

Influencia del cambio climático en la demanda de electricidad. El caso del País Vasco

The influence of climate change on electricity demand. Case study in the Basque Country



Kepa Solaun^{1,2} y Emilio Cerdá³

¹ Universidad de Navarra. Escuela de Ciencias. Campus de Pamplona - 31080 Pamplona (España)

² Factor CO₂. Colón de Larreátegui, 26 1 - 48009 Bilbao (España)

³ Universidad Complutense de Madrid. ICEI. Somosaguas Campus - 28223 Pozuelo de Alarcón, Madrid (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9344> | Recibido: 30/05/2019 • Inicio Evaluación: 30/05/2019 • Aceptado: 18/09/2019

ABSTRACT

- This article analyzes the sensitivity of electricity demand by sector to temperature, in the context of climate change. The paper outlines a methodology to incorporate climate variables into energy decision making. This methodology is based on the evolution of the thermal distance on cold and warm days with respect to established thresholds (Heating Degree Days and Cooling Degree Days) and its influence on demand. This approach has been tested in the Basque Country. Results show that the residential sector is the most sensitive to these changes, and future demand is projected according to multiple climate change scenarios. Due to the greater statistical significance of temperature differences on cold days, and the current limited use of air conditioning, it is estimated that residential demand could fall by as much as 4%, which could translate to nearly 20 million euros in annual savings and emission reductions of around 30,000 t. of CO₂ per year.
- Keywords:** Climate Change, Adaptation to Climate Change, Energy Demand, Energy Economics.

RESUMEN

Este artículo analiza la sensibilidad de la demanda sectorial a la temperatura en un contexto de cambio climático. El trabajo desarrolla una metodología para incorporar variables climáticas en el proceso de toma de decisión en materia de energía. Esta metodología se basa en la evolución de los diferenciales térmicos en días fríos y cálidos con respecto a ciertos umbrales (gradientes de calefacción día y gradientes de refrigeración día). Esta aproximación ha sido utilizada en el País Vasco. Los resultados muestran que el sector residencial es el más sensible a estas variaciones y la demanda futura es proyectada de acuerdo con varios escenarios de cambio climático. Debido a la mayor relevancia estadística de los diferenciales en los días fríos, así como al uso actual limitado del aire acondicionado, se estima que la demanda residencial podría descender hasta un 4%, lo que podría traducirse en un ahorro anual de 20 millones de euros y en unas reducciones de emisiones de en torno a 30.000 toneladas de CO₂ anuales.

Palabras clave: Cambio Climático, Adaptación al Cambio Climático, Demanda Energética, Economía Energética.

1. INTRODUCCIÓN

El sector eléctrico, debido al uso de combustibles fósiles no renovables, contribuye de manera sustancial al cambio climático

y, al mismo tiempo, puede verse afectado de forma relevante por el mismo [1,2]. Esta afección no se limita a la generación, sino que también puede tener repercusiones en las redes de distribución o la demanda [1,3–5].

Varios estudios han demostrado que la demanda de electricidad es sensible a variaciones en la temperatura y, por tanto, el cambio climático puede conllevar cambios en el consumo [6–8]. Generalmente, la relación entre temperatura y consumo de energía tiene una forma de U, de forma que el consumo aumenta tanto con temperaturas muy bajas como muy altas [9–12].

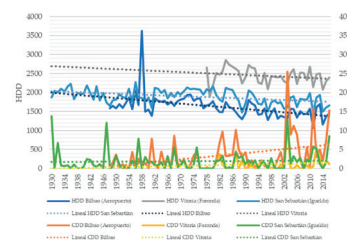
La influencia del clima depende en buena medida de la ubicación del área de estudio y sus fuentes de energía [9]. La sensibilidad del cambio climático a la temperatura es positiva en algunos lugares y negativa en otros, dependiendo de su geografía y climatología [7].

En Europa, algunos modelos apuntan a que los efectos en la demanda serán superiores a los relativos a generación [13] y a que las predicciones meteorológicas pueden ser útiles para estimar la demanda a corto y medio plazo [14,15]. Con respecto a los impactos a largo plazo, algunos estudios proyectan una reducción en la demanda de electricidad, ya que se espera que el impacto de la disminución del consumo en el invierno sea mayor que el aumento en el verano [16–18]. Esto puede conducir a una reducción de hasta un 22% a largo plazo [17]. Esta disminución también se vería en el sur de Europa, incluida España. Sin embargo, otro artículo predice un efecto neto neutral [12].

España está formada por varias regiones climáticas, lo que tiene un impacto importante en la estructura de la demanda. [19]. Varios estudios han analizado los factores que influyen más significativamente, como el clima, con un énfasis particular en el sector residencial [19,20].

El País Vasco es una Comunidad Autónoma española, cuya demanda de electricidad se caracteriza por el elevado peso del sector industrial, que representa el 55% del consumo, seguido por servicios (24%) y los hogares (19%) [21]. De las tres provincias que lo componen, Vizcaya representa casi la mitad del consumo (47%), lo que es consistente con su proporción de población (52%) y PIB (50%)¹.

En cuanto al clima, el País Vasco es más templado que el promedio de España, aunque las proyecciones apuntan a un aumento de las temperaturas. Esto se traducirá en menos días fríos, más



¹ Datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), 2015.

días cálidos y un aumento de los valores extremos. [22]. Los estudios realizados en países más fríos predicen una disminución significativa en el consumo de calefacción a medida que disminuyen la frecuencia y la intensidad de los días fríos. En algunos casos, la demanda de electricidad puede caer hasta un 14% para mediados de siglo [23].

