

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LA HIBRIDACIÓN TÉRMICA CON BIOMASA FORESTAL EN ASTURIAS.

Paula Álvarez Fuentes [*], Antonio José Gutiérrez Trashorras [**], José Pablo Paredes Sánchez [**]

[*] Alumno; [**] Tutor(es)

UO186618@uniovi.es [*], gutierrezantonio@uniovi.es [**], paredespablo@uniovi.es [**]

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

RESUMEN

En los últimos años, las energías renovables han cobrado una gran importancia tanto a nivel mundial como nacional.

Una de las aplicaciones de las energías renovables (solar, eólica, biomasa e hidráulica), son las instalaciones de sistemas híbridos.

En el presente trabajo se realiza el estudio del potencial de la hibridación, con términos residenciales por concejo, de biomasa forestal y solar en Asturias.

El estudio comienza por la recopilación de datos de cada concejo, tanto de biomasa forestal como de energía solar. Una vez realizado esto se comparan los distintos resultados de cada energía para su hibridación.

Los resultados obtenidos muestran una media de 4.632.472 GJ/km²·año de solar y una media de 250,95 GJ/km²·año de biomasa forestal por concejo, con un coste medio de la biomasa forestal de 69,19€/tms.

Se realizan distintos mapas de Asturias para los resultados obtenidos más importantes.

Los principales concejos para la hibridación en las condiciones estudiadas son: Tineo, Degaña y Somiedo.

ABSTRACT

In recent years, renewable energy has become extremely important both globally and nationally.

One of the applications of renewable energy (solar, wind, biomass and hydro) are hybrid systems installations.

In this paper the study of the potential for hybridization is performed with residential terms for municipality, forest biomass and solar in Asturias.

The study begins by gathering data from each municipality, both biomass and solar energy. Once done different results for each energy for hybridization are compared.



The results show an average of 4,632,472 GJ/km²-year solar and an average of 250.95 GJ/km²-year forest biomass by municipality, with an average cost of forest biomass of 69.19 €/tms.

Different maps of Asturias are made for the most important results.

The main municipality for hybridization under the studied conditions are: Tineo, Degaña and Somiedo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las energías renovables han cobrado mucha importancia en nuestra vida cotidiana. Esto es así debido al alto consumo de energía que provoca grandes impactos medioambientales tales como los debidos a gases contaminantes de efecto invernadero. Esto ha obligado a la búsqueda de otro tipo de energías para nuestro uso, que no dañen el ambiente. **[1, 2, 3]**

La gravedad del impacto ambiental del uso de combustibles fósiles ha provocado una concienciación social que ha resultado en respuestas políticas del más alto nivel, en materia de sostenibilidad medioambiental **[4, 5]**. El compromiso de la Unión Europea en temas de medio ambiente y desarrollo sostenible se ha demostrado marcando unos objetivos concretos: reducir las emisiones de CO₂ en un mínimo del 20%, aumentar la eficiencia energética en un 20% y aumentar la fracción de energías renovables al 20% respecto a los niveles del año 1990, todo esto hasta el año 2020. **[6]**

Dos de las energías renovables más importantes en España hoy en día son la biomasa y la energía solar.

Uno de los principales inconvenientes de la energía solar, es su dependencia del proceso natural de las horas de sol, que hace que su disponibilidad no sea de 24 horas. **[7, 8]** Esto unido a que la demanda energética tampoco se hace de manera continua, sino que hay horas, días y épocas del año en los que se consume más que en otros, hace muy conveniente que algunas instalaciones

incorporen hibridaciones con otra fuente energética permanentemente disponible.

La energía que contiene la biomasa es energía solar almacenada a través de la fotosíntesis, proceso por el cual algunos organismos vivos, utilizan la energía solar para convertir los compuestos inorgánicos que asimilan, en compuesto orgánicos. **[9]**

Se entiende por biomasa, todo material de origen biológico, excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización **[10, 11]**.

En el ámbito doméstico existe un mayor consumo de biomasa forestal, siendo el sector más importante, y destacando el uso de la biomasa forestal para la generación de energía térmica. **[12, 13]**

Es por ello que interesa analizar la hibridación de solar-biomasa forestal, para tener disponible la energía durante todo el día.

Asturias es una provincia con un gran potencial de combustibles fósiles, en este caso del carbón **[14,15]**, pero, es un tipo de energía que a la larga va a estar prohibida en el ámbito doméstico **[16]**. Pero tiene otra ventaja, y es que es una provincia con grandes recursos forestales. Es por ello que se escoge Asturias como objeto del estudio de hibridación.

En este caso, la energía utilizada para hibridar será la biomasa forestal, para tener disponible la energía durante todo el día.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es el estudio del potencial de la hibridación, con términos residenciales por concejo, de biomasa forestal y solar en Asturias. **[17, 18]**

MÉTODO TRABAJO

Energía solar

Los datos de energía solar son extraídos de las tablas del Boletín solar del Principado de Asturias, que facilita la FAEN, en el periodo 2007-2010. **[19]**



El dato que facilita el informe es la radiación solar horizontal anual. El ratio de radiación solar (R_{solar}) se define como la radiación solar horizontal anual por unidad de superficie.

Biomasa forestal

Se ha utilizado la herramienta online BIORAISE para el cálculo de la biomasa forestal en los 78 concejos de Asturias. [20]

Para la obtención de la biomasa forestal en cada concejo, se trazan unas circunferencias con un radio que abarque la mayor cantidad de superficie del mismo, para facilitar la obtención del mayor número de biomasa forestal disponible en los distintos concejos.

Esto permite obtener la masa, energía y costes de la biomasa forestal en la zona estudiada.

Teniendo un radio conocido, conocemos también su área, por lo que, con los datos facilitados por el programa, podemos calcular el ratio de contenido energético de biomasa forestal en cada concejo, que usaremos posteriormente para la hibridación con solar. [21, 22]

MASA

En primer lugar es necesario calcular la biomasa forestal potencial (ec.1). Se tendrán en cuenta la biomasa de frondosas, coníferas y mezcla coníferas frondosas. Todos los residuos están compuestos por ramas y copas (incluyendo las hojas).

