9):

$$C = C_r + C_t \quad (\text{ec. 9})$$



### 2.3 Estudio del recurso híbrido

La hibridación térmica combina energía solar con biomasa para generar energía térmica. La necesidad de combinar ambos tipos de energía surge por la imposibilidad de cubrir con energía solar las necesidades energéticas de un consumidor final de manera continuada dada la naturaleza del recurso [5, 6].

La forma de evaluar qué provincias de España son más adecuadas para implementar esta tecnología consistirá en sumar la cantidad de energía anual por unidad de superficie que aporta el recurso solar ( $R_{solar}$ ) y la biomasa forestal ( $R_{CE}$ ) para obtener el ratio de recurso híbrido ( $R_H$ ), según se muestra en la ecuación 10.

$$R_H = R_{solar} + R_{CE} \quad (\text{ec. 10})$$

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Radiación

La figura 2 muestra el ratio de radiación solar en España. Las provincias con mayor ratio de radiación solar son Cádiz y Huelva con más de

6.200.000 GJ/km<sup>2</sup>año, frente a las provincias de Asturias y A Coruña con valores inferiores a los 4.615.000 GJ/km<sup>2</sup>año. El ratio de radiación solar medio español tiene un valor de 5.569.000 GJ/km<sup>2</sup>año.

### 3.2 Biomasa forestal

#### 3.2.1 Biomasa forestal potencial y biomasa forestal disponible

Mediante el uso de la aplicación BIORAISE en el modo que considera el total de la provincia, se obtuvieron datos de la biomasa potencial total. Estos datos se encuentran reflejados en la figura 3, en la que se observa que las provincias con más biomasa potencial total son Huelva, Navarra y Huesca, con más de 533.000 t.m.s./año; mientras que las provincias con menor cantidad de biomasa potencial son Palencia, Murcia y Alicante con valores inferiores a las 96.000 t.m.s./año. En España se ha obtenido que existe un total de 13.192.603 t.m.s./año de biomasa forestal potencial.

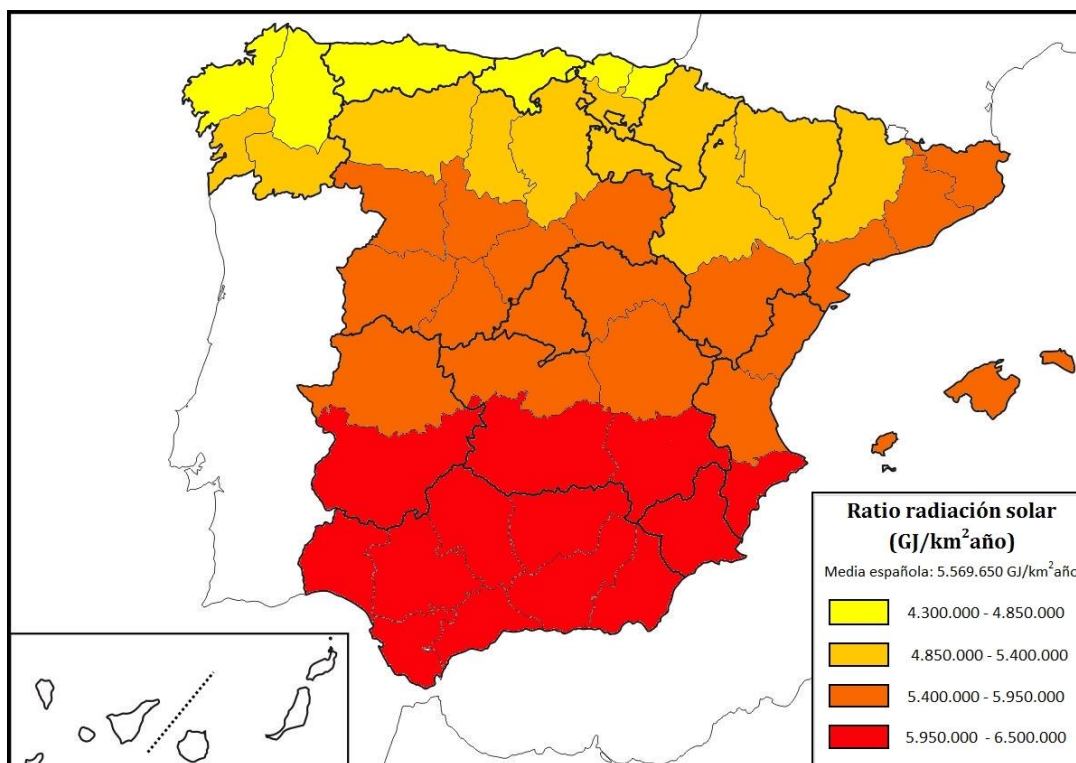
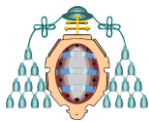


