

Estudio del gasto térmico teórico en refrigeración para hogares españoles

Materia 4. Prevención de la
contaminación

NOVIEMBRE, 2022

Autores



Roberto Barrella - Cátedra de Energía y Pobreza - Universidad Pontificia Comillas

José Ignacio Linares Hurtado- Cátedra de Energía y Pobreza – Universidad Pontificia Comillas.

Eva Arenas Pinilla - Cátedra de Energía y Pobreza - Universidad Pontificia Comillas

José Carlos Romero Mora de la Cátedra de Energía y Pobreza - Universidad Pontificia Comillas

El derecho de autor corresponde a los miembros del equipo investigador y redactor, los cuales deberán ser citados en cualquier uso que se haga del resultado de su trabajo. Conforme a los usos de la comunidad científica, las conclusiones y puntos de vista reflejados en los informes y resultados son los de sus autores y no comprometen ni obligan en modo alguno a ECODES - Fundación Ecología y Desarrollo y a la Universidad Pontificia Comillas. Por tanto, cualquier cita o referencia que se haga de este documento deberá siempre mencionar explícitamente el nombre de los autores, y en ningún caso mencionará exclusivamente a la fundación o la universidad

Coordinación



Leire Díez Alzueta - ECODES

Cecilia Foronda Diez - ECODES

EDITA: ECODES

DISEÑO GRÁFICO: ECODES

FECHA: NOVIEMBRE 2022

Contenidos

1. Introducción.....	4
2. Metodología.....	6
2.1. Demanda de refrigeración.....	6
2.2. Determinación del consumo.....	10
2.3. Determinación del gasto.....	11
3. Resultados del modelo.....	12
3.1. Casos analizados.....	12
3.2. Resultados.....	14
3.3. Resultados completos.....	26
4. Conclusiones y limitaciones del modelo.....	35

1.Introducción

En los estudios “Caracterización del comportamiento energético en una muestra de hogares españoles”, “Desarrollo de un modelo de cálculo de gasto eléctrico teórico en los hogares españoles” e “Investigación aplicada para el desarrollo de una herramienta web de cálculo del gasto eléctrico teórico para hogares españoles” se planteaban las ecuaciones para estimar el gasto energético teórico de las viviendas españolas para cubrir las necesidades requeridas de iluminación y electrodomésticos, así como calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Las ecuaciones requeridas para determinar la demanda térmica (calefacción y ACS) se basaban en el procedimiento descrito en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Calificación de la Eficiencia Energética de los Edificios (CEEE). Dichas ecuaciones se integraron en la herramienta DIAGNÓSTICO, posteriormente migrado a la herramienta on-line ENERSOC de diagnóstico y asesoramiento energético. –Esta herramienta no incluye la demanda de refrigeración de las viviendas, pese a que los procedimientos para calcularla están también descritos en la regulación mencionada (CTE y CEEE). La razón para esta exclusión se fundamentaba en la propia tendencia de la Administración, que también excluye a la refrigeración del bono social térmico. De hecho, tradicionalmente la satisfacción de las necesidades de refrigeración se ha considerado un lujo o algo opcional en el sector residencial, como así lo evidencia la baja penetración de los sistemas de aire acondicionado en los hogares (según los últimos datos disponibles del INE, en 2008, sólo el 35,5% de los hogares poseían estos tipos de aparatos para la refrigeración). Sin embargo, esta tendencia está cambiando, principalmente por la creciente electrificación de la demanda que lleva aparejado el empleo de bombas de calor, que normalmente son reversibles. Además, varios estudios (p.e. (Castaño-Rosa et al., 2021)¹) estiman que el incremento de la temperatura y la mayor frecuencia de olas de calor causadas por el cambio climático (López-Bueno et al., 2020)² determinará un aumento significativo de la demanda requerida de refrigeración en España.

El objetivo del trabajo que se propone es implementar el cálculo del gasto térmico de refrigeración en la herramienta DIAGNÓSTICO, como un primer paso para su posterior migración a la herramienta on- line ENERSOC en entorno web, pudiendo así determinar todo el gasto energético en una vivienda. Como equipamiento para cubrir la demanda de refrigeración se van a emplear equipos individuales en configuración partida de tipo aerotérmico accionados por energía eléctrica por ser el sistema de climatización más común en el sector residencial español (según el IDAE, son el 92% de los sistemas de climatización instalados). Por tanto, el único vector energético empleado para satisfacer esta demanda es la electricidad, lo que requiere su integración en la herramienta existente para tener presente el resto de consumos eléctricos y cómo afectan a la potencia contratada. Así mismo, resulta interesante comparar los gastos en ausencia de la satisfacción de esta demanda con los que requiere la misma, con objeto de valorar su sobrecoste.