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

También se calcula la biomasa forestal disponible (ec.2), teniendo en cuenta los mismos tipos de biomasa forestal que los utilizados anteriormente para calcular la biomasa forestal potencial. Este tipo de biomasa forestal, el programa lo calcula aplicando las restricciones técnicas y medioambientales de la zona de estudio.

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

Una vez que se tiene la biomasa forestal potencial y disponible, se puede calcular el factor de utilización (ec.3).

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

También se calcula el ratio de biomasa forestal disponible. (ec.4)

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

ENERGÍA

Para poder hibridarlo con la energía solar, se necesita calcular el contenido energético de biomasa forestal (ec.5).

$$\begin{aligned} CE &= CE_f + CE_c + CE_m = \\ &= PCI_f \cdot b_{df} + PCI_c \cdot b_{dc} + PCI_m \cdot b_{dm} \quad (\text{ec.5}) \end{aligned}$$

El dato más importante y que se utilizará para comparar con la energía solar es el ratio de contenido de energía de biomasa forestal. (ec.6)

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

COSTES

Se debe tener en cuenta el coste de biomasa forestal debido a que no es un recurso gratuito, como el solar.

Se necesita calcular el coste total de generación de biomasa forestal, que depende del coste de recolección y del coste de transporte, ambos promediados y evaluados a partir de los residuos disponibles.

En el coste de recolección (ec.7) viene implícito el coste del astillado del material.

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

En el coste de transporte (ec.8) viene incluido el coste de conductor, del vehículo y del combustible (1,45€/l).



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

Finalmente, se calcula el coste total de biomasa forestal (ec.9) sumando ambos costes de recolección y transporte.

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

Hibridación

Para la hibridación sólo hay que tener en cuenta que tanto la energía de biomasa forestal como la solar, estén en las mismas unidades (GJ/km²·año)

Una vez obtenidos los dos ratios, tanto el de biomasa forestal como el de solar, se obtiene el ratio de hibridación, que es la suma de ambos.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Energía solar

Los cinco concejos con mayor radiación media anual están situados en la Asturias Occidental, mientras que las de menor radiación, están situadas en la parte más oriental de Asturias, exceptuando Mieres, que estando en la zona centro, presenta una radiación baja. (Fig.1)

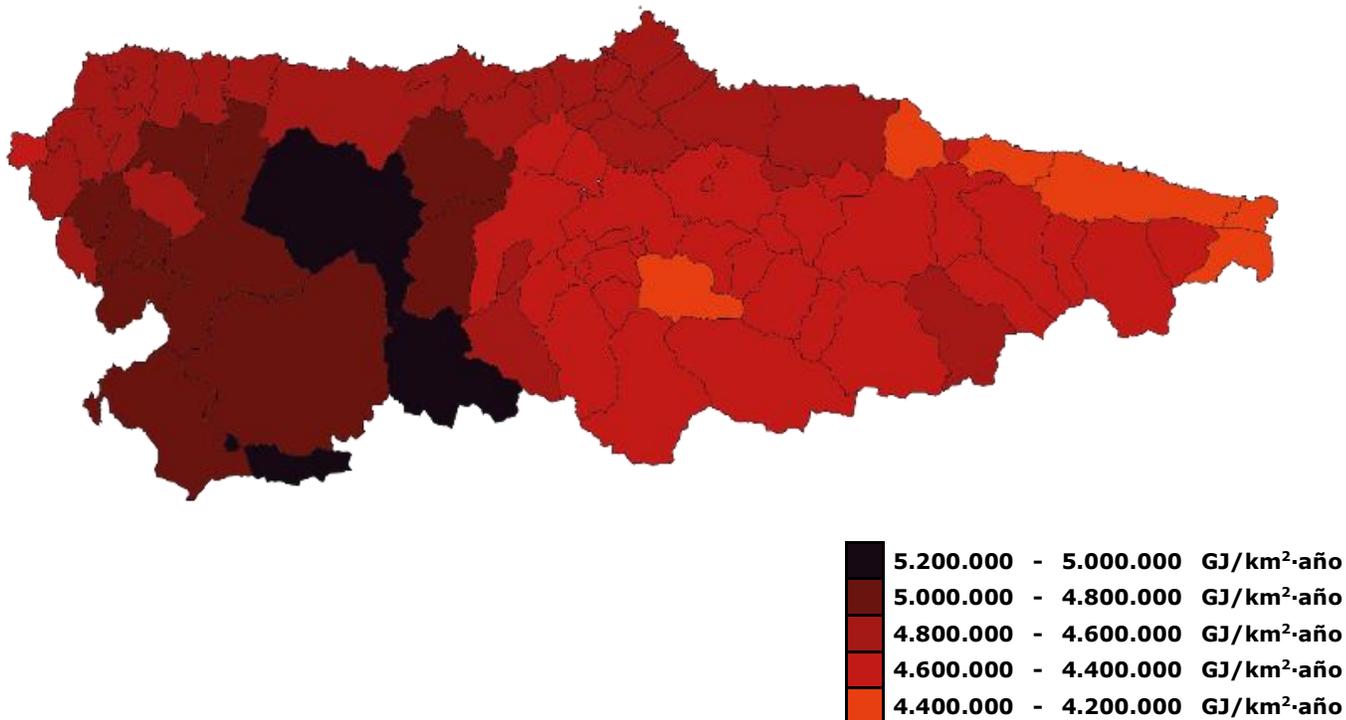


Fig. 1 Ratio de radiación solar media anual [16]

Biomasa forestal

MASA

Después de realizar todos los pasos mencionados en el apartado anterior, se obtienen

la biomasa forestal potencial y disponible en cada concejo.