Fig. 2 Mapa del ratio de radiación solar



Para poder estudiar los costes de transporte mediante la aplicación BIORAISE, es necesario fijar un círculo que represente la provincia en cuestión. En consecuencia, realmente no se está considerando la biomasa disponible real en la

provincia si no, la disponible en el círculo. Los datos obtenidos se pueden ver en la figura 4, en la que se muestra que las provincias con menor cantidad de biomasa forestal disponible son Madrid y Baleares, frente a Huesca y Cuenca.

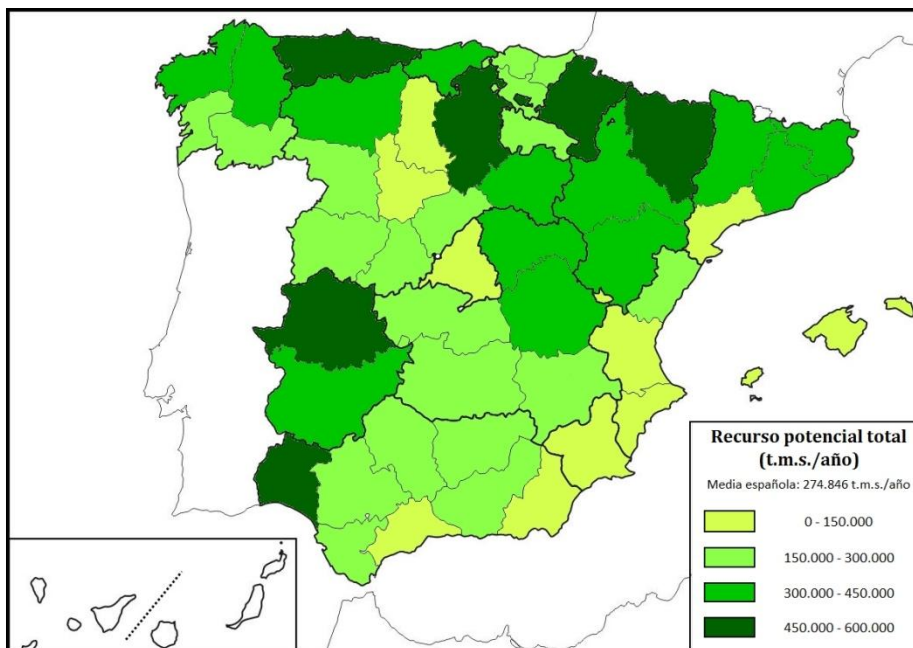


Fig. 3 Mapa de la biomasa forestal potencial total en España

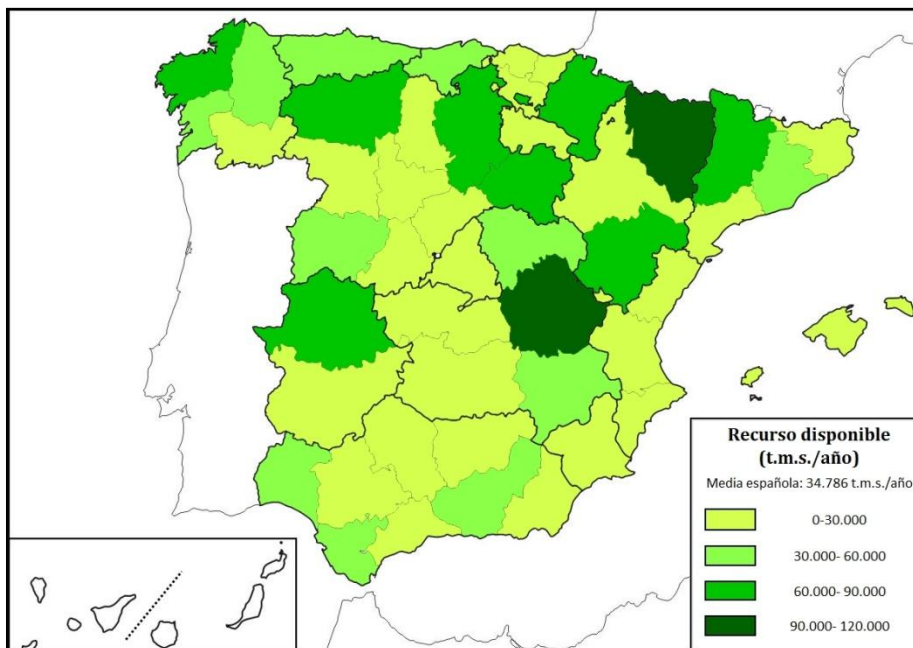
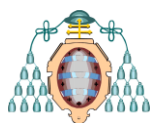


Fig. 4 Mapa de biomasa forestal disponible en España



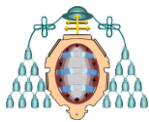
En la tabla 1 se muestran los factores de utilización de la biomasa en cada provincia, observándose que Cádiz, Teruel y Cuenca presentan los mayores factores de utilización con valores entre el 20 y el 26%, frente a Madrid,

Baleares y Palencia con valores inferiores al 2,6%. El factor de utilización medio de España es de 11,41%.

Tabla 1 Factor de utilización de la biomasa forestal por provincia

