

Efectos ambientales y económicos de la utilización de energías renovables en instalaciones térmicas residenciales según objetivos 2030: estudio de caso en la provincia de Granada (España)

Environmental and economic effects of using renewable energy in residential thermal installations according to 2030 targets: case study in the province of Granada (Spain)

Manuel Carpio¹, María Martín-Morales² y
Montserrat Zamorano²

¹ Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)

² Universidad de Granada (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8556>

1. INTRODUCCIÓN

El modelo energético actual basa el 84% del consumo en el uso de combustibles fósiles tradicionales, como el carbón, el gasoil y el gas natural [1], a pesar del marco legal desarrollado en todo el mundo para responder a la necesidad de suministrar energía en el contexto del desarrollo sostenible [2–4]. Como resultado de esta situación, el bienestar social y el crecimiento económico se ven amenazados por la vulnerabilidad de nuestro modelo energético actual a los futuros problemas de suministro de energía. Por otro lado, en los últimos años, otro factor indudablemente ha contribuido a un cambio en la percepción mundial de los problemas energéticos: el cambio climático provocado por las emisiones de gases de efecto invernadero [5].

Debido a la gravedad de estos problemas a escala mundial, se ha hecho necesario que todos los países desarrollen medidas medioambientales y energéticas para reducir los efectos negativos en el planeta del uso de combustibles fósiles. En Europa, la política sobre energía y protección climática se ha expresado en tres objetivos estratégicos que conforman los "objetivos 2030" [6] diseñados para reducir el consumo de energía primaria y las emisiones de gases de efecto invernadero

en la Unión Europea, ayudado, entre otras medidas, por una mayor contribución de las energías renovables [3]. Estos objetivos están contruidos sobre los inicialmente propuestos en el PECC 2020 [3] para combatir el cambio climático. Para alcanzar estos objetivos debemos actuar en las áreas prioritarias de generación y consumo de energía, y emisiones, asumiendo los compromisos especificados en la Directiva 2009/28/CE [7].

Una de estas áreas prioritarias es el sector de la construcción, ya que es responsable del 40% del consumo mundial de energía y del 36% de las emisiones de CO₂ a la atmósfera [8,9]. Hasta ahora, la mayoría de los sistemas de calefacción en edificios han utilizado fuentes de energía convencionales, lo que genera altos niveles de emisiones de CO₂: alrededor de 44 kgCO₂/m² por año para el gas natural y 58 kgCO₂/m² por año para el gasoil [10].

La elección del combustible es, por lo tanto, un factor clave al evaluar el impacto ambiental del consumo de combustible en el sector de la construcción, por lo que se debe tomar medidas para reducirlo. El uso de combustible a partir de fuentes renovables sería una contribución valiosa para resolver el problema de las emisiones de CO₂ en los edificios, ya que pueden reducirse hasta en un 95% mediante el uso de energías renovables [10]. La biomasa es claramente una buena alternativa de combustible para sistemas de calefacción, aire acondicionado y ACS, ya que es una fuente de energía económica y accesible que prácticamente no tiene impacto ambiental [11]. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, la biomasa no se usa de forma muy exten-

sa como combustible en edificios en países como España [10].

Otras investigaciones llevan a cabo estudios similares, como Pardo, que realiza una evaluación de varias medidas para mejorar la eficiencia energética y la emisión de CO₂ en las casas unifamiliares europeas [12], incluso por países específicos como Joelsson en Suecia [13] o Devlin en Irlanda [14].

Este estudio analiza la capacidad de potencia instalada en edificios de la provincia de Granada con una muestra de 6.234 calderas, considerando los diferentes sistemas de calefacción, refrigeración y ACS. Se realiza una evaluación de los combustibles utilizados en la actualidad y su reemplazo por biomasa, mostrando los beneficios ambientales y financieros que se obtendrían del uso de biomasa como combustible para los propósitos anteriores en el sector de la construcción.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO

Como se puede ver en la Fig. 1, la provincia de Granada, España, fue elegida para este estudio, con 169 municipios. La provincia de Granada es la que tiene el mayor rango de altitud en la península ibérica, desde el nivel del mar en la costa en el sur hasta la cima más alta de la península ibérica, Mulhacén (3.479 m), en Sierra Nevada [15].