Los concejos con mayor biomasa forestal potencial están situados en la zona sur de Asturias, siendo estos: Tineo, Ponga, Cangas del Narcea, Caso, Somiedo y Quirós. (Fig.2)

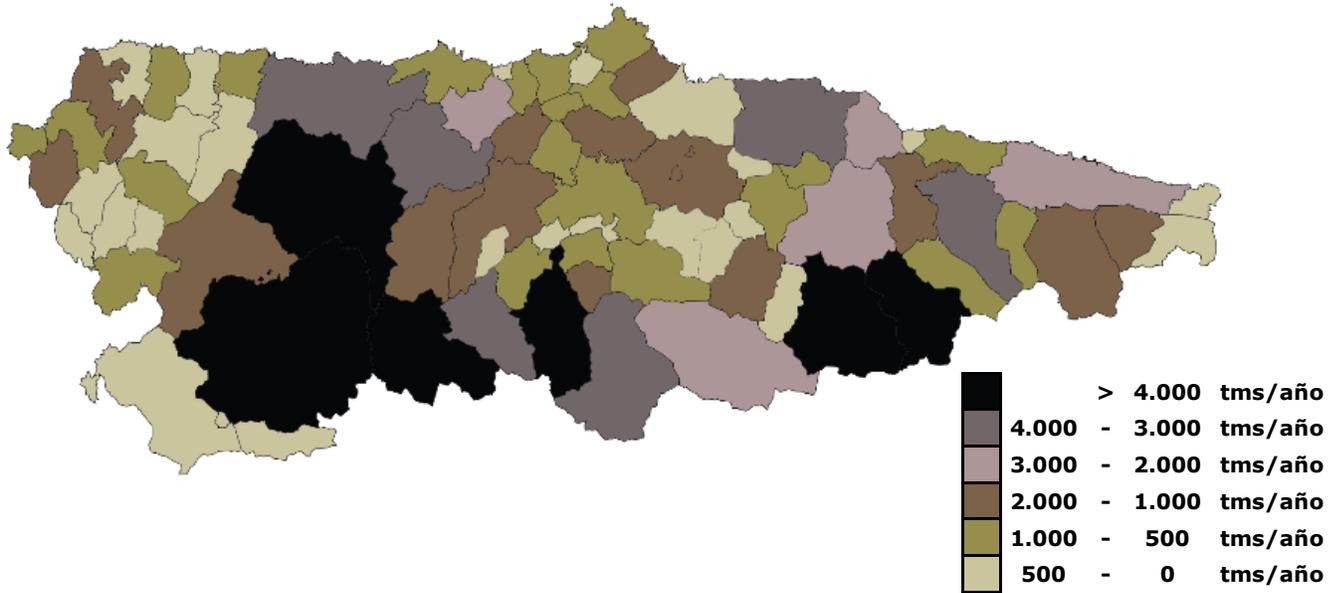


Fig. 2 Biomasa forestal potencial

Se encuentra una mayor cantidad de biomasa forestal disponible en la zona occidental de Asturias, exceptuando el concejo de Caso, que se sitúa en la zona Oriental. (Fig.3)

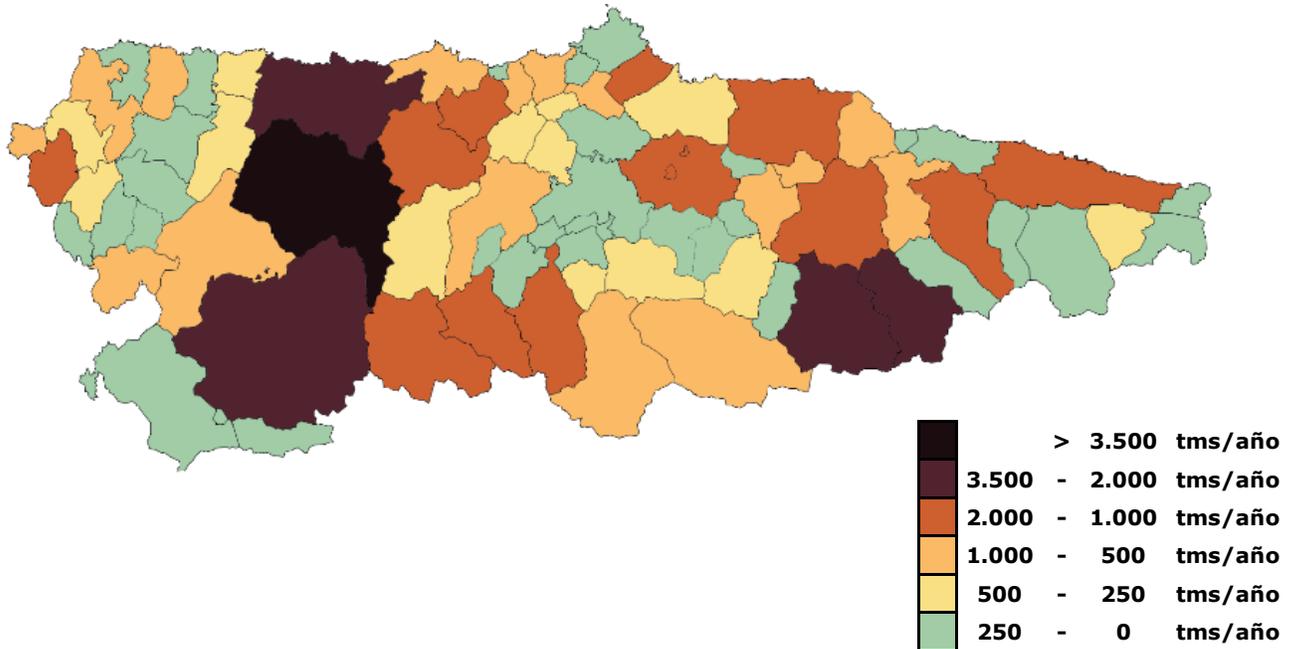
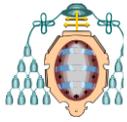


Fig. 3 Biomasa forestal disponible



Existe una cierta similitud entre los concejos con mayor biomasa forestal disponible y potencial.