Provincia	Factor de utilización (%)	Provincia	Factor de utilización (%)
Álava	7,14	Jaén	3,67
Albacete	19,08	León	16,70
Alicante	12,47	Lleida	19,67
Almería	13,79	Lugo	18,63
Asturias	9,48	Madrid	1,16
Ávila	12,26	Málaga	10,88
Badajoz	2,86	Murcia	3,94
Baleares	2,41	Navarra	14,54
Barcelona	12,80	Ourense	13,58
Burgos	12,92	Palencia	2,57
Cáceres	16,23	Pontevedra	19,60
Cádiz	20,75	La Rioja	9,56
Cantabria	11,47	Salamanca	17,36
Castellón	9,62	Segovia	10,55
Ciudad Real	2,82	Sevilla	8,38
Córdoba	6,53	Soria	17,58
A Coruña	19,17	Tarragona	13,06
Cuenca	26,13	Teruel	20,92
Girona	7,06	Toledo	3,90
Granada	16,26	Valencia	7,95
Guadalajara	11,48	Valladolid	8,76
Guipúzcoa	3,57	Vizcaya	10,35
Huelva	8,17	Zamora	4,54
Huesca	19,66	Zaragoza	5,50
		España <sup>a</sup>	11,41

<sup>a</sup> Media total.



En cuanto al ratio de biomasa forestal disponible (fig. 5), las provincias con mayor ratio son A Coruña, Vizcaya y Pontevedra, frente a Madrid, Murcia y Ciudad Real.

### 3.2.2 Contenido energético biomasa disponible

En la figura 6 se ha representado el ratio del contenido energético en biomasa, observándose que las provincias con menor ratio son Madrid, Murcia y Ciudad Real, frente a Pontevedra, A Coruña y Vizcaya.