El objetivo de este artículo es analizar en qué medida la demanda eléctrica del sector residencial en el País Vasco es sensible a variaciones de temperatura y, a partir de esta relación, proyectar cómo puede evolucionar bajo escenarios de cambio climático. La metodología se basa en el cálculo de las diferencias térmicas entre la temperatura promedio diaria y ciertos umbrales de confort.

Para ello, se estructura de la siguiente manera: la sección dos da un resumen de la metodología utilizada y del alcance del estudio. La sección tres, por su parte, analiza la composición y evolución de la demanda en el País Vasco. La sección cuatro analiza la evolución de la temperatura en relación con la metodología utilizada en este trabajo. La sección cinco se centra en explorar la correlación entre el consumo de electricidad y la evolución del clima. A partir de ello, la sección sexta proyecta cómo el cambio de temperatura puede afectar a la demanda en el sector residencial en el futuro. El artículo se cierra con una discusión de los resultados en el marco de la política energética del País Vasco y su correlato europeo.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este documento se resume en cinco pasos:

1. Recopilación de datos sobre la demanda eléctrica.

El uso de datos con alta resolución estacional (y sectorial) es necesario para poder rastrear la influencia del clima. Los datos se agregan para corresponderse con la información climática.

2. Recopilación de información climática y cálculo de *Heating Degree Days* y *Cooling Degree Days*.

Muchas fuentes en la literatura analizan la relación entre las variables climáticas y la demanda de energía en función del cálculo de las desviaciones de temperatura con respecto a umbrales de confort. En España, esta metodología se ha utilizado para analizar la sensibilidad de la demanda residencial [19,20,24]. Esto proporciona mejores resultados que usar temperaturas medias, debido a la relación no lineal entre los cambios de temperatura y la demanda [19].

Así, se definen los *Cooling Degree Days* (CDD) y *Heating Degree Days* (HDD) como la suma de las diferenciales térmicas en los días en que la temperatura promedio se desvía de ciertos umbrales de frío o calor, dentro de un período determinado. Se calculan utilizando la siguiente metodología [17,20,25,26]:

$$HDD_{year} = \sum_{days} \max(0, (Ct - At))$$

$$CDD_{year} = \sum_{days} \max(0, (At - Ct))$$

Donde:

HDD = *Heating Degree Days*.

CDD = *Cooling Degree Days*.

Ct = temperatura de confort expresada en °C. Este artículo utiliza 18° y 26°C, ya que estos son los umbrales empleados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para sus

proyecciones, pero a continuación se realizará un análisis de sensibilidad con distintos valores.

At = temperatura promedio diaria, expresada en °C.

Para calcular los HDD y CDD, se utilizaron datos meteorológicos de AEMET para las tres capitales de provincia, ya que contienen las mayores concentraciones de población y actividad económica.

3. Análisis de correlación y dependencia de la información climática y energética.

Este artículo desarrolla un análisis de correlación entre estos datos y el consumo de electricidad sectorial de 2012 a 2017 (datos mensuales). Para utilizar las mismas clasificaciones sectoriales y contrastar los datos con otras variables, el consumo se agrupará en 16 sectores.

Se ha realizado también una prueba de significatividad bilateral.

4. Proyección de HDD y CDD y demanda energética.

La evolución de HDD y CDD se puede proyectar utilizando modelos climáticos con una suficiente desagregación geográfica. En este trabajo, se han utilizado las proyecciones regionales de AEMET/Euro-CORDEX a través de la plataforma Adaptecca en cada provincia para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 del 5AR del IPCC [27]. Estos escenarios consolidan hipótesis sobre las principales variables que afectan el clima. El RCP 4.5 proyecta un aumento moderado en la temperatura del aire en superficie (entre 1.1° y 2.6°C), que puede ser consistente con los escenarios de política internacional de cambio climático. El RCP 8.5, por su parte, sugiere mayores aumentos de temperatura a futuro (entre 2.6° y 4.8°C).

Dado que el sector residencial muestra la correlación más alta, como se mostrará a continuación, la demanda de este sector se proyectará en función de la evolución esperada de los HDD y CDD.

5. Cálculo de costos o beneficios y emisiones.

Dependiendo de los resultados, puede haber costes (cuando la demanda aumenta) o beneficios (cuando la demanda disminuye). En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que los precios de la electricidad difieren entre los sectores económicos.

Con respecto a las emisiones, las estimamos considerando el aumento o disminución de la demanda y la intensidad media de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la generación de electricidad. Como este documento se centra en resaltar el impacto específico del cambio climático en el sistema existente, utilizaremos la intensidad de carbono actual, de acuerdo con los últimos datos publicados del sistema eléctrico español (de 2017 [28]). Las emisiones futuras proyectadas también podrían basarse en estrategias energéticas u objetivos climáticos.

3. LA DEMANDA ELÉCTRICA EN EL PAÍS VASCO

Este artículo basa su análisis en los datos del Ente Vasco de Energía (EVE, Gobierno Vasco). Estos datos proporcionan un marco de tiempo corto (2012-2017) pero con resolución mensual. Estos datos son consistentes con los del Ministerio español para la Transición Ecológica. Este ofrece un alcance temporal más amplio, pero solo resolución anual, por lo que no es tan útil para los propósitos de este estudio. Si bien existen pequeñas diferencias, los resultados globales son generalmente consistentes (Figura 1).

En las tres provincias, se detecta un cambio de tendencia coincidente con la crisis económica de 2008. Álava y Vizcaya tienen su máximo consumo en 2008, mientras que Guipúzcoa lo tiene en 2007. Después, los consumos continúan una línea descendente en Vizcaya y Guipúzcoa y solo Álava muestra consumos más altos en 2017 que en 2000.