Los concejos con menor cantidad de biomasa forestal disponible se encuentran distribuidos por toda la provincia, sin una zona en concreto.

El factor de utilización de la biomasa forestal disponible es medio en todo el territorio asturiano, rondando el 20-60%. (Tabla.1)

CONCEJO	FACTOR DE UTILIZACIÓN (%)	CONCEJO	FACTOR DE UTILIZACIÓN (%)
Allande	37,02	Navia	71,80
Aller	35,46	Noreña	77,83
Amieva	22,32	Onís	24,51
Avilés	120,48	Oviedo	26,07
Belmonte de Miranda	29,40	Parres	57,71
Bimenes	64,62	Peñamellera Alta	19,71
Boal	38,11	Peñamellera Baja	9,69
Cabrales	2,86	Pesoz	23,20
Cabranes	72,28	Piloña	48,61
Candamo	38,87	Ponga	45,19
Cangas del Narcea	30,82	Pravia	50,93
Cangas de Onís	42,00	Proaza	15,22
Caravia	19,22	Quirós	37,36
Carreño	78,40	Las Regueras	40,98
Caso	45,42	Ribadedeva	16,39
Castrillón	84,69	Ribadesella	40,56
Castropol	65,21	Ribera de Arriba	29,35
Coaña	45,42	Riosa	30,71
Colunga	29,78	Salas	50,17
Corvera de Asturias	73,64	San Martín de Oscos	70,17
Cudillero	68,71	San Martín del Rey Aurelio	50,20
Degaña	42,73	San Tirso de Abres	59,65
El Franco	81,96	Santa Eulalia de Oscos	73,71
Gijón	86,39	Santo Adriano	6,73
Gozón	26,20	Sariego	112,45
Grado	40,24	Siero	77,83
Grandas de Salime	74,85	Sobrescobio	37,29
Ibias	57,55	Somiedo	35,48
Illano	31,21	Soto del Barco	80,70
Illas	77,60	Tapia de Casariego	86,07
Langreo	103,00	Taramundi	63,04
Laviana	18,89	Teverga	40,02
Lena	28,95	Tineo	74,59
Llanera	13,94	Valdés	64,08
Llanes	43,93	Vegadeo	53,90
Mieres	57,51	Villanueva de Oscos	67,59
Morcín	21,79	Villaviciosa	39,52
Muros de Nalón	78,53	Villayón	66,79
Nava	58,34	Yernes y Tameza	25,04



Tabla. 1 Factores de utilización

El valor de mayor ratio de biomasa forestal disponible se encuentra en el norte, pero en la

mayor parte de Asturias existen unos valores medio de en torno al 40-80 tms/km²·año. (Fig.4)

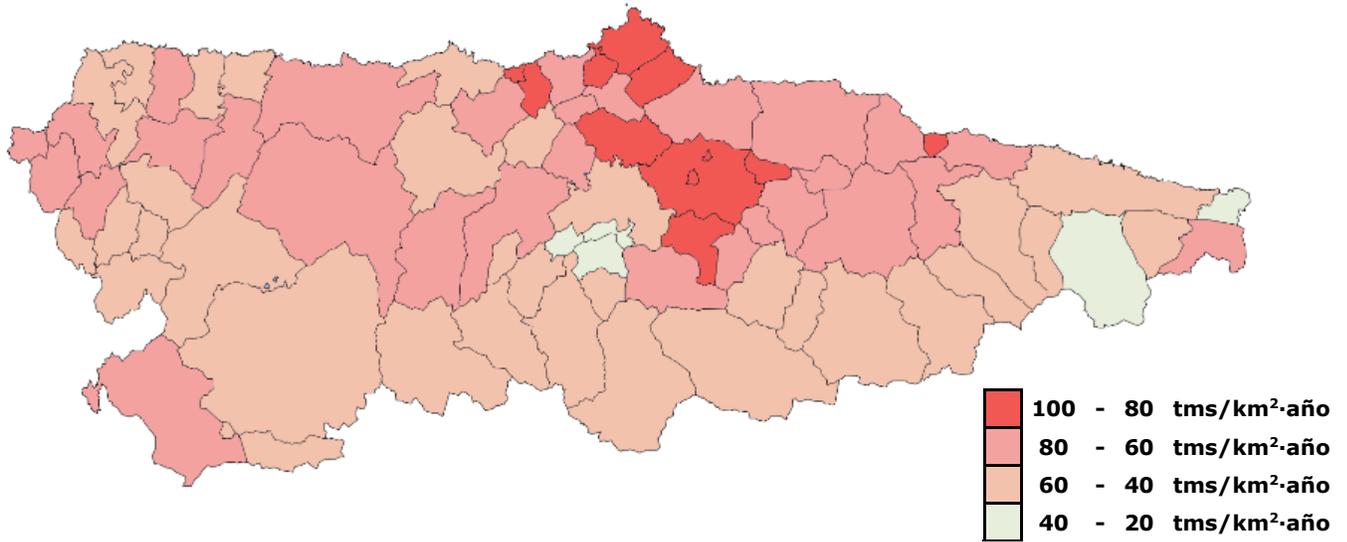


Fig. 4 Ratio biomasa forestal disponible

ENERGÍA

El concejo con un mayor contenido energético, con diferencia, es Tineo, con más de 150.000 GJ/año (Fig.5)