¹ R. Castaño-Rosa, R. Barrella, C. Sánchez-Guevara, R. Barbosa, I. Kyprianou, E. Paschalidou, N.S. Thomaidis, D. Dokupilova, J.P. Gouveia, J. Kádár, T.A. Hamed, P. Palma, Cooling Degree Models and Future Energy Demand in the Residential Sector. A Seven-Country Case Study, Sustainability. 13 (2021) 2987. <https://doi.org/10.3390/su13052987>

² López-Bueno, J.A., Díaz, J., Sánchez-Guevara, C., Sánchez-Martínez, G., Franco, M., Gullón, P., Núñez Peiró, M., Valero, I., Linares, C., 2020. The impact of heat waves on daily mortality in districts in Madrid: The effect of sociodemographic factors. Environ. Res. 190, 109993. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2020.109993>

En la Sección 2 se describe el procedimiento que se ha implementado para calcular el Gasto Térmico Teórico en Refrigeración y en la Sección 3 se dan los resultados del modelo en diversos escenarios, que permiten poner en contexto los resultados.

Varios estudios estiman que el incremento de la temperatura y la mayor frecuencia de olas de calor causadas por el cambio climático (determinará un aumento significativo de la demanda requerida de refrigeración en España).

2. Metodología

2.1. Demanda de refrigeración

La demanda térmica anual de refrigeración en España viene determinada a partir de dos documentos: el Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Calificación de la Eficiencia Energética de los Edificios (CEEE). La última versión del CTE es de 2019, mientras que de la CEEE es 2015.

El primer paso para determinar la demanda es hallar la zona climática de la localidad, lo que se realiza a partir de la capital de provincia y la altitud de la localidad, tal como recoge el Anexo B del Documento Básico HE del CTE y se muestra en la Tabla 1, adaptada del mismo. La zona climática consta de una letra (ZCI, zona climática de invierno), asociada con la severidad invernal³ y un número (ZCV, zona climática de verano), asociado con la severidad estival⁴. En la Península, Baleares, Ceuta y Melilla las posibles zonas son A3, A4, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3 y E1, mientras que para Canarias son sólo α3, A2, B2 y C2. En este documento sólo se contempla la severidad estival, determinando así la demanda de climatización en verano.

Una vez conocida la zona climática, el punto 2.4 de la CEEE describe cómo determinar la demanda anual de refrigeración de referencia para edificios de nueva construcción⁵ (Tablas III.1 y III.2). Por comodidad, se reproduce dicha información en las Tablas 2 y 3.

La demanda así determinada, denominada “de referencia” (DR), ha de ser multiplicada por el área climatizada de la vivienda (A) y corregida mediante el factor f_c , que depende de la dispersión de dicha demanda en el parque de edificios tomados como referencia (R para edificios de nueva construcción) y del índice de calificación energética del edificio (C_1), que depende básicamente del nivel de aislamiento del mismo. Debido a que la climatización en verano suele aplicarse habitualmente en estancias específicas (salón y algún dormitorio), se ha introducido en el modelo un factor f_s que representa el porcentaje de superficie climatizada. De este modo, la demanda final (D) viene dada según la ecuación 1.

$$D = DR \cdot f_s \cdot A \cdot f_c \quad (1)$$

$$f_c = \frac{1+(C_1-0.6) \cdot 2 \cdot (R-1)}{R} \quad (2)$$

³ Las letras varían de la A a la E, con severidad creciente (máxima en la zona E). En Canarias existe como letra especial α, que carece de demanda de calefacción.

⁴ Los números varían de 1 a 4, con la severidad creciente (4 se corresponde con la máxima). En las zonas con número 1 no existe demanda de refrigeración.

⁵ Aunque el edificio sea existente, la demanda se determina a partir de los de nueva construcción, corrigiendo posteriormente según el coeficiente C1 de la ecuación (2) y cuyos valores se muestran en la Tabla 5.

Los valores de R vienen dados en la Tabla 4. En cuanto a los valores del índice de calificación energética (C_1), vienen definidos en intervalos según la calificación energética, tal como se muestra en la Tabla 5, con ayuda de la Tabla 6. Con objeto de facilitar a los usuarios el uso de la herramienta, se han elaborado tres niveles de aislamiento “globales” basados en el cruce entre la información del Censo 2011 sobre la antigüedad de las viviendas y los [informes de estado de la certificación energética del IDAE](#) (utilizando la metodología de (Barrella et al, 2021)⁶):

- Anterior a 1981. Recoge viviendas construidas en ausencia de normativa relativa a eficiencia energética (corresponde a una calificación entre F y G).
- Entre 1981 y 2007. Recoge viviendas construidas según la Norma Básica de la Edificación y, por tanto, con unos ciertos niveles de aislamiento (corresponde a una calificación de E).
- Posteriores a 2007. Recoge las viviendas construidas bajo la normativa recogida en el Código Técnico de la Edificación (corresponde a una calificación entre C y D).

Los valores del índice de calificación energética (C_1) resultante de estas agrupaciones globales aparecen recogidos en la Tabla 7.

Tabla 1. Determinación de la zona climática de una localidad a partir de la capital de provincia y la altitud (metros) [Adaptado de DB-HE 20191220].

