

AUTOCONSUMO ENERGÉTICO DEL SECTOR RESIDENCIAL EN ESPAÑA: UNA OPORTUNIDAD PARA LA MODERNIZACIÓN DE LA ECONOMÍA, PROPICIANDO LA PENETRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Luis Alberto GARCÍA MONTI
Delegación Territorial de AEMET en Aragón

RESUMEN: Estudios de todo tipo confirman desde hace tiempo que, si se sigue con el modelo energético imperante en la actualidad, la temperatura ambiental subirá, de media, 1,5 °C entre los años 2030 y 2052.

Las conclusiones recogidas en el informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2018), publicado el 8 de octubre de 2018, aseveran que las actividades humanas son las responsables de un aumento de las temperaturas globales de 1 °C sobre el nivel preindustrial, y señala que se producirán efectos irreversibles en nuestro entorno, graves perjuicios en la seguridad alimentaria, mayores gastos en los sistemas de salud y fuertes impactos en la economía mundial.

Este estudio profundiza sobre los datos actuales de disponibilidad energética en el sector residencial en España para alcanzar su autoconsumo, identificando los recursos solares y las opciones de aprovechamiento en diferentes regiones de la geografía española, a fin de favorecer la implantación y gestión de fuentes renovables.

Palabras clave: energía, consumo energético, energía solar, energías renovables, eficiencia energética, balance energético, sector residencial, vivienda.

1. PRESENTACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

El borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (IDAE, 2019), presentado por el Gobierno de España en febrero de 2019, tiene como objetivo a largo plazo convertir al país neutro en carbono en 2050, reduciendo las emisiones brutas totales de gases de efecto invernadero (GEI) del 90 % respecto a 1990.

El Quinto Informe de Evaluación, con base física y último disponible, presentado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, en sus siglas en inglés) (IPCC, 2014), aprobado en 2013 hace un mayor hincapié en la evaluación de los aspectos socioeconómicos del cambio climático y sus consecuencias para el desarrollo sostenible, los aspectos regionales, la gestión de riesgos y la elaboración de una respuesta mediante la adaptación y la mitigación del cambio climático.

El objetivo general de este estudio es el desarrollo de una metodología útil para identificar los flujos de energía, localizándolos espacial y temporalmente, a fin de favorecer la implantación y gestión de fuentes renovables de origen solar, en todo el territorio español.

2. METODOLOGÍA

2.1. Análisis de demanda

El trabajo pretende aportar el conocimiento de los flujos de energía existentes y necesarios para atender la demanda residencial en España, encontrando la relación existente entre la energía de origen renovable y el consumo.

2.1.1. Demanda residencial

Los datos empleados en este trabajo provienen del Grupo de trabajo de estadísticas de Eurostat¹, creado en junio de 2009, en el cual se recogieron las consideraciones referentes al sector residencial. Para facilitar dicho cometido, Eurostat resolvió aprobar una partida presupuestaria, destinada a facilitar la realización de estudios dirigidos al análisis del consumo energético de los hogares en los Estados Miembros. Surgió así el proyecto SECH (EUROSTAT, 2013) (*Development of detailed Statistics on Energy Consumption in Households*).

Teniendo en cuenta los objetivos del estudio, ha sido necesario determinar los consumos segmentados asociados al sector, a fin de totalizar los consumos residenciales globales.

La segmentación de los consumos eléctricos, independientemente de su uso térmico (caso calefacción) o eléctrico, es el resultante de la operación de mediciones de consumos eléctricos por equipos, en donde se incluyen las calderas eléctricas, para usos combinados de agua caliente y calefacción, y cualquier tipo de dispositivo eléctrico empleado para alcanzar la temperatura de confort residencial.

2.2. Tipos de vivienda

El tamaño del hogar, expresado como el número de miembros del hogar, es una variable con repercusión significativa en el consumo energético y alcanzó en 2013 en Europa la media de 2,7 personas/hogar, lo cual implica que cada habitante ocupa un promedio de 40 m² construidos para usos residenciales. En la OCDE (OCDE, 2016), el hogar promedio tiene 1,8 habitaciones por persona.

2.2.1. Estimación de la demanda por metro cuadrado y habitante

El factor fundamental que regula el consumo energético estacional es la temperatura ambiente, pues influye en la demanda residencial principalmente sobre la calefacción. Asimismo, en los periodos fríos se produce un mayor consumo de los electrodomésticos (lavadoras, lavavajillas y calderas, en cuyos procesos está el calentamiento de agua) como consecuencia de la menor temperatura del agua de entrada. Además de estos factores directos, se produce un aumento de consumo por las bajas temperaturas, como consecuencia de la mayor ocupación de los hogares en los meses de invierno.

2.3. Consideraciones generales

El suministro de gas, presente en todo el continente europeo, y en concreto en España, y por tanto demandado en el sector residencial, con una marcada componente estacional, permite inferir el consumo medio de energía de uso residencial en cada estación.