SECTOR	Consumo (GWh)				Distribución %			
	ÁLAVA	VIZCAYA	GUIPÚZCOA	TOTAL	ÁLAVA	VIZCAYA	GUIPÚZCOA	TOTAL
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	63	88	134	285	0.4%	0.2%	0.4%	0.3%
Industrias extractivas	788	868	658	2,314	5.3%	2.0%	2.0%	2.5%
Energía eléctrica, gas y vapor	1,418	385	165	1,968	9.6%	0.9%	0.5%	2.2%
Industrias alimentarias, bebidas, tabaco	454	561	691	1,705	3.1%	1.3%	2.1%	1.9%
Textil, confección, cuero y calzado	11	46	124	181	0.1%	0.1%	0.4%	0.2%
Madera, papel, artes gráficas	230	1,750	4,450	6,430	1.6%	4.0%	13.4%	7.0%
Caucho, plásticos y otros	405	963	859	2,227	2.7%	2.2%	2.6%	2.4%
Industria química, petroquímica y productos farmacéuticos	381	3,710	1,225	5,317	2.6%	8.5%	3.7%	5.8%
Metalurgia y productos metálicos	3,369	11,788	8,199	23,356	22.7%	27.1%	24.7%	25.6%
Material eléctrico, maquinaria, vehículos, material de transporte	1,981	3,232	4,405	9,618	13.4%	7.4%	13.3%	10.5%
Construcción y obras públicas	94	345	233	673	0.6%	0.8%	0.7%	0.7%
Transporte y almacenamiento	541	1,946	1,017	3,504	3.6%	4.5%	3.1%	3.8%
Hostelería	381	1,372	931	2,684	2.6%	3.2%	2.8%	2.9%
Comercio y servicios	1,347	4,220	2,792	8,360	9.1%	9.7%	8.4%	9.1%
Hogares	2,197	8,600	5,239	16,036	14.8%	19.8%	15.8%	17.5%
Administración y servicios públicos	1,167	3,560	2,007	6,734	7.9%	8.2%	6.1%	7.4%
Total	14,829	43,437	33,128	91,393	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabla 1: Distribución sectorial de la demanda eléctrica 2012-2017. Fuente: EVE

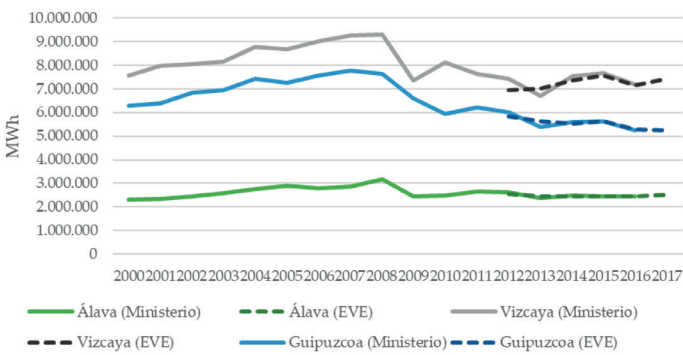


Figura 1: Demanda de electricidad de 2000 a 2017 con datos de EVE y el Ministerio para la Transición Ecológica

La estructura sectorial no varía significativamente entre provincias (Tabla 1). La metalurgia se destaca como el mayor consumidor de electricidad en todas entre 2012 y 2017, representando casi el 25%, seguido por los hogares. En términos absolutos, Vizcaya es la provincia con mayor consumo, seguida de Guipúzcoa y Álava. Estacionalmente, no hay grandes diferencias entre provincias a lo largo del año, aunque la primavera es, ligeramente, la estación con mayores consumos eléctricos en todas.

Respecto al sector residencial, el consumo por habitante durante este período es muy similar en las provincias, con un mayor consumo en Vizcaya (1,24 kWh), seguido de Guipúzcoa (1,22) y, por último, Álava (1,13)². Sin embargo, estas diferencias no superan el 10% y permanecen estables, en términos relativos, con el tiempo.

La vivienda vasca se caracteriza por una elevada presencia de gas natural para calefacción. El 59 % de las viviendas usan distintas formas de calefacción con gas natural, un 22% usa electricidad, 14% gasóleo, 7% otros y el 9% no dispone de ningún sistema de calefacción [29]. Varias viviendas usan una combina-

ción de estos sistemas. En comparación con el promedio español, el porcentaje de viviendas que usa electricidad para calefacción es similar y es superior la penetración de gas natural [30].

La calefacción representa el 30% del consumo de electricidad en los hogares vascos [29]. La vivienda es mayoritariamente en bloque (74%) con menor presencia de viviendas unifamiliares (26%) que en el promedio español [31]. Únicamente un 1,7% de las viviendas dispone de aire acondicionado, siendo su presencia más elevada en Guipúzcoa (3.5%, [29]).

4. EVOLUCIÓN DEL CLIMA

En los estudios de zonas climáticas según la clasificación de Köppen-Geiger, el País Vasco suele estar encuadrado dentro de la zona Cfb (clima templado sin estación seca y con verano templado) [32,33]. Si se mira con mayor resolución, sin embargo, buena parte del territorio de Álava se encuentra dentro de la zona Csb (clima templado, con verano seco y templado) [34]. Vizcaya y Guipúzcoa se encuentran bajo la influencia del Atlántico Norte, mientras que Álava tiene un clima más continental [24,31,35]. Esto se traduce en precipitaciones más frecuentes y temperaturas más suaves en los primeros.