Capital	Provincia	Altitud capital	ZC Capital	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350						
Albacete	ALBACETE	681,00	D9	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9												
Alicante/Alacant	AUCANTE/ALACANT	5,00	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	
Almería	Almeria	16,00	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	
Ávila	Ávila	1131,00	E1	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	
Badajoz	Badajoz	182,00	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	
Barcelona	Barcelona	13,00	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	
Bilbao	Bizkaia	5,00	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	
Burgos	Burgos	899,00	E1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	
Cáceres	Cáceres	497,00	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	
Cádiz	Cádiz	13,00	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	
Castellón de la Plana/Castelló de la	Castellón/Castelló	27,00	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	
Ceuta	Ceuta	27,00	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	
Ciudad Real	Ciudad Real	625,00	D8	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	
Córdoba	Córdoba	106,00	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	
Coruña, A	Coruña, A	7,00	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	
Cuenca	Cuenca	997,00	D2	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8
Donostia/San Sebastián	Gipuzkoa	7,00	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
Girona	Girona	69,00	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
Granada	Granada	684,00	C3	A4	B4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4																		
Guadalajara	Guadalajara	685,00	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	D9	
Huelva	Huelva	24,00	A4	A4	B4	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3																		
Huesca	Huesca	483,00	D2	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2										
Jáen	Jáen	570,00	C4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4										
León	León	837,00	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	
Lleida	Lleida	157,00	D8	C3	C3	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8	D8																		
Logroño	Logroño, La	384,00	D2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2										
Lugo	Lugo	462,00	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	
Madrid	Madrid	657,00	D9	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	
Málaga	Málaga	8,00	A3	A3	A3	B3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3																	
Mejilla	Mejilla	30,00	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	
Murcia	Murcia	42,00	B3	B3	B3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3																		

⁶ R. Barrella, J.I. Linares, J.C. Romero, E.M. Arenas, E. Centeno. Does cash money solve energy poverty? Assessing the impact of household heating allowances in Spain. Energy Research & Social Science. Vol. 80, pp. 102216-1 - 102216-18, Octubre 2021

	2	1,5	1,6
	3	1,4	1,5
	4	1,4	1,5

Tabla 5. Índice de calificación energética [Adaptado de CEEE].

Calificación	Intervalo
A	$C_1 < 0,15$
B	$0,15 \leq C_1 < 0,50$
C	$0,50 \leq C_1 < 1,00$
D	$1,00 \leq C_1 < 1,75$
E	$1,75 \leq C_1 < C_{1E}$
F	$C_{1E} \leq C_1 < C_{1F}$
G	$C_{1F} \leq C_1$

Los coeficientes C_{1E} y C_{1F} dependen de la zona climática y su tipología (bloque o unifamiliar), tal como se definen en la Tabla 6.

Tabla 6. Coeficientes C_{1E} y C_{1F} [Elaboración propia]

Tipología	Zona climática	C_{1E}	C_{1F}
Bloque	1	-	-
	2	2,163	2,716
	3	2,252	2,864
	4	2,235	2,843
Unifamiliar	1	-	-
	2	2,170	2,763
	3	2,307	2,990
	4	2,292	2,970

Tabla 7. Índice de calificación energética (C_1) según antigüedad [Elaboración propia].

Zona climática de verano	Anterior a 1980		1981 a 2007		Posterior a 2007	
	Bloque	Unifam.	Bloque	Unifam.	Bloque	Unifam.
1	-	-	-	-	-	-
2	2,967	3,032	1,771	1,774	0,653	0,654
3	3,142	3,300	1,805	1,826	0,660	0,664
4	3,119	3,278	1,799	1,820	0,658	0,663

2.2. Determinación del consumo

El consumo (C) se determina a partir de la demanda térmica (D) y el rendimiento medio estacional ($SEER$) de la instalación, según se muestra en la ecuación 3. Como ya se ha mencionado, se ha supuesto una climatización por equipos en configuración partida (*splits*) aire/aire accionados eléctricamente.

$$C = \frac{D}{SEER} \quad (3)$$

La Tabla 8 muestra los rendimientos medios estacionales empleados en la determinación del consumo de refrigeración. Dichos rendimientos dependen de la zona climática al tratarse de equipos aerotérmicos.

Tabla 8. Rendimiento medio estacional para sistemas de refrigeración [Elaboración propia a partir de (Barrella et al., 2022)⁷].

Zona climática	Edificios existentes	Edificios nuevos
1 ⁸	-	-
2	3,69	4,14
3	3,49	3,92
4	3,39	3,81

⁷ R. Barrella, J.C. Romero, J.I. Linares, E. Arenas, M. Asín, E. Centeno, The dark side of energy poverty: Who is underconsuming in Spain and why?, Energy Res. Soc. Sci. 86 (2022) 102428. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2021.102428>

⁸ Dado que en la zona 1 no hay demanda de refrigeración no se considera rendimiento.