Las zonas climáticas se pueden clasificar según la severidad del clima en invierno y en verano, y la influencia combinada de la temperatura exterior y la radiación solar. La escala utilizada depende del país de la Unión Europea considerado [16]. En España se encuentran 12 de las 20 posibles zonas climáticas mundiales [17], y la provincia de Granada, debido a las diferencias de altitud y la morfología distintiva del terreno, contiene 11 de las 12 zonas posibles en España [18]. Por lo tanto, puede considerarse un área representativa desde el punto de vista climático [18].

2.2. RECOPIACIÓN DE DATOS

Los datos necesarios para el estudio, descritos a continuación, provienen de los censos proporcionados por instaladores de equipos de calefacción, aire acondicionado y ACS con la autorización de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, dependiente de la Consejería de Empleo, Empresa y Comercio de la Junta de Andalucía [19].

Para obtener una muestra representativa se estudiaron diferentes tipos de calderas instaladas en diferentes municipios de la provincia de Granada, obteniéndose una muestra válida de 2.213 registros con 6.234 calderas. Cada uno de los registros cubre un edificio, que puede ser una casa unifamiliar o un edificio plurifamiliar. Por lo tanto, puede existir más de una caldera por registro. Los datos de las calderas proporcionan información sobre los diferentes combustibles utilizados, ya sea de un solo tipo (electricidad, gasoil, gas natural, propano o biomasa) o una combinación (gas-electricidad, electricidad-biomasa, electricidad-gasoil), la capacidad instalada del sistema y la cantidad de unidades por sistema. Cada combustible tiene diferentes necesidades de almacenamiento, espacio y suministro. Por ejemplo, la red de gas natural no llega a todas las áreas; el gasoil y la biomasa necesitan grandes espacios de almacenamiento; el propano se suministra en cilindros; etc.

2.3. MEDICIÓN DE EMISIONES, COSTO Y TIEMPO DE USO

Las emisiones teóricas de CO₂, para los diferentes tipos de combustible, se calcularon de acuerdo con los coeficientes de equivalencia especificados en *Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España* [20], actualizados en 2016, como se muestra en la Tabla 1. Por otro lado, la energía primaria utilizada se calcula a partir de los datos de prueba oficiales [20]. El costo de usar los diferentes tipos de combustible, en €/kWh, como se observa en la Tabla 1, es el costo oficial registrado en los informes periódicos publicados por el gobierno español y las compañías energéticas [21–25].

Combustible	Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)	Costo (€/kWh)
Gasoil	0,311 [20]	0,105 [21]
Gas natural	0,252 [20]	0,050 [22]
Gras propano	0,254 [20]	0,080 [23]
Electricidad (península ibérica)	0,357 [20]	0,122 [24]
Biomasa	0,018 [20]	0,049 [25]
Solar	0 [26]	0 [26]
Mixto (Gasoil-electricidad)	0,334 [20]	0,114 [21,24]

Tabla 1: Factores de equivalencia de emisiones de CO₂ y costos económicos

Finalmente, las cifras promedio de uso anual, de acuerdo con las condiciones medias para la zona climática [10], son las calculadas por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [27] utilizando datos estadísticos de los últimos años. Se usaron los siguientes datos: refrigeración 360 horas/año; calefacción 1.500 horas/año; ACS 365 horas/año y C+ACS 1.850 horas/año [28].

2.4. PROGRAMA EUROPEO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

En este estudio se analizan los efectos de la aplicación de medidas diseñadas para lograr los objetivos especificados en el programa 2030 [6]. Este programa establece tres objetivos mínimos clave para el año 2030:

- (i) Al menos, un 40% menos de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con 1990.
- (ii) Al menos, un 27% de energías renovables en el consumo de energía.
- (iii) Al menos, un 27% de mejora de la eficiencia energética.

También está en línea con la perspectiva a más largo plazo establecida en la *Hoja de ruta para avanzar hacia una economía competitiva baja en carbono en 2050* [29], *Ruta energética 2050* [30] y el *Libro Blanco del Transporte* [31]. Debe

recordarse que los objetivos PECC 2020 fueron 20% -20% -20% respectivamente en las mismas claves [3].

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los registros se muestran en las Tablas 2 a 4 y en las Fig. 2 y 3. Estos resultados se analizaron en términos de: (i) desglose del consumo de combustible; (ii) beneficios ambientales; y (iii) beneficios económicos del uso de biomasa.