Siguiendo la metodología descrita, los HDD y CDD se han calculado para cada capital. Vitoria es la ciudad con mayor cantidad de HDD, seguida de San Sebastián y Bilbao. Respecto a los CDD, la relación es la inversa, y Bilbao es el más destacado, seguido por San Sebastián y Vitoria.

Los datos de AEMET (con períodos de inicio distintos según disponibilidad) muestran una tendencia al alza en los CDD y a la baja en los HDD en las tres ciudades (Figura 2). La tendencia se muestra debido a la variabilidad climática anual y se ha calculado utilizando el método de mínimos cuadrados. Esta tendencia es consistente con el contexto de aumento de las temperaturas promedio a lo largo del tiempo. Hay una diferencia notable entre la cantidad absoluta de CDD y HDD registrados, como se ve en las diferentes escalas utilizadas para los ejes izquierdo (HDD) y derecho (CDD), respectivamente.

² Según los datos energéticos del EVE y el dato oficial de población del INE.

5. CORRELACIÓN ENTRE TEMPERATURA Y CONSUMO DE ENERGÍA

Los HDD y CDD se han agregado y se ha analizado su correlación con la demanda. Las correlaciones tienden a ser modestas (Tabla 2), pero el sector residencial muestra la más clara, seguido por Administración y servicios públicos, y comercio y servicios.

Este último puede verse influenciado por una disminución de la demanda de servicios durante el invierno, coincidiendo con la mayor concentración de HDD. En muchos sectores, especialmente en los industriales, la incidencia de clima no parece tan relevante en el consumo, tal y como podía esperarse, debido que su demanda puede estar más condicionada por necesidades de producción. Se proporciona más información sobre el análisis de correlación y significación estadística en los materiales complementarios.

En este análisis, se han utilizado como umbrales 18° y 26°C, tal y como se ha explicado. Para el sector residencial, se ha desarrollado un análisis de sensibilidad modificando los umbrales establecidos de HDD y CDD, de acuerdo con los valores más relevantes en la literatura [26] (Tabla 3). Las diferencias, aunque no muy significativas, indican correlaciones promedio más altas usando 18°C como umbral para los HDD, incluso si los valores en Álava son ligeramente más bajos.

Es probable que la expansión del gas natural haya contribuido a una menor sensibilidad, aunque la red no ha cambiado significativamente en los últimos

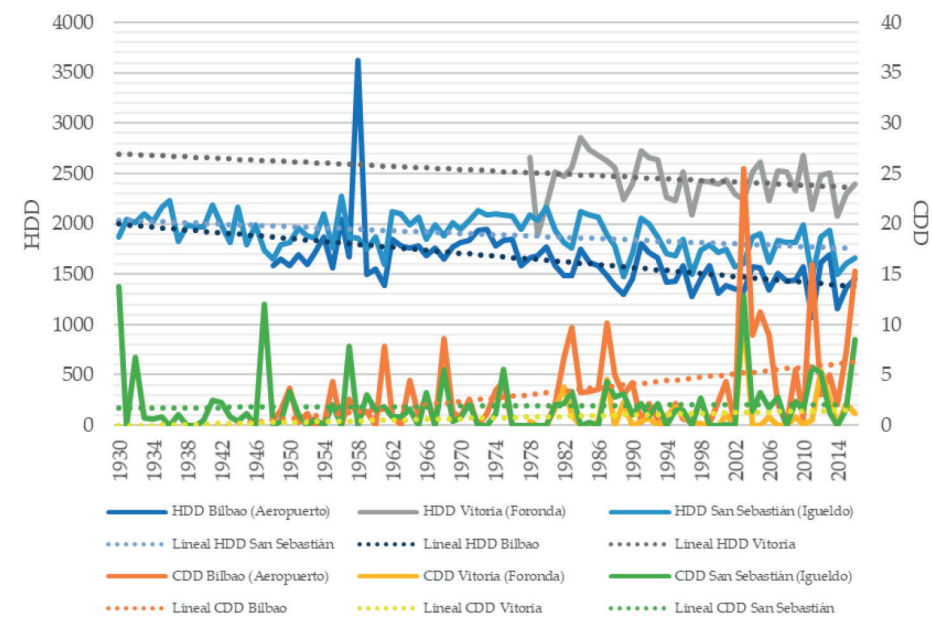


Figura 2: Evolución de los HDD y CDD. Fuente: Elaboración propia en base a datos de AEMET

SECTOR	Álava	Vizcaya	Guipúzcoa	Promedio
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	-70%	-14%	-10%	-31%
Industrias extractivas	-8%	-42%	-12%	-21%
Energía eléctrica, gas y vapor	5%	11%	-7%	3%
Industrias alimentarias, bebidas, tabaco	-47%	-28%	-58%	-45%
Textil, confección, cuero y calzado	22%	-12%	8%	6%
Madera, papel, artes gráficas	1%	-19%	-6%	-8%
Caucho, plásticos y otros	10%	8%	-11%	2%
Industria química, petroquímica y productos farmacéuticos	4%	-22%	-12%	-10%
Metalurgia y productos metálicos	20%	2%	23%	15%
Material eléctrico, maquinaria, vehículos, material de transporte	21%	20%	22%	21%
Construcción y obras públicas	41%	27%	33%	34%
Transporte y almacenamiento	62%	16%	37%	38%
Hostelería	-33%	-40%	-68%	-47%
Comercio y servicios	53%	19%	44%	39%
Hogares	50%	68%	69%	63%
Administración y servicios públicos	64%	46%	59%	56%
Total demanda	36%	28%	48%	37%