¹ Comisión Europea, Oficina de estadística, Eurostat.

Una media de 40 m² de uso residencial por habitante en Europa, que implica satisfacer las necesidades energéticas del residente en esta superficie habitacional, es demasiado optimista para que sean empleados en su totalidad como superficie de captación solar. Por consiguiente, la capacidad del sistema a la hora de aprovechar la radiación solar global incidente sobre los edificios debe ser inferior a los 40 m² existentes, puesto que para el caso español más del 60 % de la población reside en pisos.

3. BALANCE DE ENERGÍA: RECURSO Y DEMANDA

3.1. El modelo propuesto hacia el balance de energía

Se presenta un modelado del equilibrio energético local basado en los datos de radiación global solar sobre las viviendas frente a la demanda de energía de uso residencial, proyectado sobre un sistema de información geográfica² (GIS), en la resolución de un kilómetro cuadrado.

El balance espacial y temporal significa la búsqueda del posible equilibrio entre la energía disponible y la necesaria para cada lugar y periodo de tiempo. La estrategia está definida como la de mayor eficiencia, la de generar por fuente renovable en el mismo sitio donde se consume, para mitigar los efectos provocados por el cambio climático. Se contempla el uso de tecnologías probadas que sirvan para satisfacer la demanda, cumpliendo con las restricciones de emisión de gases de efecto invernadero para una región.

3.1.1. El modelo general

Se enmarca en tres partes:

- 1) Modelo potencial teórico: considera la radiación global (directa + difusa), partiendo de datos en formato GRIB, proyectados posteriormente a la referencia espacial ETRS 1989 LAEA y convertidos en la resolución elegida de 1 km². Estos modelos representan cada una de las estaciones del año, correspondiendo para cada una los siguientes meses:

Invierno: diciembre, enero y febrero.

Primavera: marzo, abril y mayo.

Verano: junio, julio y agosto.

Otoño: septiembre, octubre y noviembre.

Así, se considera superficie hábil para la captura de radiación solar solo el valor medio aprovechable asignado a cada habitante de uso residencial. La superficie de captación por kilómetro cuadrado es el producto entre los valores de densidad de población y el valor de la superficie aprovechable de captación.

- 2) El modelo de demanda real: ilustra la solicitud de energía residencial desagregada espacialmente, expresada en unidades de kWh por kilómetro cuadrado en cada estación del año.
 - Implica que el consumo medio estacional de energía residencial por kilómetro cuadrado es el resultado de la multiplicación del consumo medio residencial por habitante y la densidad de población, para esa misma unidad geográfica.

² ESRI, *ArcGIS for renewable energy*.

- El valor de la demanda de energía por metro cuadrado se obtiene dividiendo el consumo de uso residencial de la unidad geográfica (1 km²), por los metros cuadrados de uso residencial que ocupa la población en esa misma unidad geográfica.
- 3) Balance (déficit o excedente por unidad de superficie): se comparan los valores del modelo potencial teórico de radiación global en superficie sobre las viviendas y los valores del modelo de demanda real, para cada unidad geográfica a igual resolución. Ello permite estimar la posibilidad de autosuficiencia teórica de las viviendas en cada lugar y momento del año.

Los datos empleados de irradiación global media estacional son valores medios diarios, y el periodo de estudio queda comprendido entre los años 2009 y 2013.

En los mapas el flujo radiativo está expresado en kWh/m²/estación y kWh/m²/día, por lo que para determinar la energía incidente durante un periodo basta multiplicar los valores diarios indicados por el número de días del periodo.

3.2. Análisis entre disponibilidad y demanda

La relación entre la energía útil y el consumo corresponde a la definición de Balance Energético (B), que es la variable empleada para el cálculo de los balances estacionales:

$$B = \text{ENERGÍA ÚTIL (potencial solar)} / \text{ENERGÍA CONSUMIDA (demanda residencial)}$$

4. ESPAÑA: RECURSO Y DEMANDA

La captación de energía solar sobre la superficie construida y disponible para cada habitante a nivel europeo, se denomina “energía disponible de uso residencial” y se puede definir como: la irradiación global en superficie, directa más difusa, que puede ser empleada para la atención de la demanda residencial, considerando la energía incidente sobre las viviendas existentes.

La demanda energética residencial es en función de:

- la zona geográfica (ubicación por latitud, y lejanía o proximidad del mar),
- el tipo de vivienda (bloque, adosado, unifamiliar u otro tipo),
- el grado urbano (ciudad, suburbio o rural) y
- la densidad de población.

4.1. Densidad de población en España

Teniendo en cuenta las aportaciones de ZOIDO y ARROYO (2003), referentes a la población en España, la densidad de población es un indicador de poblamiento muy arraigado, aunque no es lo suficientemente preciso, pues a espacios muy diversos se les atribuye el mismo valor demográfico. Por el contrario, el mapa provincial de España soporta mejor el concepto de densidad, al ser esta división territorial menos heterogénea que la municipal.