Estos resultados se resumen y analizan en las siguientes secciones.

3.1. DISTRIBUCIÓN DE USO DE COMBUSTIBLE

En la Tabla 2 y la Fig. 2 se muestran la capacidad instalada y el porcentaje de uso para diferentes tipos de combustible, de acuerdo con el sistema utilizado (refrigeración, calefacción, ACS y C+ACS) y el total general. Se puede observar que, en términos de capacidad instalada total, el gas natural, con ≈49% y 92.424 kW, es el más utilizado, seguido de cifras sustancialmente menores para electricidad y gasoil. Los resultados también muestran que el uso de energías renovables en el área es limitado, siguiendo las tendencias observadas en otros estudios [32]; la biomasa, con el 4,31% (8.161 kW), es la energía renovable más utilizada, mientras que la energía solar solo representa el 0,19% (364 kW) de uso.

El análisis de los resultados por uso (Fig. 2) muestra que para refrigeración la fuente de energía más utilizada es la electricidad (≈62%, 23.508 kW), mientras que el gasoil (≈39%, 13.829 kW) y el gas natural (≈34%, 11.893 kW) se usan más para calefacción. Finalmente, en el caso de ACS y C+ACS, el gas natural representa la mayor parte del uso, con ≈52% y ≈67% respectivamente. Las energías renovables representan ≈5% del total general de 85.245 kW, la cifra más alta para el uso de la biomasa en el calentamiento aproximadamente el 12% (4.092 kW), mientras que su uso para el ACS es insignificante (≈1%, 99 kW). Estos porcentajes, observados dentro del área estudiada, siguen las tendencias mundiales generales para las energías renovables, que registran 4,50% para el uso de biomasa en calderas y 0,4% para energía solar [33].

En la distribución geográfica de las calderas, se ha observado que las calderas colectivas se encuentran principalmente en edificios de grandes ciudades, como Granada, Baza y Guadix. Por otro lado, en los municipios más pequeños la mayoría de las calderas instaladas son individuales.



Fig. 1: Ubicación de la provincia de Granada. El punto es la capital

Combustible	Refrigeración	Calefacción	ACS	C+ACS	Total
Gasoil	176,00	13.828,80	1.920,70	3.271,75	19.197,25
Gas natural	3.881,30	11.893,06	4.859,35	71.789,90	92.423,61
Gas propano	824,10	496,90	1.333,80	12.501,75	15.156,55
Electricidad	23.508,05	1.075,54	12,80	3.343,60	27.939,99
Biomasa	694,0	4.092,16	99,00	3.275,52	8.160,68
Solar	0,00	0,00	256,30	107,73	364,03
Mixto	8.543,36	3.630,61	834,10	12.504,39	25.512,46
Otros	0,00	35,00	0,00	497,90	532,90
Total	37.626,81	35.052,07	9.316,05	107.292,54	189.287,47

Medidas en kW
Table 2: Desglose de la capacidad instalada por tipo de combustible en la provincia de Granada

3.2. FACTORES AMBIENTALES

Las cifras obtenidas para el uso de diferentes fuentes de energía y los criterios descritos anteriormente para el cálculo de las emisiones de CO₂ se utilizaron para establecer las emisiones generadas por el uso de energía incluido en el estudio (Tabla 3). Se observa que el combustible que genera la mayoría de las emisiones de CO₂ es el gas natural, debido a la gran cantidad de equipos que utilizan este combustible, que representa el 43,53%, seguido de la electricidad, el sistema mixto gasoil-electricidad, el gas propano, el gasoil y la biomasa con 17,81%, 15,92%, 11,31%, 11,15% y 0,27% respectivamente.

La Fig. 3 muestra los cambios necesarios desde el 2016 hasta el 2030 para que las emisiones de CO₂ en la provincia de Granada se reduzcan en línea con los objetivos 2030. Estos cambios se han realizado en una hipótesis de sustituciones proporcionales de los combustibles fósiles hacia las energías renovables. Se puede observar que la capacidad instalada para energías renovables debe aumentar desde la cifra actual del 4,50% (4,31% de biomasa y 0,19% solar) hasta el 27% especificado en los objetivos (25,86% de biomasa y 1,14% solar). Como hipótesis, para lograrlo se requiere una tasa de reemplazo anual de los sistemas actuales por energías renovables del 1,61% (Fig. 3). Para lograr este aumento en la energía renovable, se debe reducir el uso de otros combustibles no renovables. Actualmente el gasoil representa el 10,14%, el gas natural el 48,83%, el gas propano el 8,01%, la electricidad el 14,76% y los mixtos el 13,48%. Además, debería alcanzar 7,75%, 37,32%, 6,12%, 11,28% y 10,30% respectivamente para cumplir los objetivos 2030.