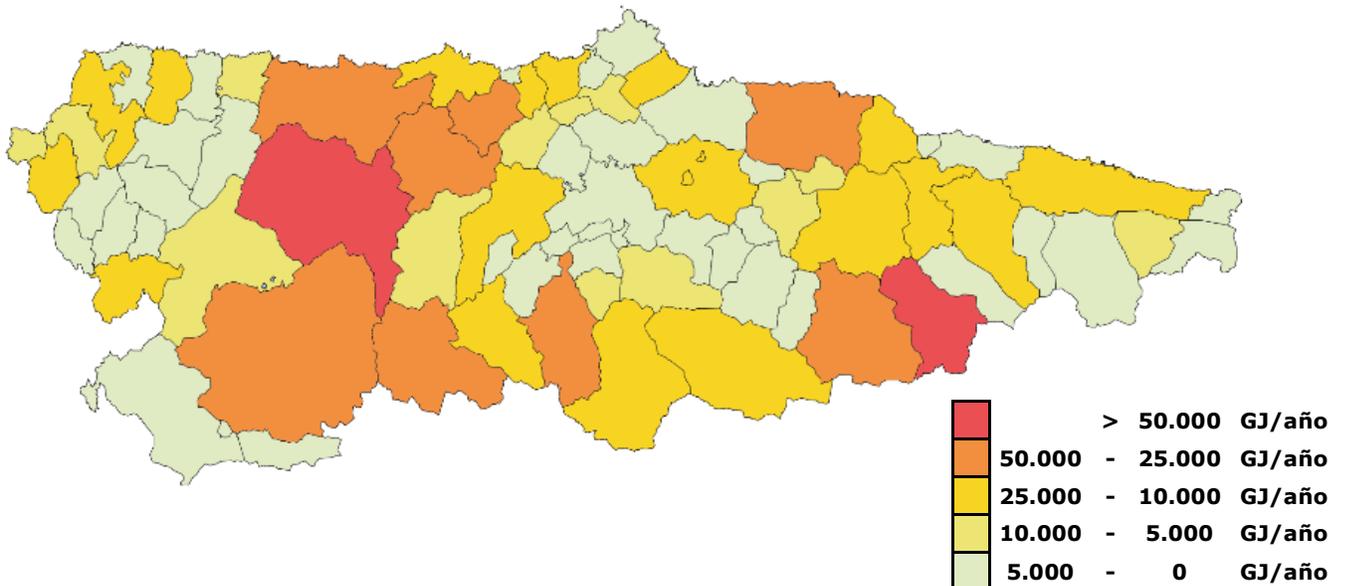


Fig. 5 Contenido energético



Los concejos con un mayor ratio de contenido energético están situados en el norte de Asturias, en cambio, existe un número muy elevado de

concejos con un ratio de energía por debajo de 200 GJ/km²·año, distribuidos en toda la región. (Fig.6)

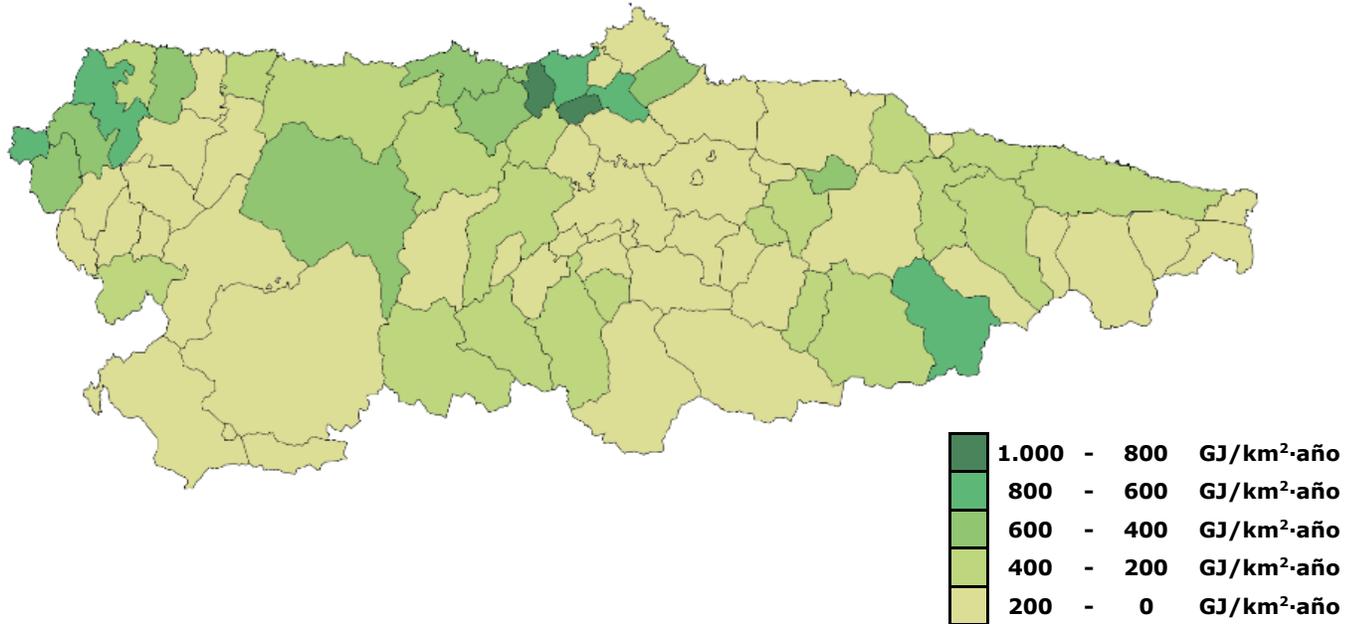
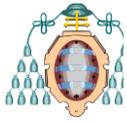


Fig. 6 Ratio de contenido energético

COSTE

En la mayor parte de Asturias, existe un coste de recolección entre los 70 y 60 €/tms de media. (Tabla.2)

En cuanto al coste de transporte, la mayor parte de los concejos se encuentran en un coste medio de 5 a 10 €/tms. (Tabla.2)