Tabla 2: Correlación entre demanda y HDD + CDD por provincia y sector. Se han resaltado correlaciones superiores al 50%. Fuente: elaboración propia

	HDD 13				HDD 15				HDD 18			
	ÁLAVA	VIZCAYA	GUIPÚZCOA	PROMEDIO	ÁLAVA	VIZCAYA	GUIPÚZCOA	PROMEDIO	ÁLAVA	VIZCAYA	GUIPÚZCOA	PROMEDIO
CDD 22	52%	60%	70%	61%	51%	66%	70%	62%	50%	68%	69%	63%
CDD 24	53%	63%	70%	62%	51%	67%	70%	63%	50%	68%	69%	63%
CDD 26	53%	64%	70%	62%	51%	67%	70%	63%	50%	68%	69%	63%

Tabla 3: Análisis de la sensibilidad de las correlaciones en el sector residencial a los umbrales. Fuente: elaboración propia

Álava											
2021-2045 vs. 2012-2017				2046-2070 vs. 2012-2017				2071-2095 vs. 2012-2017			
Escenario	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)	Reducción CO2 (t)	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)	Reducción CO2 (t)	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)
RCP 4.5	3,663	1%	686,095	1,023	6,065	2%	1,135,905	1,694	8,003	2%	1,498,956
RCP 8.5	2,987	1%	559,498	834	8,375	2%	1,568,581	2,339	13,801	4%	2,584,985
Vizcaya											
2021-2045 vs. 2012-2017				2046-2070 vs. 2012-2017				2071-2095 vs. 2012-2017			
Escenario	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)	Reducción CO2 (t)	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)	Reducción CO2 (t)	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)
RCP 4.5	13,258	1%	2,483,217	3,703	23,126	2%	4,331,484	6,460	32,268	2%	6,043,750
RCP 8.5	9,881	1%	1,850,690	2,760	33,189	2%	6,216,365	9,271	59,405	4%	11,126,557
Guipúzcoa											
2021-2045 vs. 2012-2017				2046-2070 vs. 2012-2017				2071-2095 vs. 2012-2017			
Escenario	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)	Reducción CO2 (t)	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)	Reducción CO2 (t)	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)
RCP 4.5	13,503	2%	2,529,142	3,772	21,597	2%	4,045,074	6,033	28,495	3%	5,337,103
RCP 8.5	12,813	1%	2,399,897	3,579	23,947	3%	4,485,245	6,689	34,860	4%	6,529,202
País Vasco (todas las provincias)											
2021-2045 vs. 2012-2017				2046-2070 vs. 2012-2017				2071-2095 vs. 2012-2017			
Escenario	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)	Reducción CO2 (t)	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)	Reducción CO2 (t)	Ahorro anual (MWh)	Reducción (%)	Ahorros anuales (€ 2018)
RCP 4.5	30,424	1%	5,698,454	8,498	50,787	2%	9,512,463	14,187	68,766	3%	12,879,809
RCP 8.5	25,681	1%	4,810,085	7,174	65,511	2%	12,270,191	18,299	108,066	4%	20,240,744

Tabla 4: Disminución proyectada en el consumo, ahorro económico y reducción de emisiones en el sector residencial 2012-2017. Fuente: elaboración propia

años³. Políticas recientes apuntan a la futura electrificación del calor como una forma de reducir las emisiones, lo que podría contribuir a invertir esta tendencia [36,37].

6. PROYECCIÓN DE CLIMA FUTURO

Las proyecciones climáticas para el País Vasco predicen un aumento de las temperaturas medias de 1° a 5°C para finales de siglo, según escenario [22]. Este aumento sería homogéneo, aunque levemente menor en la costa que en el interior. Los índices relacionados con días de temperaturas bajas tenderían a disminuir, mientras que los asociados con días de temperaturas altas aumentarían.

En términos de las zonas climáticas de Köppen-Geiger, no se espera un cambio notable, aunque para finales de siglo parte del sur del País Vasco podría situarse dentro de la zona Cwb (clima seco y veranos cálidos) [38].

El cambio en los HDD y CDD proyectados por AEMET en comparación con el período de referencia de 2012-2017 se ha calculado (Figura 3). El RCP 4.5 muestra una disminución gradual en HDD, mientras que el 8.5 es menos lineal pero más pronunciado a finales de siglo. Las diferencias entre provincias son escasas, aunque Vizcaya tiende a ser la provincia con mayor disminución.

El aumento proyectado en los CDD es más notable. Nuevamente, el RCP 8.5 revela una evolución menos lineal, pero más pronunciada entre 2046 y 2070. Álava experimenta el mayor aumento, con mayores diferencias entre provincias que en los HDD.

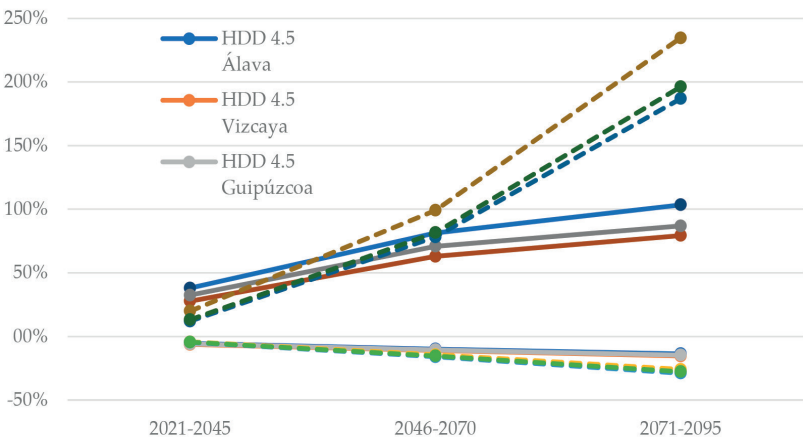


Figura 3: Evolución promedio proyectada de HDD y CDD en comparación con 2012-2017. Fuente: elaboración propia basada en datos de AEMET