3.3. FACTORES ECONÓMICOS

Finalmente, con los costos mostrados en la Tabla 1, y la información de las instalaciones de la Tabla 2 y la Fig. 3, se calcu-

laron los ahorros económicos resultantes del cumplimiento de los objetivos 2030 [3], con el 27% de los requerimientos de energía provenientes de fuentes renovables. Debido a que el precio de las instalaciones depende de varios factores, solo se ha considerado el costo de los combustibles. Se puede observar un ahorro total del 6,24%. Por un lado, se han producido ahorros económicos en refrigeración y C+ACS (19,28% y 11,43% respectivamente). Por otro lado, se han producido aumentos en el calefacción y ACS (13,50% y 5,48% respectivamente).

4. DISCUSIÓN

Para alcanzar el objetivo especificado en el programa 2030, en el área estudiada, se requiere una reducción general de las emisiones de CO₂ del 23,01% en comparación con los niveles actuales. El caso de España se puede comparar con el de Suecia, donde se requirió una reducción del 25% respecto a los niveles de emisiones de CO₂

de 1990. Como se ha logrado una reducción de alrededor del 8%, es necesaria una reducción adicional de aproximadamente del 17% [13], muy similar a la cifra de España en este estudio.

Los resultados obtenidos en factores ambientales son similares a los de otros estudios europeos, en relación con los combustibles no renovables, que muestran el mayor nivel de emisiones de CO₂ con el gasoil con el 37,40% del total, seguido por el gas natural con el 23,50%, porcentajes que dependen de variables como las reservas de cada país [3].

Teniendo en cuenta que las emisiones netas de CO₂ son muy bajas para la biomasa [20], y que son cero para la energía solar [26], estas fuentes de energía siempre serán una buena opción. Si fuera factible cambiar el 100% de los equipos a energías renovables, las emisiones de CO₂ serían mínimas. Por otro lado, si las emisiones de biomasa se consideran neutrales, debido al ciclo de vida [34], la reducción de emisiones sería del 100%. Aunque la biomasa se considera CO₂ neutra [34], su uso como fuente de energía estándar podría tener otro tipo de consecuencias como el impacto en el uso de la tierra, el desplazamiento de cultivos alimenticios (humanos y/o animales), la erosión del suelo y la eutrofización de residuos agrícolas. Por esta razón, es necesario utilizar biomasa de recursos forestales sostenibles o basados en residuos urbanos.

Para garantizar reducciones en las emisiones de CO₂, muchos países europeos favorecen la biomasa como alternativa a otros combustibles. Alemania, Francia, Suecia y Finlandia están a la vanguardia con un consumo anual de 10.000 kt, 9.000 kt, 7.000 kt y 6.000 kt, respectivamente, mientras que España ocupa el séptimo lugar con un consumo anual de 4.000 kt [35]. La provincia de Granada se caracteriza por un alto potencial de biomasa, principalmente residuos de cultivos, cáscaras