La variable densidad de población se ajusta al criterio cuyos valores representan territorios provinciales. Según los estudios llevados a cabo sobre el tema, indicados en el párrafo anterior, al parecer resulta conveniente emplear los valores de densidad de población a

escala provincial, lo que ha motivado la selección de estos datos para la ejecución del estudio en España.

4.2. División de España en zonas continentales y marítimas

En base a los datos del Informe final del proyecto SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011) sobre el “Análisis del consumo energético del sector residencial en España”, se ofrecen las demandas totales para cada una de las zonas climáticas de estudio, atlántica, continental y mediterránea, que se presentan en la siguiente tabla de consumos residenciales anuales diferenciados por zonas.

	Consumos totales anuales			
	ESPAÑA	Atlántico	Continental	Mediterráneo
En terajulios	614 452	75 405	263 110	275 937
En kWh	1,71E+11	2,09E+10	7,31E+10	7,66E+10

Tabla 1. Consumos residenciales anuales diferenciados por zonas. España. Datos IDAE 2011.

El estudio SECH-SPAHOUSEC permite disponer de información a nivel nacional sobre los consumos energéticos residenciales. Ello permite establecer una relación entre los consumos estacionales dependiendo de la proximidad o el alejamiento de los núcleos poblacionales a las zonas marítimas, tal y como se aprecia en la figura 1.

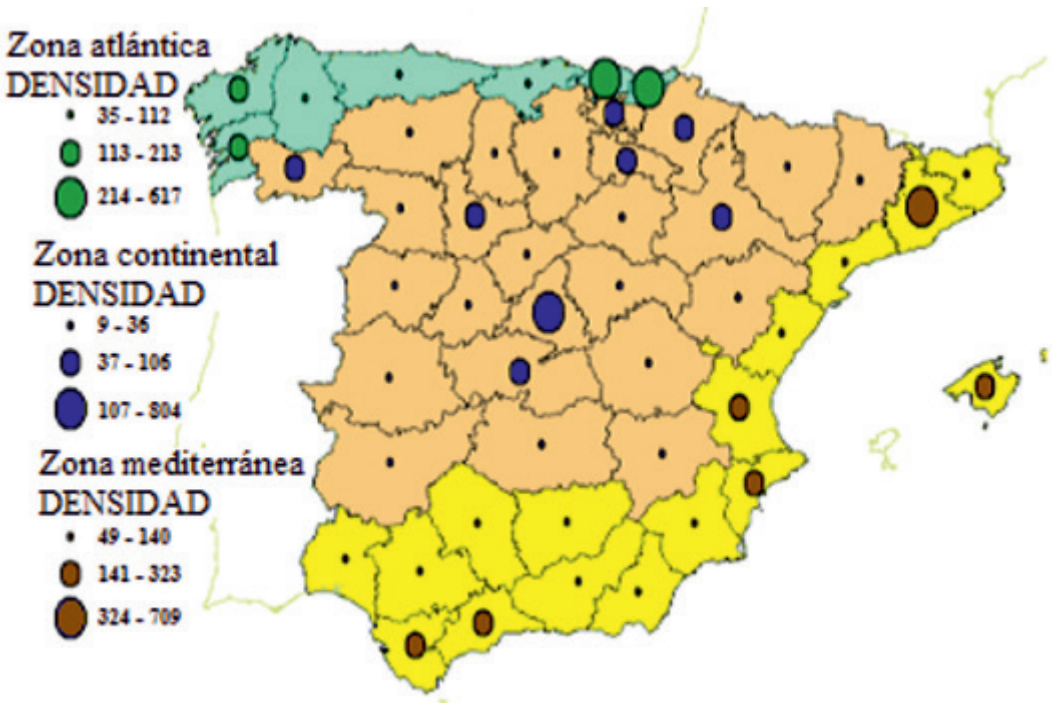


Figura 1. España dividida en zonas continental y marítimas (atlántica y mediterránea), y valores de densidad de población por provincia. Datos Eurostat-IDAE (2011-2013).

De esta relación se derivan tres zonas diferenciadas de consumo, que corresponden a:

- la zona atlántica,
- la zona continental y
- la zona mediterránea, en la que se incluyen las provincias con costas atlánticas del sur de la península ibérica.

4.3. Variación de los consumos residenciales estacionales por tipo de viviendas y zonas geográficas

Según el tipo de vivienda, el consumo energético se concentra en las viviendas en bloque, lo que responde al mayor número de este tipo de viviendas frente a las unifamiliares. Esto se corresponde a los altos valores de densidad de población.

Sin embargo, la demanda de energía por habitante es notablemente inferior en un piso que en una casa unifamiliar. En España, en conjunto, las viviendas en bloque explican el 65 % del consumo del sector, frente al 34 % que representa el consumo asociado a las viviendas unifamiliares y adosadas. La cobertura a la demanda en las viviendas en bloque se realiza preferentemente con electricidad y gas natural, con una aportación insignificante de energías renovables, en el cómputo total.