CONCEJO	Cr (€/tms)	Ct (€/tms)	C (€/GJ)
Allande	70,06	6,92	4,34
Aller	63,49	11,10	4,23
Amieva	67,98	5,33	4,16
Avilés	60,92	4,09	3,68
Belmonte de Miranda	72,60	7,53	4,54
Bimenes	70,40	16,55	4,93
Boal	58,26	4,21	3,47
Cabrales	43,55	16,01	3,38
Cabranes	61,62	3,60	3,70
Candamo	64,62	12,37	4,33
Cangas del Narcea	64,41	9,83	4,20
Cangas de Onís	59,73	4,94	3,66
Caravia	62,61	3,39	3,74
Carreño	61,36	8,91	3,98
Caso	67,97	10,27	4,44
Castrillón	58,82	4,04	3,51
Castropol	50,84	5,83	3,00
Coaña	48,67	5,18	2,84
Colunga	64,23	5,17	3,93
Corvera de Asturias	60,30	4,55	3,60
Cudillero	58,23	4,36	3,38
Degaña	59,84	4,52	3,56
El Franco	51,91	8,36	3,60
Gijón	67,17	7,00	4,20
Gozón	60,67	4,00	3,66
Grado	63,02	6,08	3,88
Grandas de Salime	58,29	4,58	3,37
Ibias	67,19	21,88	5,05
Illano	62,36	4,59	3,67
Illas	61,96	10,84	4,02
Langreo	60,92	5,68	3,78
Laviana	65,32	5,07	3,99
Lena	67,50	5,48	4,14
Llanera	63,25	4,31	3,83
Llanes	62,43	10,20	4,12
Mieres	72,55	9,04	4,62
Morcín	49,98	13,74	3,61
Muros de Nalón	62,68	3,61	3,75
Nava	63,70	5,04	3,90

CONCEJO	Cr (€/tms)	Ct (€/tms)	C (€/GJ)
Navia	46,05	4,23	2,65
Noreña	60,92	5,19	3,75
Onís	56,46	4,39	3,35
Oviedo	56,51	5,86	3,54
Parres	65,77	9,31	4,22
Peñamellera Alta	60,96	5,11	3,72
Peñamellera Baja	77,11	12,35	5,07
Pesoz	59,36	5,59	3,42
Piloña	66,46	6,68	4,12
Ponga	66,60	18,19	4,81
Pravia	64,87	6,87	4,02
Proaza	58,55	5,99	3,66
Quirós	64,66	7,51	4,09
Las Regueras	61,37	6,85	3,87
Ribadedeva	44,46	5,74	2,85
Ribadesella	62,72	6,23	3,91
Ribera de Arriba	39,97	3,27	2,45
Riosa	62,63	13,09	4,29
Salas	64,74	4,79	3,87
San Martín de Oscos	48,86	13,26	3,28
San Martín del Rey Aurelio	77,11	6,78	4,76
San Tirso de Abres	67,76	5,00	4,09
Santa Eulalia de Oscos	64,89	6,20	3,88
Santo Adriano	57,27	10,90	3,86
Sariego	60,92	5,82	3,78
Siero	60,92	5,19	3,75
Sobrescobio	68,43	9,85	4,44
Somiedo	62,46	10,44	4,13
Soto del Barco	62,92	4,64	3,83
Tapia de Casariego	47,72	4,34	2,75
Taramundi	70,94	11,80	4,62
Teverga	63,78	10,54	4,21
Tineo	65,44	6,79	4,06
Valdés	62,73	9,21	3,94
Vegadeo	62,75	5,18	3,70
Villanueva de Oscos	62,40	6,17	3,76
Villaviciosa	61,82	6,50	3,82
Villayón	61,28	10,44	3,99
Yernes y Tameza	65,57	15,39	4,58

Tabla. 2 Costes de recolección, transporte y energético biomasa forestal

Los concejos con menor coste total se encuentran en la zona centro de Asturias, en

cambio existe un coste medio de 70-80 €/tms bastante común entre los concejos. (Fig.7)

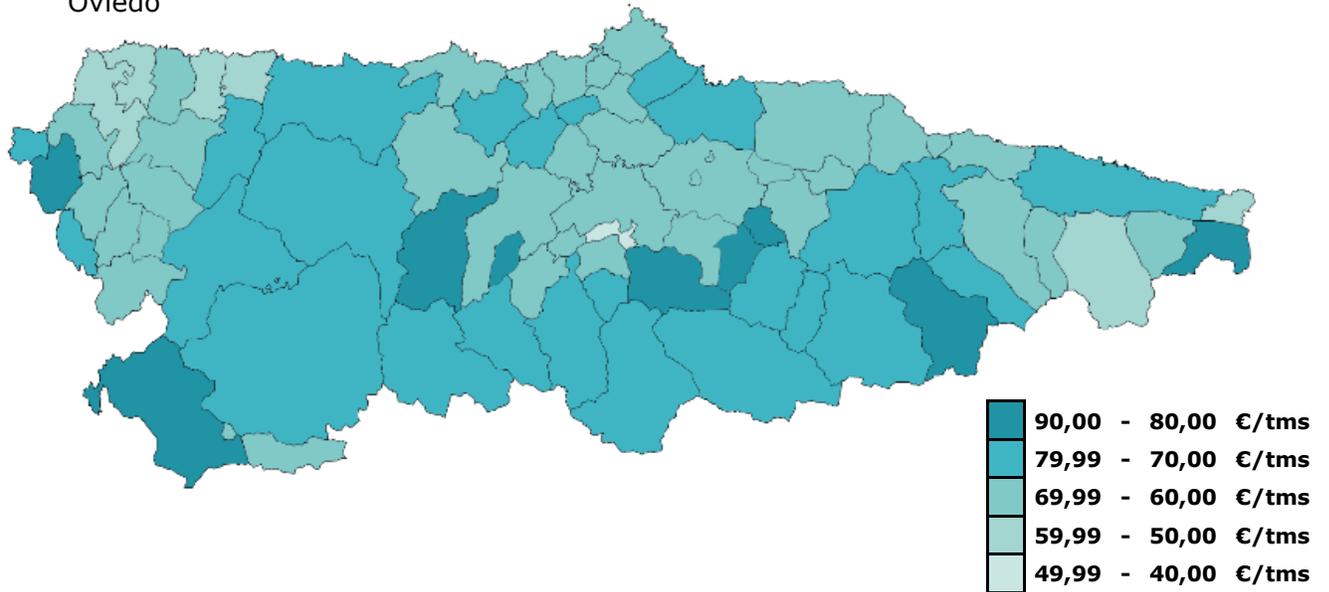
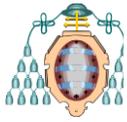


Fig. 7 Coste total

Hibridación

Una vez determinados todos los datos necesarios se procede a la realización de la hibridación, obteniendo el siguiente mapa energético (Fig.8)

Los concejos con mayor cantidad energética híbrida se encuentran situados en la zona occidental sur de Asturias, mientras que los de menor contenido energético, se encuentran más en la zona oriental y centro de Asturias.