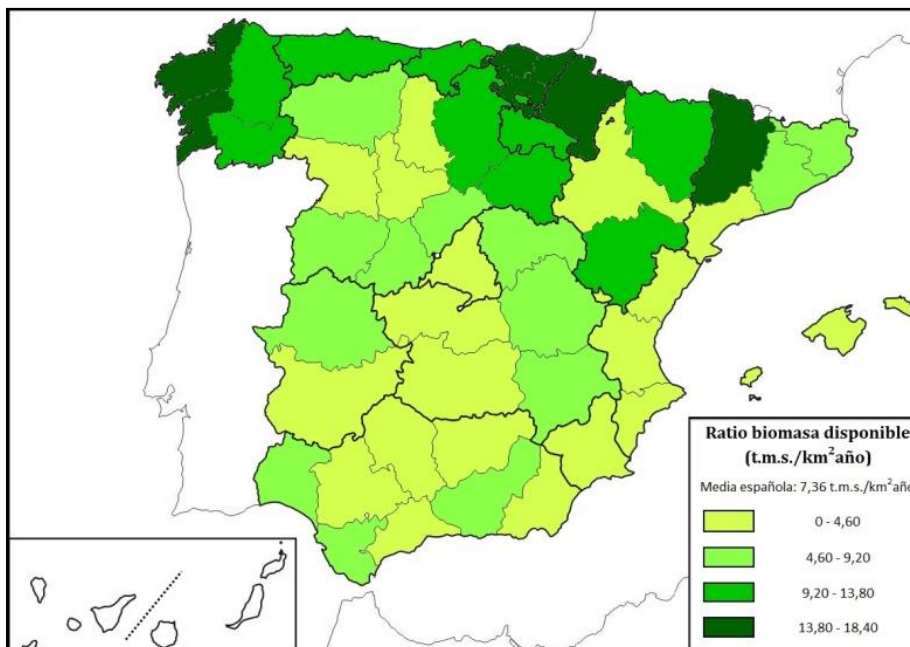


Fig. 5 Ratio de biomasa forestal disponible

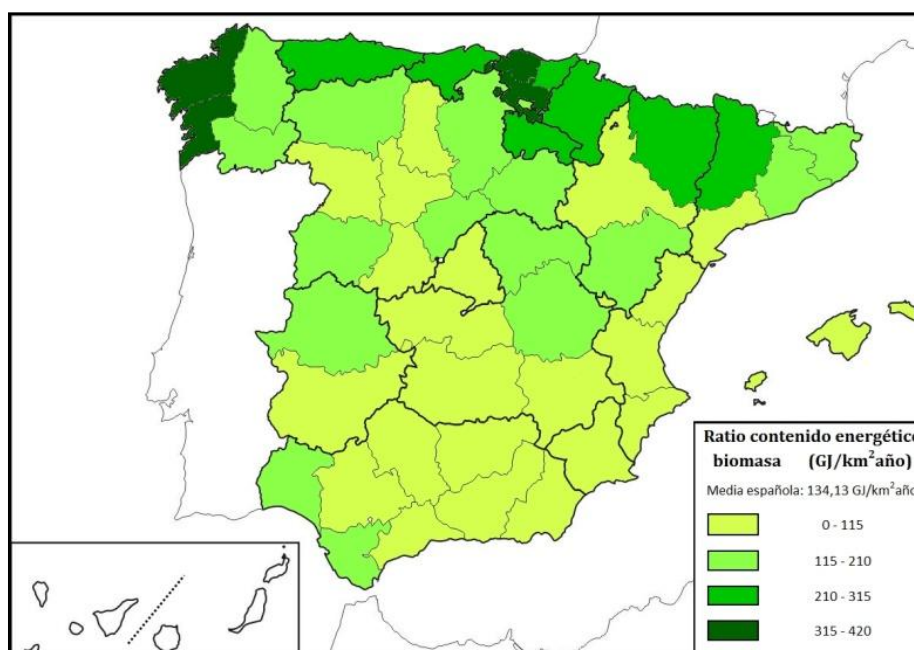
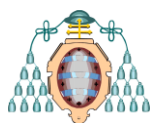


Fig. 6 Ratio contenido energético de la biomasa forestal disponible





### 3.2.3 Costes de recolección y transporte

En la tabla 2 se encuentran tabulados los costes de recolección y transporte de la biomasa forestal para cada provincia.

Tabla 2. Costes de recolección y transporte por provincia.