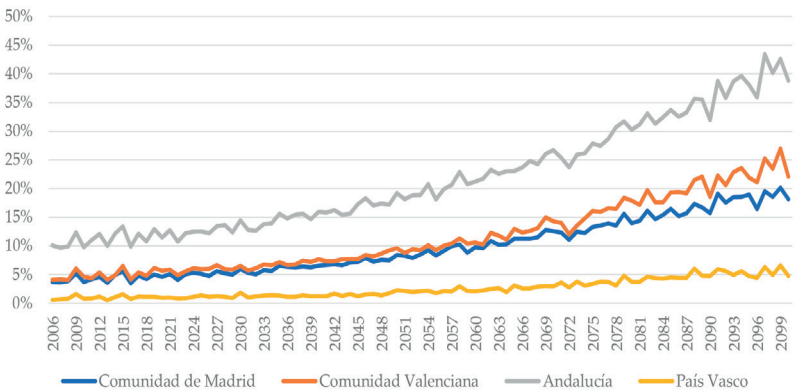


Figura 4: Relación histórica y proyectada (RCP 8.5) de CDD / HDD en cuatro Comunidades Autónomas. Fuente: elaboración propia basada en datos de AEMET / Euro-CORDEX

³ Los Informes Anuales sobre el mercado minorista de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia señalan una pequeña disminución en el consumo residencial de gas natural entre 2010 y 2016: <https://www.cnmc.es/ambitos-de-actuacion/energia/mercado-gas>

En cualquier caso, como se explicará más adelante, la proporción de CDD sobre HDD apenas llega al 1% en el periodo histórico y, pese a su aumento esperado, apenas superará ligeramente el 5% en 2100 en los escenarios más extremos.

Se ha cuantificado la disminución futura del consumo en el sector residencial como consecuencia de estos cambios (Tabla 4). Las reducciones anuales comienzan en 1% en todas las provincias y escenarios y, para finales de siglo, oscilan entre el 2% al 4%. Las reducciones, como se esperaba, son mayores en un escenario climático más intenso (RCP 8.5) y a largo plazo. Las variaciones son ligeramente más altas en Guipúzcoa. En términos económicos, bajo el RCP 8.5 y a los precios actuales de la electricidad⁴, esto podría significar un ahorro anual de casi 20 millones de euros entre las tres provincias para finales de siglo.

Con respecto a las emisiones de CO₂, las reducciones totales podrían alcanzar las 30,000 toneladas anuales bajo el RCP 8.5⁵.

Los resultados muestran que las reducciones en los HDD tendrán un mayor impacto que los aumentos en CDD, lo que es consistente con la literatura existente, como se discutirá más adelante. No se espera que el aumento de los días cálidos tenga un impacto notable en el consumo del sector durante los próximos 50 años. Las relaciones históricas y proyectadas de diferenciales térmicos en días cálidos a días fríos son pequeñas en comparación con otras Comunidades Autónomas (Figura 4).

7. DISCUSIÓN

Este artículo ha analizado la sensibilidad de la demanda de electricidad en el País Vasco a la temperatura para proyectar cómo el cambio climático puede influir en ella. Los resultados muestran que el sector residencial es el más sensible a los cambios de temperatura, particularmente en los días fríos.

Se ha utilizado una metodología basada en HDD y CDD. En la serie histórica de datos climáticos, se observa una reducción en la cantidad de HDD y un aumento en la cantidad de CDD en las tres capitales de provincia. Esta es también la tendencia a la que apuntan las proyecciones futuras.

El impacto de los cambios de temperatura podría ser importante y positivo para el sector residencial. Los escenarios bajo un cambio climático más significativo (RCP 8.5) predicen una caída del consumo de hasta un 4% para finales de siglo, lo que podría traducirse en un ahorro anual de casi 20 millones de euros.

Desde el punto de vista del desarrollo de políticas, este artículo destaca la importancia de tener en cuenta las variaciones climáticas durante la planificación y el diseño de la infraestructura energética. Esta cuestión se vuelve muy relevante debido a los objetivos europeos, españoles y vascos sobre emisiones y consumo. Con el estado actual de las tecnologías, el cumplimiento de los objetivos más ambiciosos solo se puede lograr mediante la expansión de la generación de electricidad renovable y mediante la sustitución de otras fuentes de energía térmica (particularmente gas natural y combustibles fósiles tradicionales) con electricidad.

La electrificación de los usos térmicos de la energía daría a los resultados de este estudio, y a la elasticidad del consumo de electricidad al clima, una mayor relevancia cuantitativa. Esta transformación ya está prevista en el Plan de Energía de la Comunidad Autónoma, con énfasis en el sector del transporte [36]. A nivel europeo, la contribución de la electricidad a la demanda total de

energía prácticamente se duplicaría para 2050, según la Hoja de Ruta de Energía [37].

La eficiencia energética puede también desempeñar un papel relevante en este contexto. A medida que los dispositivos de calefacción y refrigeración se vuelven más eficientes, las necesidades de energía adicionales requerirían un menor consumo marginal. La reducción de la intensidad energética es un objetivo relevante en la planificación energética y climática a nivel europeo, español y vasco, y las medidas para fomentarla en el sector residencial son parte integral de ella.