2.3. Determinación del gasto

La tarifa eléctrica que se ha considerado es la de mercado regulado (PVPC), para lo que se han asumido unos valores medios en cada tramo, dados en la Tabla 9. El término fijo se calcula a partir de dichos valores medios según la ecuación 4⁹. En cuanto al término variable, se aplica la ecuación 5 a través de unos “pesos de refrigeración” (Tabla 10) según la zona climática, que se aplican a los diferentes tramos.

Tabla 9. Tarifas eléctricas consideradas (datos promediados del 01/06/2021 al 31/10/2021¹⁰, antes de impuestos)¹¹

Tramo de consumo	Término fijo [€/kW-mes]	Término variable [€/kWh]
Punta	2,381316	0,270179
Llano		0,192500
Valle	0,107237	0,153229

Tabla 10. “Pesos de refrigeración” (según la zona climática) considerados en las tarifas eléctricas (ecuación 5) (Elaboración propia a partir de (Barrella et al., 2020)¹² y (Izaguirre de Benito et al., 2021)¹³)

Zona de verano	Peso _{punta}	Peso _{llano}	Peso _{valle}
1	-	-	-
2	0,37	0,33	0,30
3	0,35	0,33	0,32
4	0,33	0,31	0,36

$$tarifa_{fijo} = \frac{fijo_{punta} * Potencia_{punta} + fijo_{valle} * Potencia_{valle}}{Potencia_{punta}} \quad (4)$$

$$tarifa_{variable} = tarifa_{punta} * peso_{punta} + tarifa_{valle} * peso_{valle} + tarifa_{llano} * peso_{llano} \quad (5)$$

⁹ Cuando el código hace uso de la tarifa calculada por la ecuación 4, multiplica por la potencia contratada en el tramo punta.

¹⁰ Se ha escogido un periodo anterior a la actual crisis energética para separar el efecto de la subida de precios del análisis desarrollado en este informe.

¹¹ <https://comparador.cnmc.gob.es/facturaluz/inicio/>

¹² Barrella, R., Priego, I., Linares, J.I., Arenas, E., Romero, J.C., Centeno, E.. Feasibility study of a centralised electrically driven air source heat pump water heater to face energy poverty in block dwellings in Madrid (Spain). *Energies*, 13 (2020). <https://doi.org/10.3390/en13112723>

¹³ Á. Izaguirre De Benito, Análisis de viabilidad técnico-económica de la bomba de calor aerotérmica accionada mediante gas natural para viviendas en bloque como medida activa contra la pobreza energética., Universidad Pontificia Comillas, 2021. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/51398/TFM%20-%20Alvaro%20Izaguirre%20de%20Benito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

3. Resultados del modelo

3.1. Casos analizados

Se han simulado una serie de casos representativos en todas las zonas climáticas para valorar el gasto de refrigeración. Con objeto de ponerlo en contexto, los casos incluyen dos escenarios para la satisfacción de la demanda de calefacción y ACS:

- Instalación individual por gas natural de calefacción y ACS. Este sistema es el contemplado por la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética (ENPE) para establecer la referencia del gasto térmico requerido, figurando además entre los más económicos para satisfacer estas demandas. En Canarias, que carece de suministro de gas natural en viviendas, se ha reemplazado este vector por GLP.
- Instalación individual mediante bomba de calor para calefacción y termo eléctrico para ACS. Dado que la refrigeración se realizará mediante aerotermia, en este escenario se ha supuesto que el equipo es una bomba de calor reversible que se aprovecha para el invierno. Al electrificar toda la demanda de climatización, la de ACS se ha electrificado también para así emplear un único suministro energético.

Sólo se han simulado viviendas en bloque, al ser más representativas en España (Censo 2011).

En cuanto al hogar, en el caso base, se ha considerado formado por 3 miembros y, para la vivienda, se han considerado 100 m² (nuevamente la referencia empleada por la ENPE), climatizados al 100%, y con tres tipos de aislamiento medio: “anterior a 1981”, “1981 a 2007” y “posterior a 2007”.

El gasto se ha desglosado bajo dos criterios:

- Uso final. Se ha dividido en calefacción, ACS, refrigeración y electricidad. La electricidad incluiría el término fijo y el variable asociado a usos no térmicos, es decir, la energía asociada a iluminación y electrodomésticos. Dicha energía se ha tomado constante como 3.363 kWh/año por hogar, a partir de una media nacional¹⁴. Nótese que el término fijo queda condicionado por los usos térmicos, es decir aumentará si se utiliza electricidad para uno o más usos térmicos.
- Vectores. Este criterio agrupa el gasto atendiendo al tipo de suministro energético (vector). Se distinguen dos vectores: combustibles (gas natural o GLP) y electricidad. En el caso de la electricidad se incluyen tanto el término fijo como el variable asociado a todos los usos (iluminación, electrodomésticos, refrigeración y calefacción/ACS si fuesen eléctricas).

¹⁴ Eurostat, Ministerio de Industria Energía y Turismo, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2011. Consumos del Sector Residencial en España. Resumen de Información Básica.