Los tres concejos con mayor contenido energético son: Tineo, Degaña y Somiedo.

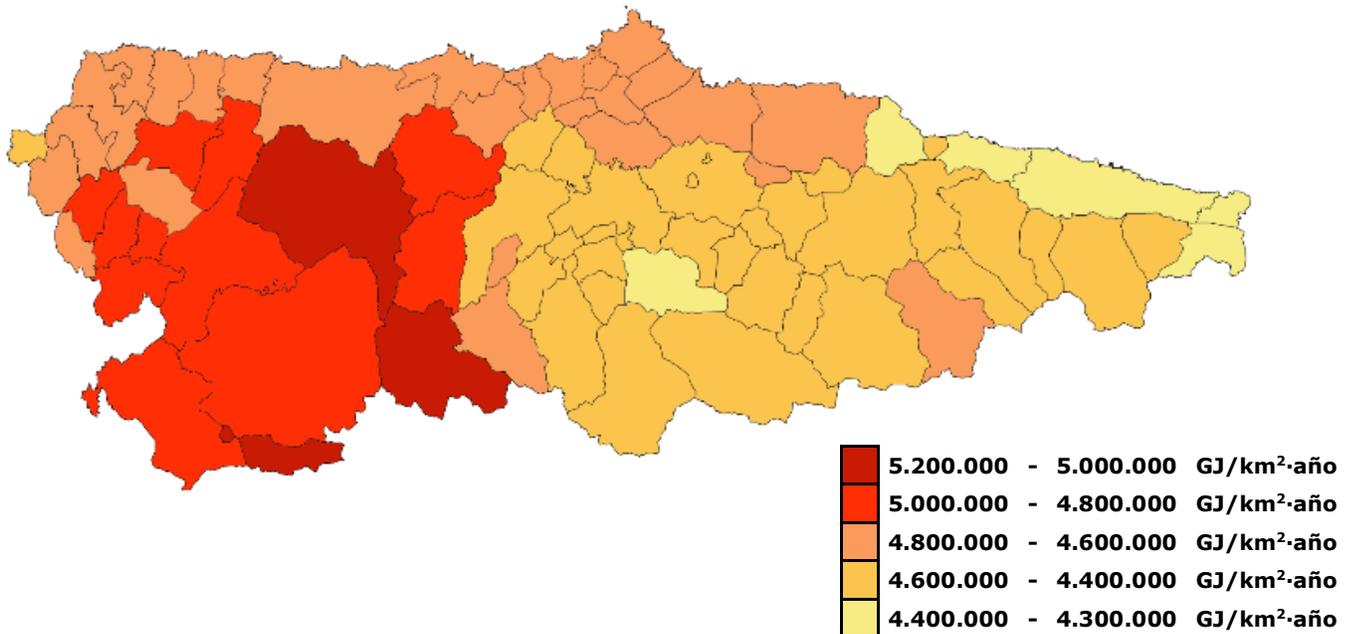
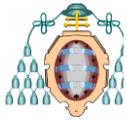


Fig. 8 Hibridación solar-biomasa forestal



CONCLUSIONES

En Asturias existe un gran potencial solar y de biomasa forestal susceptibles de aprovechamiento para su hibridación.

Los cinco concejos con una mayor radiación solar son: Tineo, Degaña, Somiedo, Belmonte de Miranda y Grandas de Salime. Todos estos concejos se encuentran en la zona occidental de Asturias.

Los concejos con mayor biomasa forestal disponible son: Tineo, Ponga, Caso, Valdés y Cangas del Narcea. Todos ellos coinciden con los concejos con mayor superficie de Asturias.

En cuanto al ratio de contenido energético, los concejos que mayor ratio tienen son: Soto del Barco, Illias, San Tirso de Abres, Castrillón y Castropol.

En comparación con otros países de Europa, el coste de suministro de biomasa forestal en aplicaciones térmicas (€/GJ) es bastante más bajo que en países como Alemania, Finlandia, Suecia y Noruega, situándose en 3,88€/GJ. [23]

El coste promedio de recolección es de 61,6 €/tms, el de transporte es de 7,56 €/tms y el total de 69,19 €/tms.

Teniendo en cuenta los costes y el contenido energético, saldría rentable construir la central híbrida térmica con biomasa, en el concejo de Degaña, ya que es uno de los tres concejos con mayor contenido energético, y que tiene un coste total de 60-70 €/tms.

En vista de los resultados se sugiere realizar un cambio en el plan energético de Asturias e incluir en él la hibridación solar-biomasa forestal.