Considerando el consumo medio, en unidades energéticas por hogar y por tipos de servicio y/uso, en España se aprecia que los consumos de las viviendas unifamiliares superan claramente los de las viviendas en bloque o pisos, sobre todo en lo relativo a consumos asociados a la calefacción:

- El consumo total de una vivienda unifamiliar duplica al de la vivienda en bloque, siendo el consumo de calefacción cuatro veces superior.
- El consumo medio de las viviendas unifamiliares es casi el doble del consumo de la vivienda media nacional, que basa su cálculo en todos los tipos de vivienda.

4.3.1. Cómputo de los consumos residenciales: zonales y estacionales

	Consumos totales anuales			
	ESPAÑA	Atlántico	Continental	Mediterráneo
En terajulios	614 452	75 405	263 110	275 937
En kWh	1,71E+11	2,09E+10	7,31E+10	7,66E+10
% consumos	1,00	0,12	0,43	0,45
Población	46 961 924	5 969 534	15 623 138	25 369 252
Consumo medio por habitante en kWh	3736	3509	4678	3021

Tabla 2. España. Consumos residenciales totales y por zonas. Datos IDAE 2011.

	Total	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Consumo curva gas en terajulios	452 140	132 288	107 997	100 936	110 919
Consumo curva gas en kWh	1,26E+11	3,76E+10	3,00E+10	2,80E+10	3,08E+10
Porcentaje consumo estacional	1	0,29	24	22	25
Consumo en zona atlántica en kWh	3509	1018	842	772	877
Consumo en zona continental en kWh	4678	1357	1123	1029	1170
Consumo en zona mediterránea en kWh	3021	876	725	665	755
Consumo medio total por habitante en kWh	3736	1083	897	822	934

Tabla 3. España. Consumos residenciales estacionales por zonas. Datos Eurostat-IDAE 2011.

El consumo medio nacional tiene un comportamiento similar al consumo medio de la zona atlántica, conforme con los datos presentados con anterioridad.

Se considera que los datos obtenidos sobre la zona atlántica, con la aplicación de modelo, tienen representatividad a escala nacional.

Los cuarenta metros cuadrados promedios de uso residencial implican, a nivel europeo, un espacio destinado a la satisfacción habitacional de los ciudadanos, acorde con el desarrollo humano en el continente, pero no representan de forma realista la disponibilidad de superficie libre que pueda destinarse a la captación de energía por fuente solar.

Los consumos residenciales son el resultado de la zona geográfica, del tipo de vivienda y del número de habitantes que la ocupan, como se señala en la tabla 4. Por consiguiente, la cantidad de metros disponibles por habitante varía en función de los mismos parámetros, siendo necesario utilizar estos criterios para definir los metros cuadrados promedio “captadores” por residente y obtener un coeficiente optimizado.

		% ciudades	% suburbios	% rural
Casas	Unifamiliares	2,5	3,8	7,9
	Adosados	4,4	5,2	10,5
Pisos	Pisos de < 10 plantas	9,4	5,0	4,6
	Pisos de > 10 plantas	33,5	9,2	3,7
Otros		0,1	0,0	0,2
Totales		49,9	23,2	26,9

Tabla 4. Distribución en España de la vivienda residencial por grado urbano y tipo de hábitat. Datos IDAE-Eurostat 2011-2013.

La correlación entre los porcentajes de la tabla anterior y la variable densidad de población a escala provincial dan como resultado los valores de distribución residencial para cada unidad geográfica, en la resolución de 1 km².

La componente espacial constituye el elemento común que permite unificar el análisis y es, precisamente, la base funcional de las tecnologías de la geoinformación, y más concretamente, de los GIS.

La orientación y la inclinación de los captadores conforman dos aspectos fundamentales a la hora de conseguir un óptimo aprovechamiento solar, y dada las restricciones propias a este tipo de instalaciones dependiendo del tipo de vivienda, es aconsejable aplicar un valor

consensuado de reducción del 20 % a los metros útiles de captura solar, que se incluyen en la tabla 5.

Esta reducción se basa en la experiencia aportada por los instaladores, reuniendo diferentes opiniones y problemáticas en un único valor, que garantiza la posibilidad de ejecutar sobre las viviendas existentes o de nueva construcción, proyectos para el aprovechamiento de la energía solar, sobre la horizontal.

Con el empleo de los datos aportados por Eurostat a nivel europeo, y los reseñados en el Informe final del Proyecto SECH-SPAHOUSEC, se obtienen los valores que definen con mayor exactitud los metros disponibles en España, presentados en la tabla 5.

Tipos de viviendas	m ² por tipo de vivienda	n.º personas que ocupan la vivienda	m ² iniciales	m ² finales (*)
Unifamiliar	160,00	5,4	29,63	23,70
Adosados	90,00	4,1	22,22	17,78
Otros tipos de viviendas	70,00	8,1	8,64	6,91
> 10-12 plantas	86,00	2,7	11,65	9,32
< 10-7 plantas	86,00	2,7	13,55	10,84

(*) Aplicación de una reducción del 20 % por arquitectura y pérdidas constructivas.