Con objeto de poder valorar el incremento de gasto debido a la refrigeración, dado que su inclusión en los hogares es gradual, se han agrupado los resultados bajo la hipótesis de que haya refrigeración o de que no.

La Tabla 11 recoge los términos asociados al gasto eléctrico en los criterios considerados. Se aprecia que los usos no térmicos (iluminación y electrodomésticos) aparecen tanto en el término fijo como en el variable en todos los criterios, dado que son uso final no térmico y se requiere siempre electricidad para su funcionamiento. En cuanto a la calefacción y el ACS, caso de ser eléctricas, repercuten en el término fijo siempre (aumentan la potencia contratada), pero en el variable sólo en el criterio de vectores, dado que son un uso térmico. La refrigeración se ha aislado para considerar su implantación gradual, por lo que cuando se considera aparece con la misma filosofía que la calefacción y el ACS.

Tabla 11. Términos del gasto eléctrico incluidos en los criterios de uso final y vectores.

		Sin refrigeración	Con refrigeración
Electricidad como uso final (no térmica)	Fijo	Iluminación y electrodomésticos Calefacción* ACS*	Iluminación y electrodomésticos Calefacción* ACS* Refrigeración
	Variable	Iluminación y electrodomésticos	Iluminación y electrodomésticos
Electricidad como vector	Fijo	Iluminación y electrodomésticos Calefacción* ACS*	Iluminación y electrodomésticos Calefacción* ACS* Refrigeración
	Variable	Iluminación y electrodomésticos Calefacción* ACS*	Iluminación y electrodomésticos Calefacción* ACS* Refrigeración

* Sólo si la calefacción o el ACS son eléctricos.

3.2. Resultados

Las Figuras 1 a 4 muestran una visión media del conjunto de resultados. Se han elaborado para un grado de aislamiento intermedio ("1981 a 2007"), la totalidad de la superficie climatizada en verano y tres zonas climáticas representativas:

- A4. Se trata de una zona de verano extremo e invierno muy ligero¹⁵. Un ejemplo de esta zona es Almería capital.
- E1. Es una zona de invierno extremo y verano muy ligero (de hecho, sin demanda de verano). Un ejemplo de esta zona es Burgos capital.
- C2. Es intermedia tanto en demanda de invierno como de verano. Un ejemplo de esta zona es Barcelona capital.

Las Figuras 1 y 3 muestran las demandas y consumos energéticos anuales, mientras que las 2 y 4 los gastos energéticos anuales, con las agrupaciones antes mencionadas.

La Figura 1 muestra que la máxima demanda de refrigeración (asociada a Almería - zona A4) es el 23% de la máxima de calefacción (asociada a Burgos - zona E1). Por el otro lado, estos dos tipos de demanda son comparables en una ciudad con mínima severidad climática de invierno y máxima de verano (Almería - zona A4), donde la demanda de refrigeración es tan sólo un 5% superior a la de calefacción. Esto es así porque el período estival recogido en el CTE dura sólo cuatro meses (junio a septiembre incluidos), frente a los ocho del período invernal. Así, aunque la demanda punta pueda ser mayor en verano que en invierno, la energía demandada acumulada en un período es mayor en invierno (o casi igual en un invierno muy ligero y un verano extremo). El cómo repercute este hecho en el consumo depende de los equipos empleados para cubrir esta demanda. Así, en la Figura 1 (gas para calefacción y ACS) el consumo en refrigeración es mucho más bajo que en calefacción, aunque es preciso considerar el diferente coste de los vectores energéticos. Por el contrario, la Figura 3 (bomba de calor reversible) muestra un consumo similar en Almería (zona A4), siendo ya mucho mayor el de calefacción en Barcelona, perteneciendo a una zona climática intermedia (C2).

Respecto a los gastos, con los suministros elegidos (gas natural frente a todo eléctrico) resultan similares entre las mismas zonas climáticas, siendo ligeramente superiores en la opción todo eléctrico dado que se ha escogido un termo eléctrico para el ACS. Las bombas de calor modernas y dimensionadas para toda la vivienda suelen incorporar producción de ACS, pero dado el contexto del estudio se ha escogido un conjunto de bombas de calor partidas individuales, sin capacidad de producción de ACS. El exceso de gasto total que representa la inclusión de la refrigeración oscila entre un 15% en la opción todo eléctrico frente a un 23% en la opción de gas, para la zona climática de máxima demanda de verano y mínima de invierno (A4). Para una zona de severidad intermedia (C2) estos excesos se reducen a un 4% y un 11%, respectivamente.

¹⁵ En Canarias existe la zona $\alpha 3$, carente de demanda de invierno, pero no se ha considerado en estos resultados agrupados. Sí aparece en los resultados completos.