NOMENCLATURA

R_{solar} → Ratio solar (GJ/km²·año)

b_p → Biomasa forestal potencial (tms/año)

b_{pf} → Biomasa potencial frondosas (tms/año)

b_{pc} → Biomasa potencial coníferas (tms/año)

b_{pm} → Biomasa potencial mezcla coníferas frondosas (tms/año)

b_d → Biomasa forestal disponible (tms/año)

b_{df} → Biomasa disponible frondosas (tms/año)

b_{dc} → Biomasa disponible coníferas (tms/año)

b_{dm} → Biomasa disponible mezcla coníferas frondosas (tms/año)

R_{bd} → Ratio de biomasa forestal disponible (tms/km²·año)

A_c → Área del círculo (km²)

CE → Contenido de Energía (GJ/año)

CE_f → Contenido de Energía frondosas (GJ/año)

CE_c → Contenido de Energía coníferas (GJ/año)

CE_m → Contenido de Energía mezcla coníferas frondosas (GJ/año)

PCI_f → Poder Calorífico Inferior al 0% de humedad de frondosas

PCI_c → Poder Calorífico Inferior al 0% de humedad de coníferas

PCI_m → Poder Calorífico Inferior al 0% de humedad de mezcla coníferas frondosas

R_{ce} → Ratio de contenido de energía (GJ/km²·año)

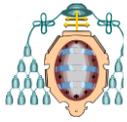
C_r → Coste de recolección (€/tms)

C_{rf} → Coste de recolección frondosas (€/tms)

C_{rc} → Coste de recolección coníferas (€/tms)

C_{rm} → Coste de recolección mezcla coníferas frondosas (€/tms)

C_t → Coste de transporte (€/tms)



C_{tf} → Coste de transporte frondosas (€/tms)

C_{tc} → Coste de transporte coníferas (€/tms)

C_{tm} → Coste de transporte mezcla coníferas frondosas (€/tms)

C → Coste total (€/tms)

R_H → Ratio de hibridación (GJ/km²·año)

AGRADECIMIENTOS

En la elaboración de este artículo quiero agradecer la ayuda y el apoyo recibido por mi tutor Pablo Paredes, que me ha ayudado durante el desarrollo del trabajo, facilitándome información y orientándome en el desarrollo del mismo.

REFERENCIAS

[1] IDAE (2011). Resumen del Plan de Energías Renovables 2011-2020. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos/Resumen PER 2011-2020_15f3dad6.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos/Resumen_PER_2011-2020_15f3dad6.pdf) (Acceso 09.07.2014)

[2] Ridao, Á. R., García, E. H., Escobar, B. M., & Toro, M. Z. (2007). Solar energy in Andalusia (Spain): present state and prospects for the future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(1), 148-161.

[3] Fernández Ribaya, Y. (2012). Sistema Híbrido (Solar-Eólico) con apoyo de gas natural para la generación de energía eléctrica en Baja California Sur (México).

[4] Montoya, F. G., Aguilera, M. J., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Renewable energy production in Spain: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 509-531.

[5] Ossai, C. I., Boswell, B., & Davies, I. J. (2014). Sustainable asset integrity management: Strategic imperatives for economic renewable energy generation. *Renewable Energy*, 67, 143-152.

[6] Unión Europea (2010). Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:ES:PDF> (Acceso 09.07.2014)

[7] Antonio Martín Velázquez. Combinaciones tecnológicas: hibridación y almacenamiento. Disponible en: http://www.aulafacil.com/Energias_renovables/Curso/Lecc-14.htm (Acceso 09.07.2014)

[8] Hartnett, J. P. (1976). Alternative energy sources. *Alternative Energy Sources*, 1.

[9] Castells, X. E. (2012). *Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad*. Ediciones Díaz de Santos.

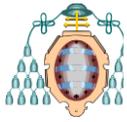
[10] Normativa Biocombustibles. CEN/TS 14588, 2004. Disponible en: http://www.inti.gov.ar/ue/proyecto2003/pdf/normativa_biocombustibles.pdf (Acceso 09.07.2014)

[11] Camps Michelena, M., & Marcos Martín, F. (2002). Los biocombustibles. *Ediciones Mundi-Prensa*.

[12] IDAE (2011). Plan de energías renovables 2011-20. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos/11227_per_2011-2020_def_93c624ab.pdf (Acceso 09.07.2014)

[13] BIOPLAT (2012). Pelets de biomasa en España. Disponible en: http://www.bioplat.org/setup/upload/modules_docs/content_cont_URI_3387.pdf (Acceso 09.07.2014)

[14] FAEN (2012). Balance Energético 2012, Datos Energéticos del Principado de Asturias. Mieres. *Fundación Asturiana de la Energía*. Disponible en: http://www.faien.es/nueva/Intranet/documentos/4161_BEPA_2012.pdf (Acceso 09.07.2014)



[15] GOBIERNO DE ESPAÑA (2012). Ministerio de Industria Turismo y Comercio. *Estadística Minera de España 2012*. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/energia/mineria/Estadistica/Datos%20anuales/anual%202012.pdf> (Acceso 09.07.2014)

[16] Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf> (Acceso 09.07.2014)

[17] Peterseim, J. H., Tadros, A., White, S., Hellwig, U., Landler, J., & Galang, K. (2014). Solar tower-biomass hybrid plants-maximizing plant performance. *Energy Procedia*, 49, 1197-1206.

[18] Peterseim, J. H., Hellwig, U., Tadros, A., & White, S. (2014). Hybridisation optimization of concentrating solar thermal and biomass power generation facilities. *Solar Energy*, 99, 203-214.

[19] Fundación Asturiana de la Energía (FAEN) (2010). Boletín Solar del Principado de Asturias 2007-2010 (FAEN) Disponible en: http://www.faen.es/nueva/ftp/BOLETIN_SOLAR_2010VF.pdf (Acceso 09.07.2014)

[20] BIORAISE. Herramienta online de CIEMAT. Disponible en: <http://bioraise.ciemat.es/Bioraise/main.aspx> (Acceso 09.07.2014)

[21] Esteban, L. S., Ciria, P., & Carrasco, J. E. (2008). An assessment of relevant methodological elements and criteria for surveying sustainable agricultural and forestry biomass by-products for energy purposes. *BioResources*, 3(3), 910-928.

[22] Esteban, L. S., & Carrasco, J. E. (2011). Biomass resources and costs: Assessment in different EU countries. *Biomass and Bioenergy*, 35, S21-S30.

[23] Trømborg, E., Ranta, T., Schweinle, J., Solberg, B., Skjevraak, G., & Tiffany, D. G. (2013). Economic sustainability for wood pellets production-A comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US. *Biomass and Bioenergy*, 57, 68-77.