Provincia	Coste recolección €/t m.s.	Coste transporte €/t m.s.
Álava	61,60	10,30
Albacete	59,14	23,12
Alicante	46,43	16,79
Almería	67,12	23,25
Asturias	63,73	11,58
Ávila	59,49	13,25
Badajoz	37,57	19,45
Baleares	37,90	14,23
Barcelona	53,62	16,65
Burgos	60,30	12,97
Cáceres	59,57	18,28
Cádiz	61,03	19,48
Cantabria	67,20	14,43
Castellón	60,12	21,57
Ciudad Real	53,23	19,12
Córdoba	40,44	19,03
A Coruña	53,90	13,90
Cuenca	58,00	19,05
Girona	54,75	13,08
Granada	68,28	20,65
Guadalajara	59,51	18,32
Guipúzcoa	67,30	10,69
Huelva	36,28	18,37
Huesca	63,92	19,17
Jaén	59,89	25,15
León	61,22	15,42
Lleida	59,62	18,53
Lugo	55,02	14,22
Madrid	57,18	11,05
Málaga	56,79	21,20
Murcia	39,16	24,02
Navarra	67,31	16,05
Ourense	53,23	13,53

Palencia	44,36	12,28
Pontevedra	57,32	12,55
La Rioja	61,86	10,74
Salamanca	57,99	14,75
Segovia	60,54	15,78
Sevilla	40,38	18,95
Soria	59,75	12,44
Tarragona	50,81	19,08
Teruel	57,62	25,36
Toledo	66,07	21,60
Valencia	39,70	20,86
Valladolid	52,71	10,76
Vizcaya	64,70	10,76
Zamora	55,33	11,57
Zaragoza	59,33	18,79
España <sup>b</sup>	56,01	16,71

<sup>b</sup> Media total.

En la figura 7 se encuentra representado el coste total que conlleva la biomasa, es decir, la suma de los costes de recolección y transporte. Las provincias con menores costes totales son Baleares, Huelva y Palencia con valores inferiores a los 57 €/t.m.s.; mientras que las provincias con costes más elevados son Toledo, Granada y Almería con valores superiores a los 87 €/t.m.s.

### 3.3 Hibridación térmica

Para medir la capacidad de una provincia de implementar la hibridación térmica con biomasa, se ha sumado el contenido energético de la biomasa por unidad de superficie, a la radiación solar anual que incide por unidad de superficie horizontal. De esta manera se ha obtenido el mapa de la figura 8, en el que se observa que las provincias con mayor potencial son las ocho provincias andaluzas, Badajoz, Ciudad Real, Albacete, Murcia y Alicante. Por otra parte, si comparamos este mapa con el obtenido para la radiación solar (fig. 2) se observa un resultado muy similar. Esto es debido a que la radiación solar es la energía que más peso tiene en la hibridación, es decir, proporciona más energía que la biomasa. De ahí que por lo general, cuanto más nos desplazamos al sur de España, más adecuado sea implementar la hibridación.