Tabla 5. Obtención de los metros cuadrados disponibles por habitante y tipo de vivienda.

4.4. Metros cuadrados de captación en España: coeficiente GRTH

Con el uso de los metros disponibles por habitante según tipo de vivienda y teniendo en cuenta los porcentajes del tipo de vivienda según su ubicación por grado urbano, se obtiene el coeficiente ponderado GRTH, que representa los metros cuadrados disponibles de captación por habitante, en función del grado urbano y el tipo habitacional.

En el caso español, el coeficiente GRTH tiene un valor de 13,35 m² por habitante, a escala nacional.

El resultado es un valor ponderado de metros útiles de captación por habitante que, al emplearlo en la resolución de 1 km², está en concordancia con la variable densidad de población, y tiene como objeto representar la superficie horizontal disponible de uso residencial, en base a la distribución habitacional de la población a escala nacional.

Esta forma de ponderación asigna un único valor de metros disponibles por habitante, con independencia de que se resida en una vivienda unifamiliar, adosado o piso (edificio de más o menos de 10 plantas), cuyo producto por la densidad de población da un valor promedio de metros disponibles por kilómetro cuadrado.

Si bien la referencia al autoconsumo implica que la demanda se hace corresponder con la energía susceptible de ser captada en la misma área, la generación distribuida cuando ocurre en la misma área de interés queda integrada en la misma definición, como lo señalan las investigaciones de MITTLBÖCK y BIBERACHER y otros (2008), que tienen como fin el empleo del GIS, para identificar las áreas susceptibles de alcanzar la autosuficiencia.

Para el caso de la energía de uso residencial, el fin obedece a este principio, el de generar la energía en el mismo sitio donde se consume, a fin de identificar las áreas susceptibles de alcanzar los niveles de autoconsumo.

4.5. El balance como un cociente entre energía y consumo

El cociente entre energía y consumo, ambas variables en unidades iguales y a la misma resolución geográfica, da como resultado el ratio de disponibilidad energética. Estos cálculos quedan representados en mapas e indican la cantidad de unidades de energía disponible por unidad de consumo o celda. Para valores ≥ 1 , se habla de exceso de energía y para los valores entre 0 y 1, déficit energético. Se comprueba que el resultado numérico identifica exceso o defecto de energía, para satisfacer la necesidad de autoconsumo residencial, según se aprecia en la siguiente ecuación:

$$B = E / C = GRTH * RGS / C ,$$

donde B es el balance de energía residencial, E la energía aprovechable residencial, $GRTH$ los metros cuadrados disponibles aprovechables para captación solar de uso residencial por habitante ($m^2/habitante$), RGS la irradiación global estacional (en kWh/m^2) y C el consumo estacional por habitante ($kWh/habitante$).

4.6. Balance energético

El balance energético pone en manifiesto las interrelaciones entre oferta y demanda, y los datos que se obtienen del sector residencial posibilitan una planificación estratégica global. Además, contabiliza los flujos de energía que van desde la generación por fuente solar hasta el consumo final.

El resultado del balance entre el potencial de energía solar y el consumo, representado como una razón entre las variables, permite un conocimiento más claro del potencial de autosuficiencia energética y es la base para analizar las posibilidades de sustitución de las fuentes convencionales por otras de origen renovable, en concreto la radiación solar sobre las viviendas.

La energía final es la que se pone a disposición del consumidor, lo que se entiende por energía útil, aquella que será susceptible de ser captada horizontalmente por el sector de la vivienda, y que necesita satisfacer sus necesidades de energía residencial. El salto entre la energía disponible (teórica) y la aprovechable (útil) es grande, sin embargo los balances energéticos en todos los casos dan resultados positivos para toda España.

4.6.1. Invierno

En las figuras 2, 3 y 4 y para cada una de las zonas de estudio, se muestran los balances de invierno, como una relación entre los flujos de energía aprovechable y la demanda residencial, en la resolución de $1 km^2$.

Los balances para las tres zonas presentan un superávit energético, que van desde 1,5 para la zona continental hasta 4,1 en la zona mediterránea. La zona atlántica registra valores medios de 2,3.

El superávit energético parte desde 1,5 alcanzando los 4,1 para las tres zonas de estudio, habida cuenta que es la estación del año con mayor demanda del sector residencial. Los

resultados para los balances de flujos energéticos superan ampliamente las necesidades residenciales, entre 10^3 kWh/km² y 10^6 kWh/km², por consiguiente el desafío para la transformación de la matriz energética, que actualmente satisface la demanda residencial, solo tiene como obstáculo la vertiente económica, dado que será necesario dotar de mecanismos de financiación a los hogares para que incorporen las últimas tecnologías de generación por fuente renovable, pues mejorando los procesos físicos de captación y haciendo más eficiente el consumo en las viviendas, antes se alcanzará autosuficiencia energética.