En la misma línea, a medida que aumenta la temperatura, se espera una mayor prevalencia de los sistemas de aire acondicionado, lo que haría que la demanda fuera más sensible a los cambios en el verano. Aun así, algunos estudios predicen una disminución neta del consumo, incluso en los países del sur de Europa, debido a la importancia relativa de las diferencias de temperatura en los días fríos [17,18].

Sin embargo, otro documento que analiza todos los sectores sugiere un aumento en el consumo diario promedio de electricidad en España de entre 0.2% y 5.6% (RCP 4.5 y 8.5 [12]). No obstante, las tendencias de este estudio no son homogéneas para los países ubicados en la misma zona climática que el País Vasco [33] (a pesar de tener temperaturas medias más bajas⁶), como Francia o Croacia. En países europeos más fríos, el aumento de las temperaturas promedio conduce a un consumo general más bajo, ya que las temperaturas ligeramente más altas no implican el uso de aire acondicionado.

En otros lugares, como Estados Unidos, se prevé que el consumo aumente, dado que la creciente necesidad de refrigeración es mayor a la decreciente necesidad de calefacción [39]. La extensión de los dispositivos de aire acondicionado en el sector residencial es mucho mayor en este país (65%) que en la Unión Europea (5%) [16].

Otra observación relevante, desde una perspectiva política, es la necesidad de alinear las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático [40]. A medida que se disponga de más información sobre los impactos del cambio climático, las políticas de reducción de emisiones a largo plazo deberían evaluar si las medidas propuestas son resilientes y si su desarrollo pudiera verse comprometido por el cambio climático.

Se deben tener en cuenta varias limitaciones en los datos disponibles sobre el consumo de electricidad. Estos tienen un alcance limitado en comparación con los datos climáticos. Los datos mensuales se limitan al período de 2012-2017 (seis años) y, a medida que exista más información, esta podrá ser comparada con las proyecciones establecidas en este documento. Del mismo modo, el uso de datos con una resolución temporal más alta podría proporcionar más precisión.

Los resultados se beneficiarán de mayor investigación en el campo y, en particular, será importante conocer en qué medida la electrificación de usos térmicos puede conducir a una mayor sensibilidad. En cualquier caso, la proporción actual y esperada del diferencial térmico en los días fríos parece que seguirá siendo sustancialmente más relevante que la de los días cálidos, de acuerdo con la metodología empleada en la literatura.

⁴ Precios suministrados por Eurostat durante el primer semestre de 2018: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>

⁵ Una reducción en el mix de emisiones es esperable en el futuro, de acuerdo con el borrador de Plan Nacional de Energía y Clima (2019), así como con los objetivos europeos. Si estos objetivos fueran cumplidos, las reducciones serían menores.

⁶ De acuerdo a los datos del Climate Change Knowledge Portal (provenientes de la Climatic Research Unit de la Universidad de East Anglia) los promedios entre 1961-1990 serían de 10,6°C en Francia o 10,4°C en Croacia. Lejos de los 14,1 de Bilbao, 11,4 de Vitoria o 13,0 de San Sebastián que ofrece la serie de AEMET para esos mismos años.