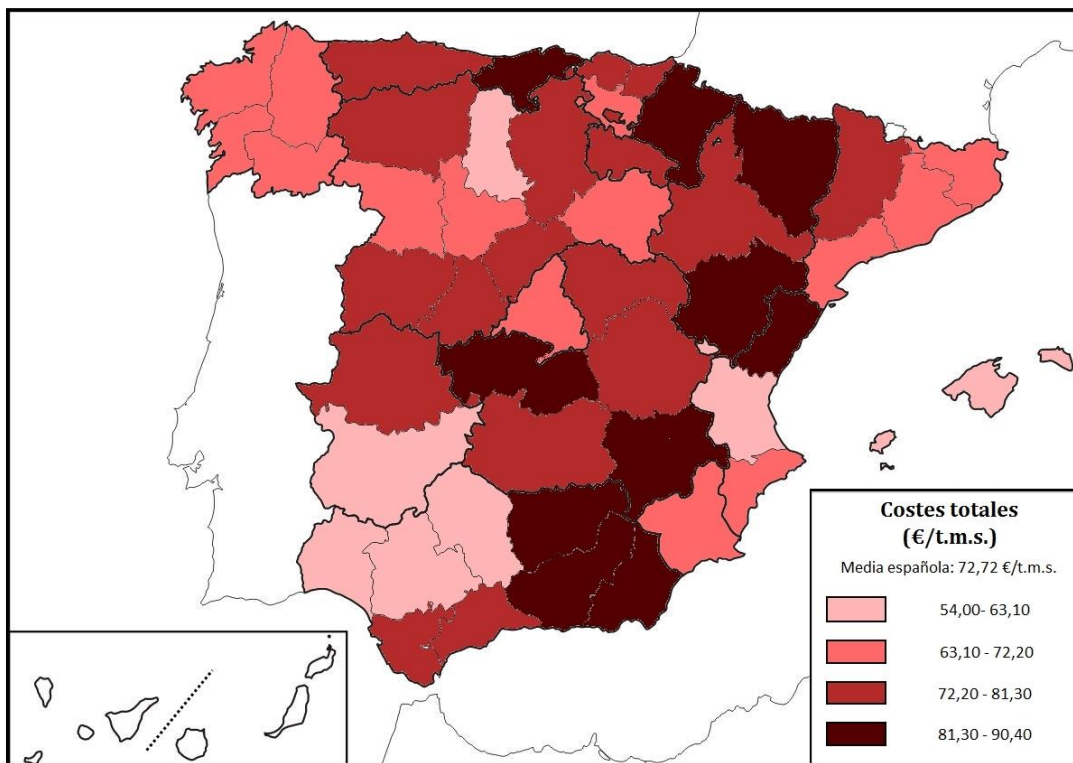


Fig. 7 Mapa de costes totales de la biomasa forestal

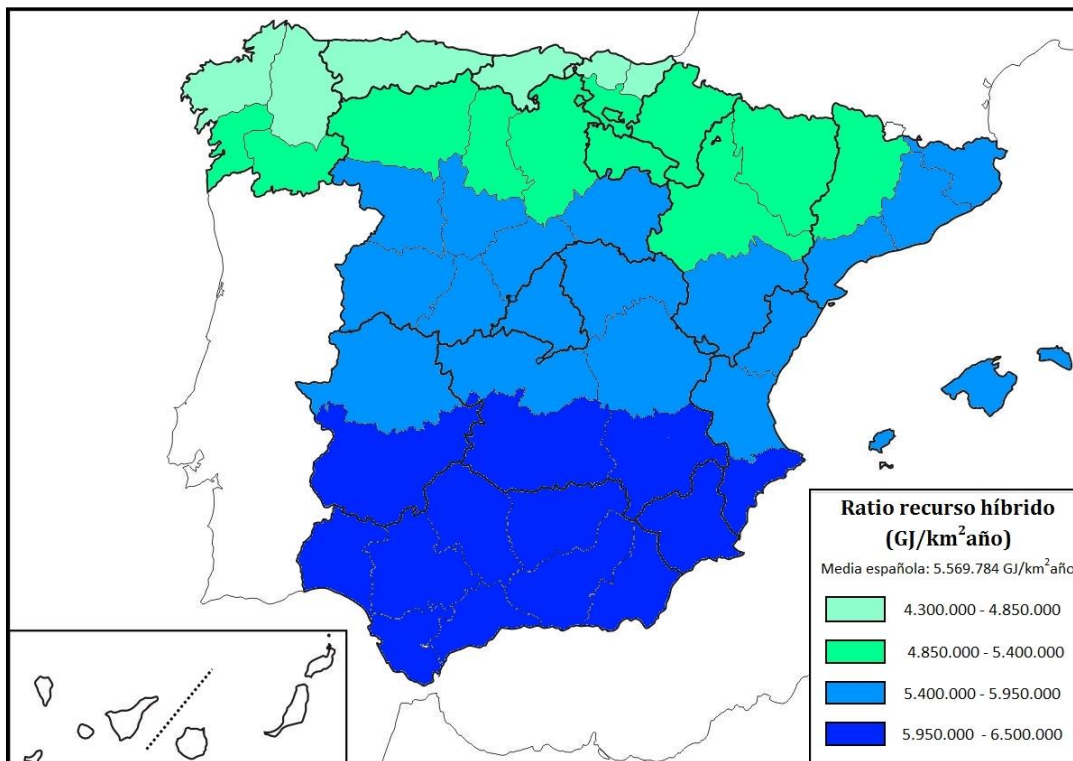
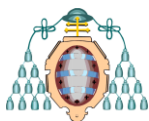


Fig. 8 Mapa del ratio de recurso híbrido (solar y biomasa forestal) de España



#### 4. CONCLUSIONES

España es un país con una media de radiación solar  $5.569.650 \text{ GJ/km}^2 \text{ año}$ , siendo Asturias y A Coruña las provincias con menor nivel de radiación (inferior a  $4.612.000 \text{ GJ/km}^2 \text{ año}$ ) y Cádiz y Huelva las provincias con mayor (más de  $6.200.000 \text{ GJ/km}^2 \text{ año}$ ), si no se tiene en cuenta las dos provincias de la Comunidad Autónoma de Canarias.