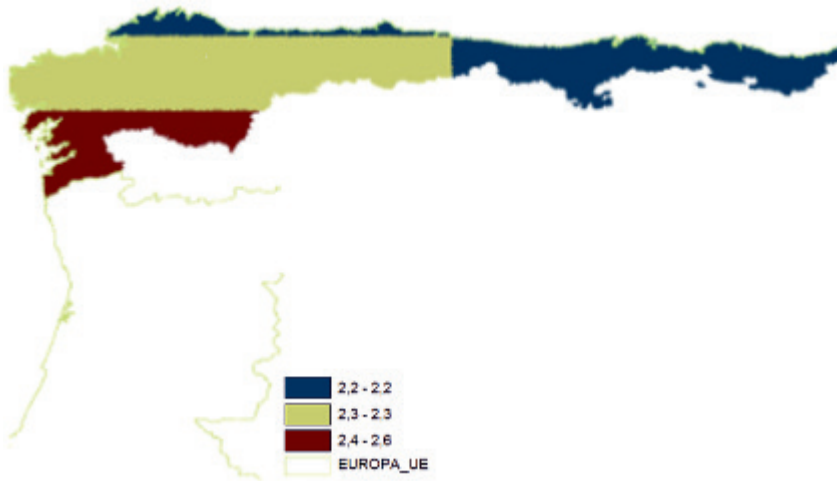
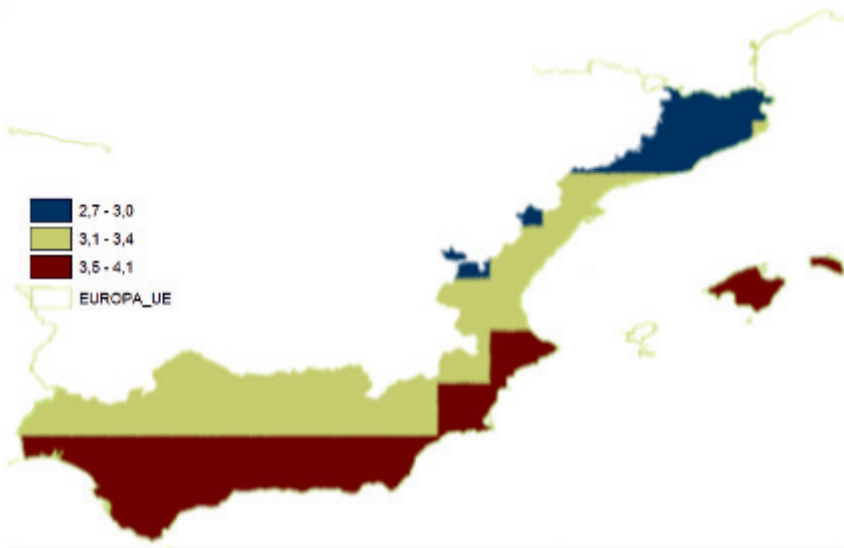


Figura 2. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona atlántica, en invierno. Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).



Figura 3. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona continental, en invierno. Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).

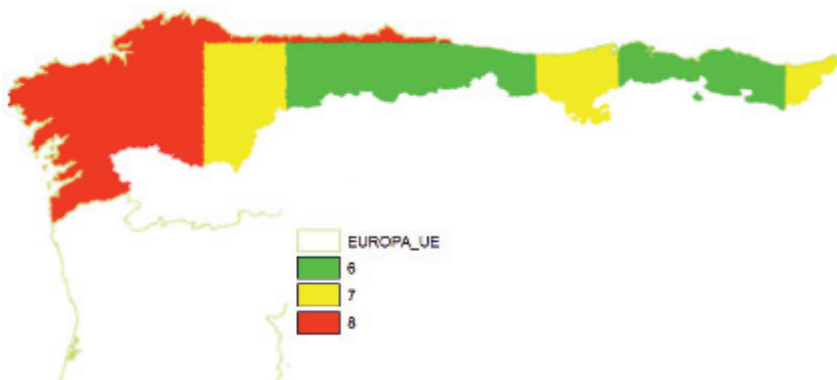


*Figura 4. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona mediterránea, en invierno.
 Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).*

4.6.2. Primavera y otoño

Las estaciones de primavera y otoño son las épocas del año donde menos energía se consume por aproximarse las condiciones ambientales al confort residencial. Existe una moderada diferencia entre ambas, favorable a la primavera en términos de demanda, donde se registran los meses de menor consumo, según datos de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC).

En las figuras 5 y 6, ambas para la zona atlántica, se muestran los balances de las estaciones de primavera y otoño. Los balances para ambas estaciones presentan un superávit energético entre 3 y 8, con valores medios entre 4 y 7.