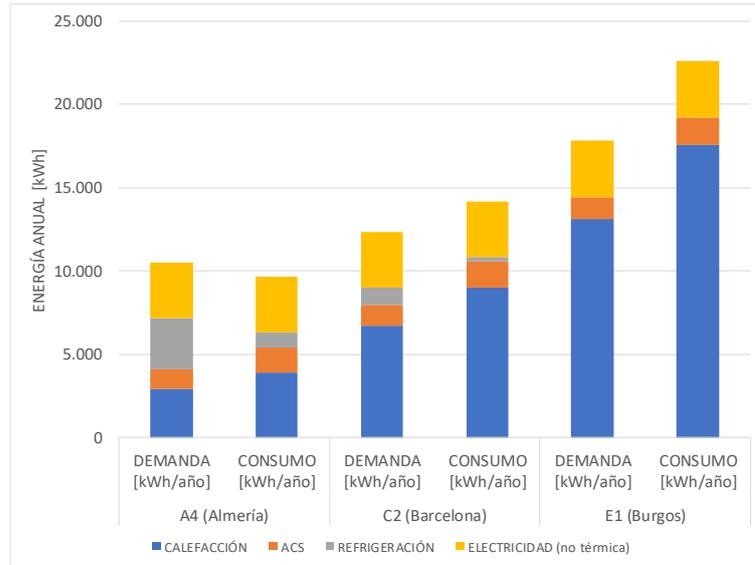


Figura 1. Demandas y consumos energéticos anuales en tres zonas climáticas representativas con el 100% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

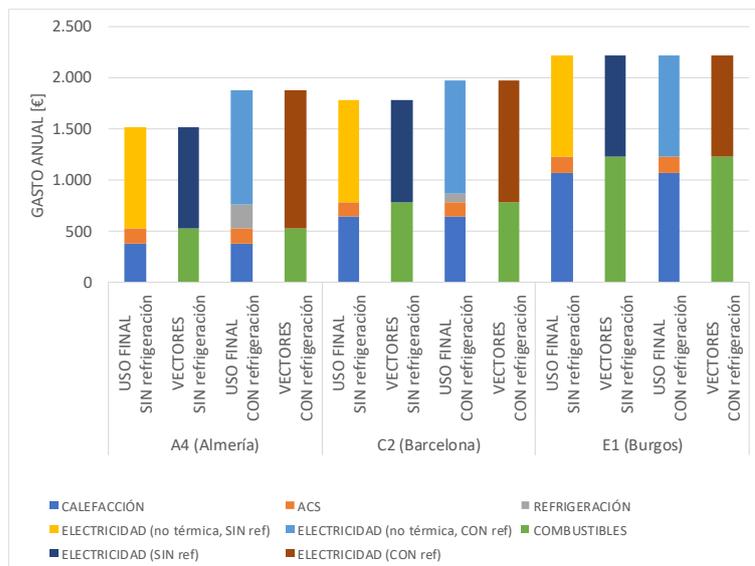


Figura 2. Gastos energéticos anuales en tres zonas climáticas representativas con el 100% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

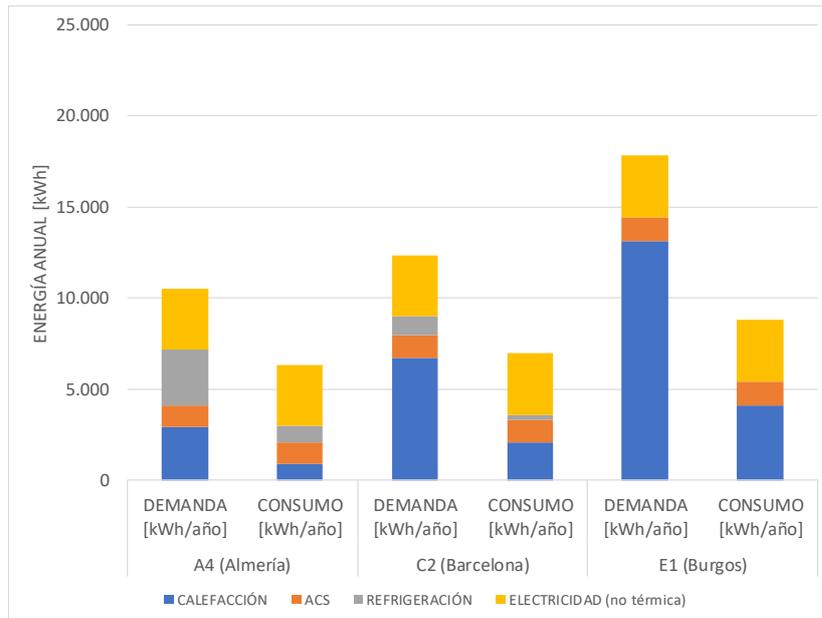


Figura 3. Demandas y consumos energéticos anuales en tres zonas climáticas representativas con el 100% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