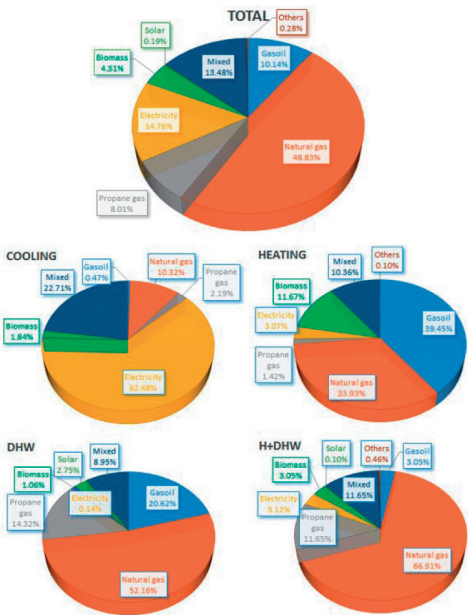


Fig. 2: Desglose del uso de combustible en la provincia de Granada

Situación actual								
Combustible	Gasoil	Gas natural	Gas propano	Electricidad	Biomasa	Solar	Mixto	Total
Refrigeración	20	352	26	3.021	4	0	1.027	4.451
Calefacción	6.451	4.496	258	29	110	0	1.819	13.163
ACS	218	447	43	0	1	0	102	811
C+ACS	1.439	25.583	8.045	1.579	654	0	5.906	43.207
Total	8.128	30.878	8.372	4.630	770	0	8.854	61.631
Programa 2030								
Combustible	Gasoil	Gas natural	Gas propano	Electricidad	Biomasa	Solar	Mixto	Total
Refrigeración	15	269	20	2.309	27	0	785	3.426
Calefacción	4.931	3.436	197	22	663	0	1.390	10.640
ACS	167	342	33	0	4	0	78	623
C+ACS	1.100	19.556	6.150	1.207	3.924	0	4.515	36.451
Total	6.213	23.603	6.400	3.539	4.618	0	6.768	51.140

Medidas en t CO₂/año
Tabla 3: Emisiones de CO₂ por tipo de combustible

de almendras y huesos de aceituna [27]. Además, cada tipo de biomasa tiene diferentes características como PCI, costos económicos, etc. [10].

En general, se ha observado un aumento considerable en el uso de energías renovables en la producción de electricidad. En 2011 se estimaron emisiones de 0,649 kg CO₂/kWh [4], en 2017 se ha reducido a 0,357 kg CO₂/kWh [20]. Como resultado, en el uso de la electricidad se ha logrado una reducción de las emisiones de CO₂ del 45%.

En el caso hipotético de reemplazar todos los sistemas por biomasa, calculamos que el ahorro económico aumentaría al 30,83%. En España, en comparación con el gasoil, el uso de pellets de madera puede llevar a ahorros económicos de hasta el 70%, y aproximadamente el 88% cuando se usan astillas de madera o huesos de aceitunas [10]. De manera similar, en Chile, en comparación con el gas natural, el uso de astillas de pino, huesos de aceituna y pellets de madera

puede generar ahorros económicos de hasta el 80%, el 83% y el 84% respectivamente [36]. Estos resultados dependen de la diferencia entre el precio de los combustibles en cada país. Los resultados presentados son teóricos, con la hipótesis de que el reemplazo de calderas es factible en todos los casos. Debe tener en cuenta condiciones tales como el espacio disponible para la instalación de la caldera; espacio para la el almacenamiento de combustible; suministro de combustible; etc.

5. CONCLUSIONES

En este estudio se ha analizado el uso de diferentes tipos de combustibles utilizados en los hogares de Granada para refrigeración, calefacción y ACS. Teniendo en cuenta el número de registros considerados y la diversidad climática del área, podemos considerarla representativa de la situación en la que se encuentra en el resto de España.

Hemos visto que la fuente de energía más utilizada depende del tipo de sistema, aunque hay un claro predominio de los combustibles fósiles sobre las energías renovables, especialmente el gas natural, que representa aproximadamente la mitad de la capacidad total en uso. En el caso de calefacción, la fuente de energía predominante es el gasoil, que se utiliza aproximadamente en un 40%, mientras que el gas natural representa 1/3 del total. En refrigeración, la electricidad se usa de manera más extensa (2/3 del total). En todos los casos, el uso de energías renovables representa pequeños porcentajes, independientemente del sistema analizado.

Estos resultados muestran que estamos muy lejos de alcanzar los primeros objetivos establecidos en el programa 2030 para la implementación de sistemas mejorados, a pesar de que su uso implicaría beneficios ambientales y económicos sustanciales.

Para cumplir los objetivos especificados en el programa 2030, el uso de energías renovables para calefacción, refrigeración y ACS implicaría el reemplazo del 23% de las calderas actualmente instaladas en el área estudiada, lo que permite un ahorro de aproximadamente un 17% en las emisiones de CO₂. Estas cifras podrían aumentarse a 87,84% si se cambiaran todos los sistemas actuales a un sistema basado en biomasa.