*Figura 5. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona atlántica, en primavera.
 Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).*

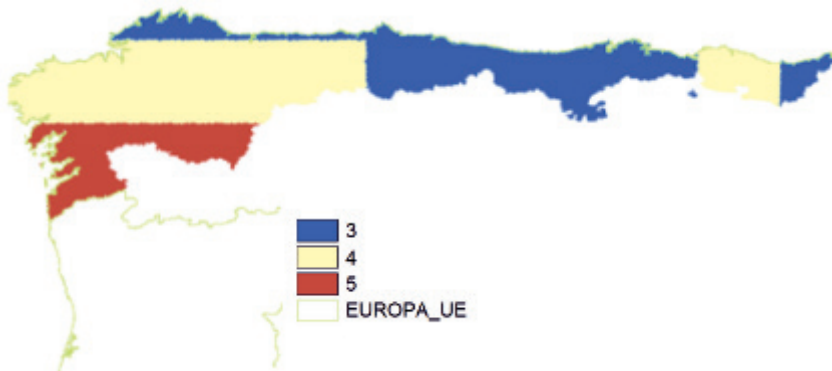


Figura 6. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona atlántica, en otoño. Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).

En las figuras 7 y 8, para la zona continental, se muestran los balances de las estaciones de primavera y otoño. Los balances, para ambas estaciones presentan un superávit energético entre 2,6 y 6, con valores medios entre 3 y 5.

En las figuras 9 y 10 para la zona mediterránea, se muestran los balances de las estaciones de primavera y otoño. Los balances, para ambas estaciones, presentan un superávit energético entre 4 y 10, con valores medios entre 5 y 9.

Se observa, en los mapas anteriores, que los balances energéticos son similares en ambas estaciones. Asimismo, el otoño presenta una relación más desfavorable que la primavera, principalmente en la zona continental, que acusa un cociente inferior, comparado con las zonas atlántica y mediterránea. La influencia del mar garantiza una transición moderada en términos climáticos entre estaciones favoreciendo menores consumos residenciales, principalmente de calefacción. Los promedios estacionales muestran valores de disponibilidad energética entre 2,6 y 10, para las tres zonas.



Figura 7. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona continental, en primavera. Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).



Figura 8. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona continental, en otoño.
 Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).



Figura 9. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona mediterránea, en primavera.
 Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).

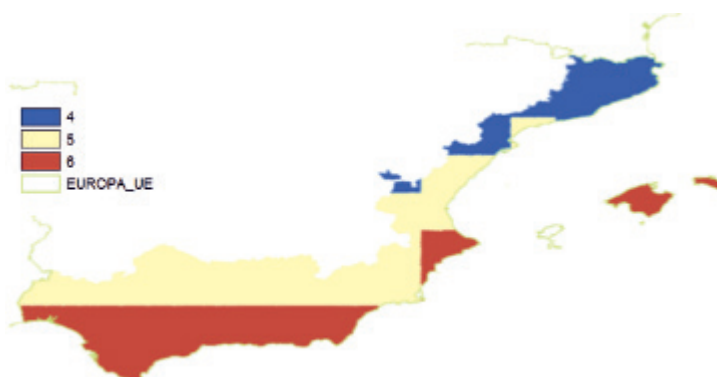


Figura 10. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona mediterránea, en otoño.
 Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).

4.6.3. Verano

El verano, con la mejor exposición de las regiones frente a la radiación global, presenta los mejores datos del balance energético, a pesar del uso de equipos de enfriamiento necesarios para alcanzar la temperatura de confort residencial. La relación entre energía y demanda alcanza valores de 13, y los flujos de energía resultantes del balance están próximos a los 5×10^6 kWh/km².

En las figuras 11, 12 y 13, para las tres zonas de estudio, se identifican los balances correspondientes al verano, que ofrecen para todas ellas valores superiores a 6 veces de disponibilidad energética frente a la demanda, y el exceso de flujo energético se aproxima a los 3×10^6 kWh/km².

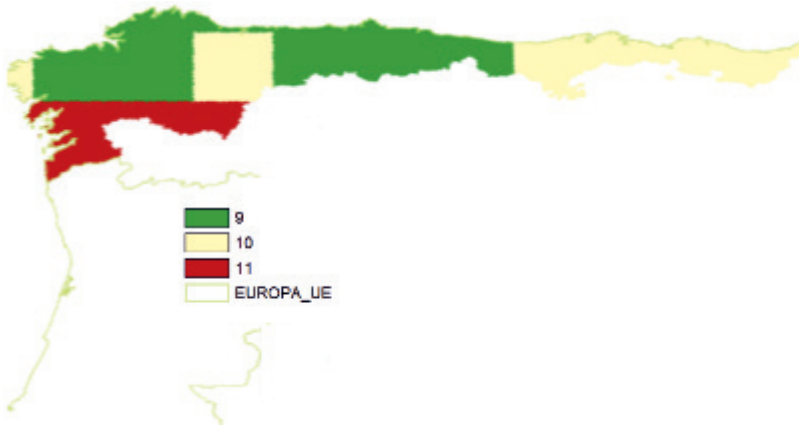


Figura 11. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona atlántica, en verano. Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).