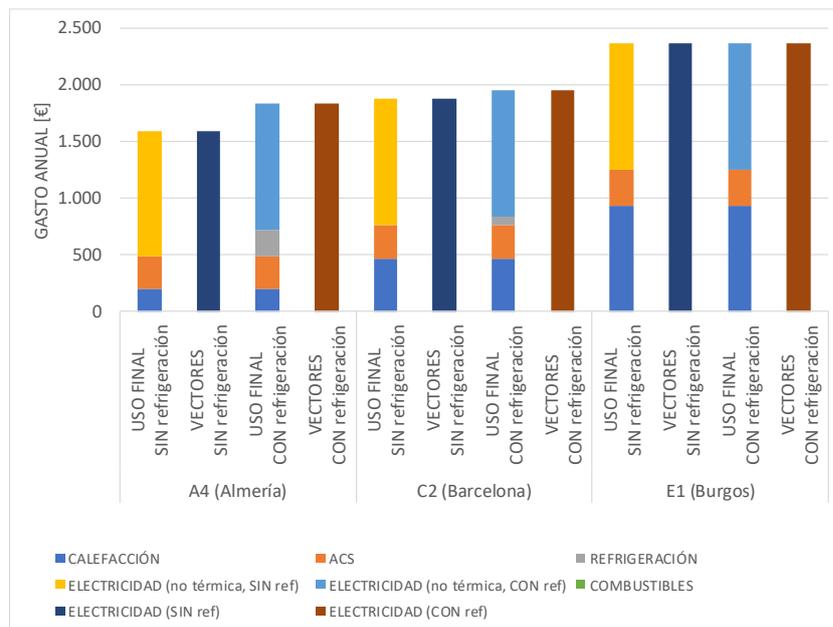


Figura 4. Gastos energéticos anuales en tres zonas climáticas representativas con el 100% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

Las Figuras 5 a 8 muestran el efecto sobre las mismas configuraciones (5 y 6 sobre calefacción y ACS con gas y 7 y 8 con todo eléctrico) pero climatizando en verano sólo el 25% de la vivienda. Comparando la Figura 6 con la Figura 2 (instalaciones con gas) se aprecia una

reducción del gasto total del 13,2% en la zona A4 al refrigerar sólo el 25% de la superficie de la vivienda, mientras que este porcentaje se reduce al 6,6% en la zona C2, debido a la reducción de la severidad climática en verano y al aumento de la de invierno. En el caso de climatización eléctrica (Figura 8 comparada con la Figura 4) las reducciones de gasto son menores debido a la influencia de la calefacción sobre el consumo eléctrico, pasando a ser del 9,6% en la zona A4 y del 2,9% en la zona C2.

La Figura 9 compara el incremento del gasto energético anual en las zonas A4 y C2 cuando se utiliza gas para calefacción y ACS y la Figura 10 cuando se climatiza y se produce ACS con electricidad. En ambos casos se destaca el menor incremento del gasto cuando se reduce la superficie refrigerada, constatando además unos menores incrementos al emplear climatización eléctrica, lo que indica que si se emplea bomba de calor reversible la refrigeración en verano supone un incremento del coste anual muy bajo. Nuevamente queda de manifiesto la menor repercusión en el gasto de la refrigeración al crecer la demanda de calefacción.

Las Figuras 11 a 14 muestran un estudio de sensibilidad de la zona A4 frente a la superficie de la vivienda climatizada en verano. Cuando se emplea gas natural, el gasto total energético se reduce un 6,3% al climatizar sólo la mitad de la superficie y un 13,2% al climatizar sólo la cuarta parte. Estos descensos cambian al 6,4% y 9,6% respectivamente al emplear el suministro eléctrico.

Las Figuras 15 a 18 muestran un estudio de sensibilidad de la zona A4 frente a la antigüedad de la vivienda (calidad del aislamiento). Cuando se emplea gas natural, las viviendas construidas entre 1981 y 2007 presentan un 13,4% menos de gasto energético total que las construidas antes de 1981. Esta reducción del gasto llega al 28,2% en viviendas construidas después de 2007. En el caso de emplear suministro eléctrico, las reducciones pasan a ser del 13,8% y del 26,9%, respectivamente.

La Figura 19 compara el incremento del gasto energético anual en la zona A4 cuando se utiliza gas para calefacción y ACS en función de la superficie refrigerada y el nivel de aislamiento, mientras que la Figura 20 lo hace cuando se climatiza y se produce ACS con electricidad. Nuevamente se aprecian menores incrementos de gasto al emplear climatización con bomba de calor reversible. Es destacable cómo en una vivienda con mejor aislamiento (vivienda construida posteriormente a 2007 frente a construida en el período 1981 a 2007), la climatización en verano produce un incremento del gasto comparable a refrigerar sólo la mitad de la superficie de una vivienda menos eficiente.