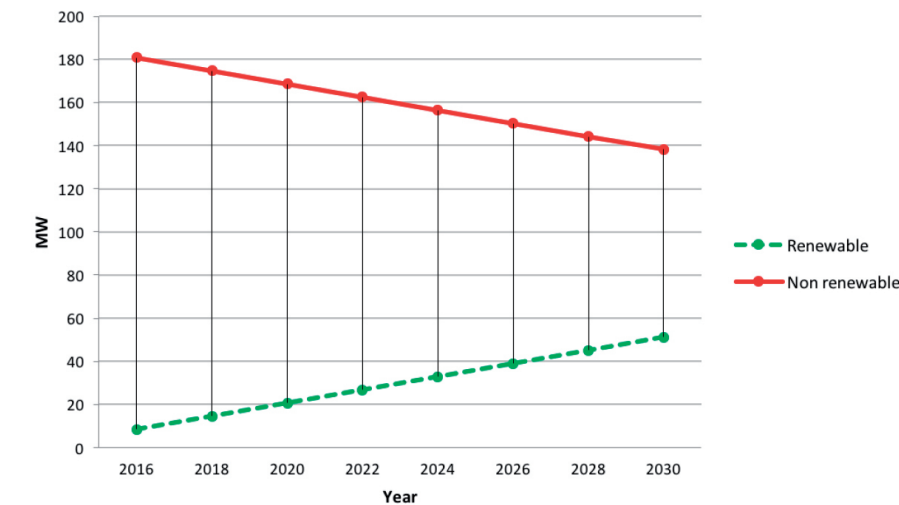


Fig. 3: Incrementos en el uso de energía renovable necesarios para cumplir con los objetivos 2030 en la provincia de Granada

PARA SABER MÁS

[1] F. Marcos Martín, Biocombustibles sólidos de origen forestal, AENOR, Madrid, 2001.

[2] United Nations, Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change, 1998.

[3] Europe, European Union climate and energy package 2008-2020, (2007).

[4] Spain, Plan de Energías Renovables 2011-2020, Minist. Ind. Tur. Y Comer. Gob. España, IDAE. (2011) 1-824.

Situación actual							
Combustible	Gasoil	Combustible	Gasoil	Combustible	Gasoil	Combustible	Gasoil
Refrigeración	6.653	69.863	23.734	1.032.474	12.242	350.619	1.495.585
Calefacción	2.178.036	891.980	59.628	196.824	300.774	620.834	4.248.075
ACS	56.268	67.789	29.771	436	10.621	26.530	191.414
C+ACS	635.537	6.640.566	1.850.259	754.651	296.926	2.637.176	12.815.114
Total	2.876.494	7.670.198	1.963.392	1.984.384	620.562	3.635.160	18.750.190
Programa 2030							
Combustible	Gasoil	Combustible	Gasoil	Combustible	Gasoil	Combustible	Gasoil
Refrigeración	5.085	53.403	18.142	789.221	73.431	268.013	1.207.296
Calefacción	1.664.886	681.827	45.580	150.452	1.804.114	474.564	4.821.423
ACS	43.011	51.818	22.757	333	63.705	20.279	201.903
C+ACS	485.803	5.076.035	1.414.334	576.853	1.781.034	2.015.852	11.349.911
Total	2.198.786	5.863.083	1.500.813	1.516.859	3.722.284	2.778.708	17.580.533

Cifras en euros (€)
Tabla 4: Cifras comparativas del combustible de la caldera (€/año)

[5] A.M. Omer, Energy, environment and sustainable development, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 12 (2008) 2265–2300. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>.

[6] Europe, Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency, (2016).

[7] Europe, Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance), (2009).

[8] Europe, Directive 2002/91/EC, European Parliament and of the Council of 16 December on the energy performance of buildings, *DOUE* 1 (2002) 65–71.

[9] Europe, Directive 2010/31/EU, European Parliament and of the Council of 19 May on the energy performance of buildings, *DOUE* 153 (2010) 13–35.

[10] M. Carpio, M. Zamorano, M. Costa, Impact of using biomass boilers on the energy rating and CO2 emissions of Iberian Peninsula residential buildings, *Energy Build.* 66 (2013) 732–744. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.079>.

[11] J.F. González, C.M. González-García, A. Ramiro, J. González, E. Sabio, J. Gañán, M.A. Rodríguez, Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler, *Biomass and Bioenergy*. 27 (2004) 145–154. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.01.004>.

[12] N. Pardo, C. Thiel, Evaluation of several measures to improve the energy efficiency and CO2 emission in the European single-family houses, *Energy Build.* 49 (2012) 619–630. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.006>.