España tiene una cantidad de biomasa forestal potencial total de  $13.192.603 \text{ t.m.s./año}$ , siendo Huelva y Navarra las provincias con mayor cantidad de biomasa potencial con más de  $540.000 \text{ t.m.s./año}$ , frente a Murcia y Alicante con menos de  $85.000 \text{ t.m.s./año}$ . Respecto a la biomasa forestal disponible, Huesca y Cuenca son las provincias con mayor cantidad (superior a  $104.000 \text{ t.m.s./año}$ ), mientras que Madrid y Baleares con las provincias con menor cantidad (inferior a  $2.400 \text{ t.m.s./año}$ ). Las provincias con mayor factor de utilización de la biomasa son Cádiz, Teruel y Cuenca con valores entre el 20 y el 26%; frente a Madrid, Baleares y Palencia con valores inferiores al 2,6%. El factor de utilización promedio es del 11,41%.

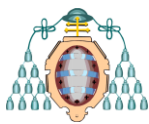
Respecto a los costes de la biomasa forestal, las provincias con mayores costes totales son Toledo, Granda y Almería con costes entre los 87,67 y los 90,38 €/t.m.s.; y las provincias con menores costes totales son Baleares, Huelva y Palencia con valores entre los 52,13 y los 56,64€/t.m.s. El coste total medio en España de la biomasa forestal es de 72,72€/t.m.s.. Si nos fijamos solo en los costes de recolección, Huelva, Badajoz y Baleares presentan los menores costes frente a Guipúzcoa, Navarra y Granada. En cuanto a los costes de transporte de la biomasa, que como es lógico están influenciados por la superficie de la provincia, las provincias de Álava, Guipúzcoa y La Rioja presentan los menores valores de estos, frente a Murcia, Jaén y Teruel.

En cuanto a la hibridación, ha quedado demostrado que el recurso solar es el que mayor peso energético tiene, es decir, proporciona mayor cantidad de energía que la biomasa por unidad de superficie. Es por ello que aquellas provincias con mayor recurso solar se corresponden con aquellas de mayor recurso híbrido, es decir, cuanto más nos desplazamos hacia el sur de la península, más

recurso híbrido hay disponible. Así las provincias con menor cantidad de recurso híbrido por unidad de superficie son Asturias, A Coruña y Cantabria con menos de  $4.620.000 \text{ GJ/km}^2 \text{ año}$ , frente a Sevilla, Granada, Cádiz y Huelva con más de  $6.180.000 \text{ GJ/km}^2 \text{ año}$ . El valor promedio de cantidad de recurso híbrido en España es de  $5.569.784 \text{ GJ/km}^2 \text{ año}$ . A la vista de los resultados se puede concluir que este tipo de hibridación debe de tenerse en cuenta en España como fuente de energía alternativa dado su gran potencial.

#### NOMENCLATURA

$A_c$ : área del círculo que representa una provincia determinada ( $\text{km}^2$ )  
 $b_d$ : biomasa forestal disponible (t.m.s./año)  
 $b_{dc}$ : biomasa disponible de coníferas (t.m.s./año)  
 $b_{df}$ : biomasa disponible de frondosas (t.m.s./año)  
 $b_{dm}$ : biomasa disponible de mezcla de frondosas y coníferas (t.m.s./año)  
 $b_p$ : biomasa forestal potencial (t.m.s./año)  
 $b_{pc}$ : biomasa potencial de coníferas (t.m.s./año)  
 $b_{pf}$ : biomasa potencial de frondosas (t.m.s./año)  
 $b_{pm}$ : biomasa potencial de mezcla de frondosas y coníferas (t.m.s./año)  
 $C$ : coste total (€/t.m.s./año)  
 $CE$ : contenido energético del total de la biomasa forestal ( $\text{GJ/año}$ )  
 $CE_c$ : contenido energético de las coníferas ( $\text{GJ/año}$ )  
 $CE_f$ : contenido energético de las frondosas ( $\text{GJ/año}$ )  
 $CE_m$ : contenido energético de la mezcla de frondosas y coníferas ( $\text{GJ/año}$ )  
 $C_r$ : coste de recolección de la biomasa forestal (€/t.m.s.)  
 $C_{rc}$ : coste de recolección de las coníferas (€/t.m.s.)  
 $C_{rf}$ : coste de recolección de las frondosas (€/t.m.s.)  
 $C_{rm}$ : coste de recolección de la mezcla de frondosas y coníferas (€/t.m.s.)  
 $C_t$ : coste de transporte de la biomasa forestal (€/t.m.s.)  
 $C_{tc}$ : coste de transporte de las coníferas (€/t.m.s.)  
 $C_{tf}$ : coste de transporte de las frondosas (€/t.m.s.)