REFERENCIAS

- [1] Arent, D.J., Tol, R.S.J., Faust, E., Hella, J.P., Kumar, S., Strzepek, K.M., Tóth, F.L. and Yan D. Key economics sectors and services. *Clim. Chang.* 2014 Impacts, Adapt. Vulnerability. Part A Glob. Sect. Asp. Contrib. Work. Gr. II to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang. Chang., Cambridge, NY: Cambridge University Press; 2014.
- [2] Solaun K, Cerdá E. The impact of climate change on the generation of hydroelectric power—a case study in southern Spain. *Energies* 2017;10. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en10091343>.
- [3] Ebinger J, Vergara W. *Climate Impacts on Energy Systems: key issues for energy sector adaptation*. Washington, DC, USA: The World Bank; 2011.
- [4] Johnston PC. *Climate Risk and Adaptation in the Electric Power Sector*. Manila, Philippines: Asian Development Bank - Publications; 2012.
- [5] Ahenkorah, Alfred; Caceres-Rodriguez Rodolfo; Devernay, Jean-Michel; Freitas Marcos; Hal, Douglas; Killingtveit Ånund; Zhiyu L. Hydropower. In *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge, NY: Cambridge University Press; 2011.
- [6] Howden, S.M. and Crimp S. Effect of Climate and Climate Change on Electricity Demand in Australia. *CSIRO Sustain Ecosyst* 2001.
- [7] Sailor DJ. Relating residential and commercial sector electricity loads to climate - Evaluating state level sensitivities and vulnerabilities. *Energy* 2001;26:645–57. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442\(01\)00023-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00023-8).
- [8] Trotter IM, Bolkesjo TF, Féres JG, Hollanda L. Climate change and electricity demand in Brazil : A stochastic approach. *Energy* 2016;102:596–604. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.120>.
- [9] Ahmed T, Muttaqi KM, Agalgaonkar AP. Climate change impacts on electricity demand in the State of New South Wales, Australia. *Appl Energy* 2012;98:376–83. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.059>.
- [10] Mirasgedis S, Sarafidis Y, Georgopoulou E, Kotroni V, Lagouvardos K, Lalas DP. Modeling framework for estimating impacts of climate change on electricity demand at regional level: Case of Greece. *Energy Convers Manag* 2007;48:1737–50. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2006.10.022>.
- [11] Valor, E., Meneu, V., Caselles V. Daily Air Temperatura and Electricity Load in Spain. *J Appl Meteorol* 2001;40:1413–21.
- [12] Wenz L, Levermann A, Auffhammer M. North – south polarization of European electricity consumption under future warming 2017:1–9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1704339114>.
- [13] Dowling P. The impact of climate change on the European energy system. *Energy Policy* 2013;60:406–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.093>.
- [14] Felice M De, Alessandri A, Catalano F. Seasonal climate forecasts for medium-term electricity demand forecasting. *Appl Energy* 2015;137:435–44. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.030>.
- [15] Apadula F, Bassini A, Elli A, Scapin S. Relationships between meteorological variables and monthly electricity demand. *Appl Energy* 2012;98:346–56. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.053>.
- [16] Mima S, Criqui P. The Costs of Climate Change for the European Energy System, an Assessment with the POLES Model. *Environ Model Assess* 2015;20:303–19. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10666-015-9449-3>.
- [17] Kitous A, Després J. Assessment of the impact of climate change on residential energy demand for heating and cooling. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.2760/96778>.
- [18] Damm A, Köberl J, Prettenhaler F, Rogler N, Töglhofer C. Impacts of + 2 ° C global warming on electricity demand in Europe. *Clim Serv* 2017;7:12–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2016.07.001>.
- [19] Blázquez L, Boogen N, Filippini M. Residential electricity demand in Spain: New empirical evidence using aggregate data. *Energy Econ* 2013;36:648–57. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2012.11.010>.
- [20] Romero-Jordán D, Del Río P, Peñasco C. Household electricity demand in Spanish Regions. Public policy implications. *Doc Treb IIEB* 2014.
- [21] Energía EV de la. Euskadi energía 2016. Ente Vasco de la Energía (EVE); 2017.
- [22] IHOBE. Elaboración de escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco. Bilbao: 2017.
- [23] Venäläinen A, Tammelin B, Tuomenvirta H, Jylhä K, Koskela J, Turunen MA, et al. The influence of climate change on energy production & heating energy demand in Finland. *Energy Environ* 2004;15:93–109.
- [24] Red Eléctrica de España. Atlas de la Demanda Eléctrica Española. Madrid, Spain: Red Eléctrica de España; 1998.
- [25] Moral-Carcedo J, Vicéns-Otero J. Modelling the non-linear response of Spanish electricity demand to temperature variations. *Energy Econ* 2005;27:477–94. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2005.01.003>.
- [26] Blázquez L, Boogen N, Filippini M. Residential electricity demand for Spain : new empirical evidence using aggregated data. *CEPE Work Pap* 2012.
- [27] Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor MMB, Allen SK, Boschung J, et al. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/446727a>.
- [28] Red Eléctrica de España. The Spanish Electricity System 2017. Madrid, Spain: Red Eléctrica de España; 2018.
- [29] Ente Vasco de la Energía E. Claves energéticas del sector doméstico en Euskadi. Bilbao: Ente Vasco de la Energía (EVE); 2013.
- [30] Labandeira X, Labeaga JM, López-Otero X. Energy Demand for Heating in Spain : An Empirical Analysis wiith Policy Purposes Energy Demand for Heating in Spain : An Empirical Analysis with Policy Purposes. *Econ Energy* 2011;6.
- [31] IDAE. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Madrid, Spain: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE); 2011.
- [32] Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss Eur Geosci Union* 2007;11 (5):1633–44.
- [33] Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Zeitschrift* 2006;15:259–63. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- [34] AEMET/IMP. Atlas climático Ibérico - Iberian climate Atlas. 2011th ed. Madrid, Spain: Agencia Estatal de Meteorología; n.d.
- [35] Sánchez Durán R (coord). *Energía y Ciudades*, Madrid, Spain: Club Español de la Energía; 2017.
- [36] Vasco G, Energía EV de la. Estrategia Energética de Euskadi 2030. Vitoria-Gasteiz: EVE; 2017.
- [37] European Commission. Energy Roadmap 2050. COM(2011), Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2012, p. 1–24. DOI: <http://dx.doi.org/10.2833/10759>.
- [38] Rubel F, Kottek M. Observed and projected climate shifts 1901 – 2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol Zeitschrift* 2010;19:135–41. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0430>.
- [39] Jaglom WS, McFarland JR, Colley MF, Mack CB, Venkatesh B, Miller RL, et al. Assessment of projected temperature impacts from climate change on the U.S. electric power sector using the Integrated Planning Model®. *Energy Policy* 2014;73:524–39. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.032>.
- [40] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers. IPCC, 2014 *Clim Chang 2014 Synth Report Contrib Work Groups I, II III to Fifth Assess Rep Intergov Panel Clim Chang [Core Writ Team, RK Pachauri LA Meyer (Eds)]* IPCC, Geneva, Switzer 2014:31. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324>.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Agencia Vasca de Energía por proporcionar datos sobre el consumo de electricidad en el País Vasco y a Cristina Rivero (CEOE) y Rafael Sánchez Durán (ENDESA) por sus ideas y sugerencias. Mario Soliño, Sonia Quiroga, Itxaso Gómez e Iker Larrea contribuyeron a la redacción de este documento. Eider de Miguel, Elene Olamika y Sofía Ordozgoiti ayudaron en el procesamiento de datos climáticos y económicos. Los autores siguen siendo los únicos responsables de cualquier error u omisión. Helen Poliquin ayudó a preparar la versión en inglés del manuscrito y José Manuel Correa la traducción española.

MATERIAL SUPLEMENTARIO.

https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/9344-1.pdf