[13] J. Joëlsson, L. Gustavsson, Swedish biomass strategies to reduce CO2 emission and oil use in an EU context, *Energy*. 43 (2012) 448–468. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.050>.

[14] G. Devlin, R. Klvac, K. McDonnell, Fuel efficiency and CO2 emissions of biomass based haulage in Ireland – A case study, *Energy*. 54 (2013) 55–62. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.007>.

[15] IGN, Base Cartográfica Nacional 500. BCN500. Instituto Geográfico Nacional-Centro Nacional de Información Geográfica, España, (2012).

[16] M. Carpio, A. García-Maraver, D.P. Ruiz, A. Martínez, M. Zamorano, Energy rating for green buildings in Europe, *WIT Trans. Ecol. Environ.* 190 VOLUME (2014) 381–394. doi: <http://dx.doi.org/10.2495/EQ140371>.

[17] Spain, Código Técnico de la Edificación (CTE), Real Decreto 314/2006 17 Marzo. BOE 74 (2006) 11816–11831. www.boe.es/boe/dias/2006/03/28/pdfs/A11816-11831.pdf.

[18] M. Carpio, J. Jódar, M.L. Rodríguez, M. Zamorano, A proposed method based on approximation and interpolation for determining climatic zones and its effect on energy demand and CO2 emissions from buildings, *Energy Build.* 87 (2015) 253–264. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.041>.

[19] Junta de Andalucía, Dirección General de Industria, Energía y Minas. Consejería de Empleo, Empresa y Comercio, (2017). <http://www.juntadeandalucia.es>.

[20] Spain, Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España, Doc. Reconocido Del Reglam. Instal. Térmicas En Los Edif. (RITE), Minist. Ind. Energía Y Tur. (2016) 31. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

[21] Spain, Geoportal precios carburantes, Secretaría de Estado de Energía, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, (2017). <http://www.minetad.gob.es/energia/es-ES/Servicios/Paginas/consultasdecarburantes.aspx>.

[22] Spain, BOE, Resolución de 25 de septiembre de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural., (2017) 95011–95013.

[23] Repsol, Listado precios butano propano, (2017). <https://www.repsol.com/SA/Herramientas/ListadoPreciosButanoPropanoEnvasado/precios.aspx>.

[24] Red Eléctrica de España, Término de facturación de energía activa, (2017). <https://www.esios.ree.es/es/pvpc>.

[25] AVEBIOM, Índice de precios del pellet doméstico en España 1T 2012–3T 2017, Valladolid, 2017. <http://www.avebiom.org/es/ind-precios-biomasa>.

[26] G.A. Florides, P. Christodoulides, V. Messaritis, Reviewing the effect of CO2 and the sun on global climate, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 26 (2013) 639–651. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.062>.

[27] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (2017). <http://www.idae.es/>.

[28] IDAE, Biomasa: Edificios, Madrid, 2007.

[29] Europe, COM/2011/0112 A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, (2011).

[30] Europe, Energy roadmap 2050, Luxembourg, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.2833/10759>.

[31] Europe, COM/2011/0144 - White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, (2011).

[32] IEA, Key World Energy Statistics, 2016.

[33] REN21, Renewables Global Status Report, 2016.

[34] R. Saidur, E.A. Abdelaziz, A. Demirbas, M.S. Hossain, S. Mekhilef, A review on biomass as a fuel for boilers, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (2011) 2262–2289. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015>.

[35] AEBIOM, European Bioenergy Outlook, 2016.

[36] M. Carpio, Comparativa de uso de diferentes tipos de biomasa para calefacción de viviendas en distintas zonas climáticas de Chile, in: 20 Congr. Energías Sustentables En Bahía Blanca, Bahía Blanca, 2016: p. 484.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto CONICYT FONDECYT 11.160.524. Los autores desean agradecer a la Junta de Andalucía (España) su autorización para acceder a los datos del estudio.

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Términos	Acrónimos
Dióxido de Carbono	CO ₂
Agua Caliente Sanitaria	ACS
Agua Caliente Sanitaria y Calefacción	C+ACS
Programa Europeo sobre el Cambio Climático	PECC
Euro	€
Calefacción	C
Hora	h
Kilogramo	kg
Kiloton	kt
Kilowatt	kW
Poder Calorífico Inferior	PCI