$C_{tm}$ : coste de transporte de la mezcla de frondosas y coníferas (€/t.m.s.)

$R_{bd}$ : ratio de biomasa forestal disponible (t.m.s./km<sup>2</sup>año)

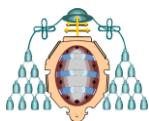
$R_{CE}$ : ratio de contenido energético de la biomasa forestal (GJ/km<sup>2</sup>año)

$R_H$ : ratio de recurso híbrido (GJ/km<sup>2</sup>año)

$R_{solar}$ : ratio de radiación solar (GJ/km<sup>2</sup>año)

## 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, ISSN 0960-1481, <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, ISSN 0306-2619, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.066>.
- [3] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) 2011-2020
- [4] Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020
- [5] Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), *Energía Solar Térmica*, 2006
- [6] Gerhard Faninger, Combined solar-biomass district heating in Austria, *Solar Energy*, Volume 69, Issue 6, 2000, Pages 425-435, ISSN 0038-092X, [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00117-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00117-1).
- [7] Plataforma Tecnológica Española de la Biomasa (BioPlat), Pélets de biomasa en España
- [8] Xin-Guang Zhu, Stephen P Long, Donald R Ort, What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?, *Current Opinion in Biotechnology*, Volume 19, Issue 2, April 2008, Pages 153-159, ISSN 0958-1669, <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.004>.
- [9] 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, ISSN 0167-8809, [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00242-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00242-5).
- [10] Francisco G. Montoya, Maria J. Aguilera, Francisco Manzano-Agugliaro, Renewable energy production in Spain: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 33, May 2014, Pages 509-531, ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.091>.
- [11] Thomas Institute for Energy and Transport, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Disponible en: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/pvreg.php?lang=en&map=europe>
- [12] Huld, Richard Müller, Attilio Gambardella, A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa, *Solar Energy*, Volume 86, Issue 6, June 2012, Pages 1803-1815, ISSN 0038-092X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.03.006>.
- [13] Marcel Šúri, Thomas A. Huld, Ewan D. Dunlop, Heinz A. Ossenbrink, Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, *Solar Energy*, Volume 81, Issue 10, October 2007, Pages 1295-1305, ISSN 0038-092X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2006.12.007>.
- [14] Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), *Energía de la Biomasa*, 2007
- [15] Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), Estrategia Regional de aprovechamiento sostenible de la biomasa forestal del Principado de Asturias, 2007



- [16] 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, Pages 703-719, ISSN 0961-9534,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.01.01>
- [17] BIORAISE, Biomass GIS database (2014). Fecha de acceso: Marzo 2014. Disponible en: <http://bioraise.ciemat.es/bioraise/>
- [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] Esteban, L.S., Carrasco, J.E. Biomass resources and cost: assessment in different EU countries. Revista: Biomass and Bioenergy. Vol 35 (2011), S21-S30
- [20] Jose Pablo Paredes Sánchez, Antonio José Gutiérrez Trashorras, Juan Manuel González aballín, Bio-smartcity: Biomass supply to a Smartcity. A case study.
- [21] J. Ubeda Delgado, G. Antolín Giraldo, Energy possibilities from forest residues in the region of Castilla y León in Spain, Biomass and Bioenergy, Volume 8, Issue 1, 1995, Pages 21-28, ISSN 0961-9534,  
[http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534\(94\)E0030-V](http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534(94)E0030-V).
- [22] 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>.
- [23] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Precios de carburantes y combustibles: Comparación años 2012-2013