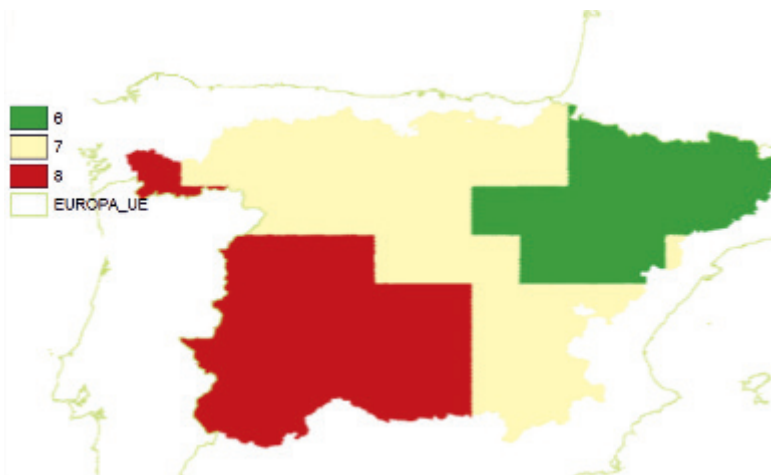


Figura 12. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona continental, en verano. Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).

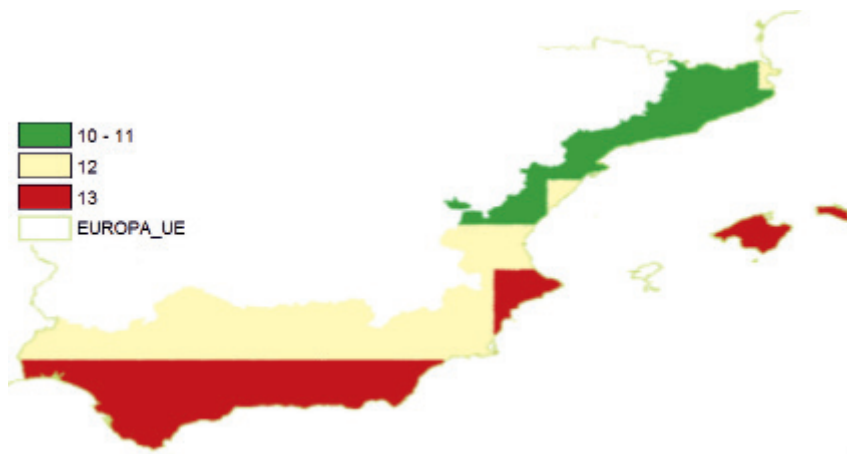


Figura 13. Relación entre la energía (radiación disponible) y la demanda (consumo por kilómetro cuadrado, uso residencial) en la zona mediterránea, en verano.
 Datos Eurostat-IDAE (2011-2013), ERA-INTERIM (2009-2013).

4.7. Consideraciones generales a los balances energéticos en España

Por los datos obtenidos de los balances, con grandes superávits energéticos, se deduce que la elección solar como fuente de energía renovable es un recurso con sobrada capacidad para atender la demanda energética residencial.

Igualmente se resalta la necesidad de investigar en profundidad la forma más eficiente de almacenar el exceso de energía de procedencia solar, generado en los periodos más cálidos para restituirlo en invierno.

5. CONCLUSIONES

- Los balances de energía estacionales correspondientes a la energía incidente sobre las viviendas con 13,35 m² disponibles por habitante en España, presentan valores de exceso de autosuficiencia energética entre 1,5 y 11 veces el consumo actual, para las tres zonas de estudio (atlántica, continental y mediterránea).
- La opción del autoconsumo energético, por aprovechamiento de la radiación solar directa sobre las viviendas, es una realidad viable en todo el espacio español.
- La generación distribuida exige nuevos tipos de red basada en la interconexión entre las unidades geográficas vecinas favoreciendo el uso del balance neto dentro de la zona e integrando los espacios comunes para aprovecharlos en la captación solar.

6. BIBLIOGRAFÍA

BIBERACHER, M., GADOCHA, S. y ZOCHER, D., 2008. GIS based Model to optimize possible self sustaining regions in the context of a renewable energy supply. *International Congress on Environmental Modelling and Software*, 283.

- EUROSTAT, 2013. Comisión Europea. Manual for statistics on energy consumption in households. Luxembourg, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA (IDAE), 2011. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe final.
- , 2019. Borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- , 2018. Comunicado de prensa 2018/24/PR. Los gobiernos aprueban el Resumen para responsables de políticas del Informe especial del IPCC sobre el calentamiento global de 1,5 °C.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE), 2016. Index Better Life. <http://www.oecd.org/>.
- ZOIDO NARANJO, F. y ARROYO PÉREZ, A., 2003. 1. La población de España. En: Tendencias demográficas durante el siglo XX en España. Instituto Nacional de Estadística (INE). ISBN: 84-260-3632-5.