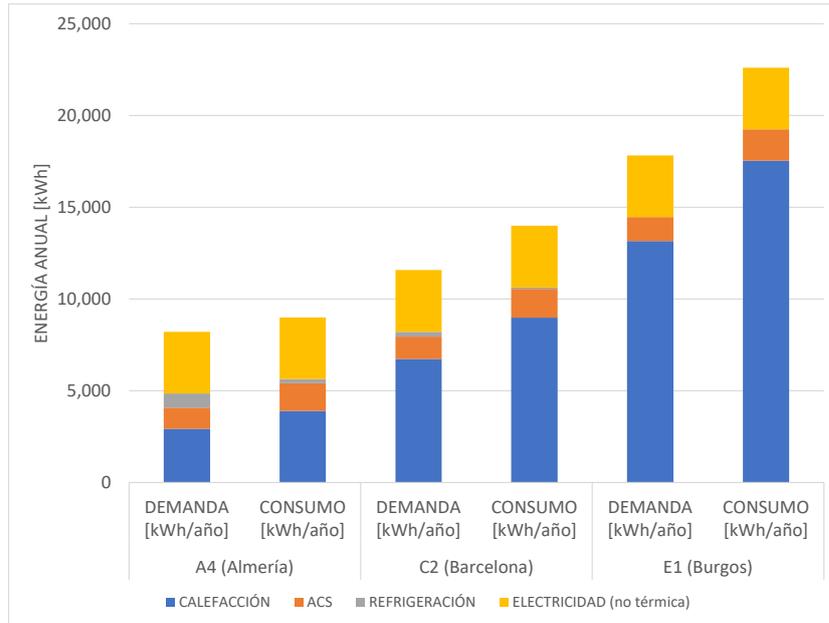


Figura 5. Demandas y consumos energéticos anuales en tres zonas climáticas representativas con el 25% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

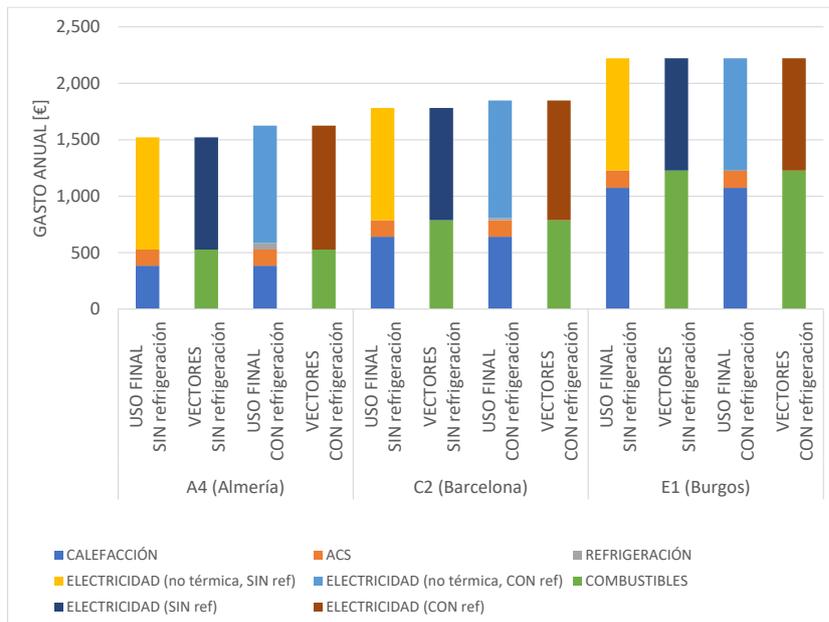


Figura 6. Gastos energéticos anuales en tres zonas climáticas representativas con el 25% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

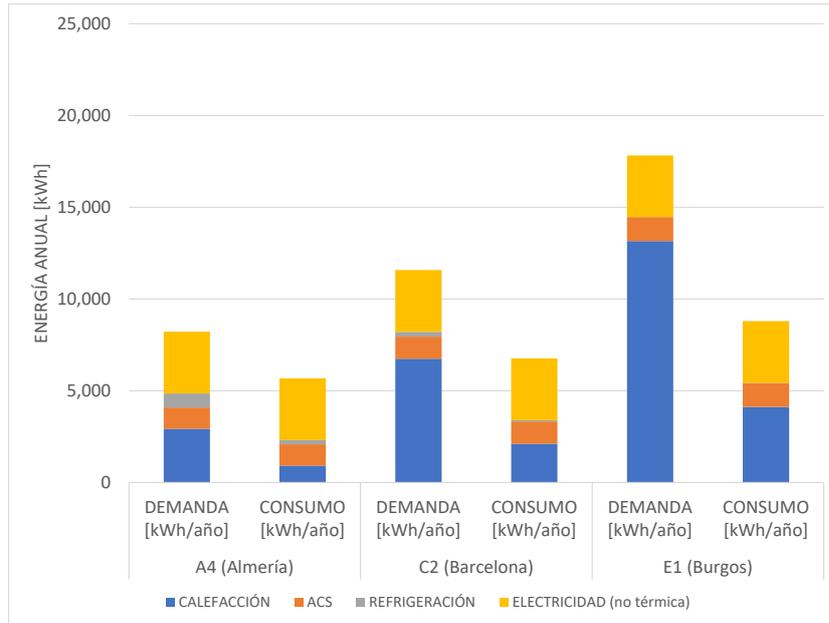


Figura 7. Demandas y consumos energéticos anuales en tres zonas climáticas representativas con el 25% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

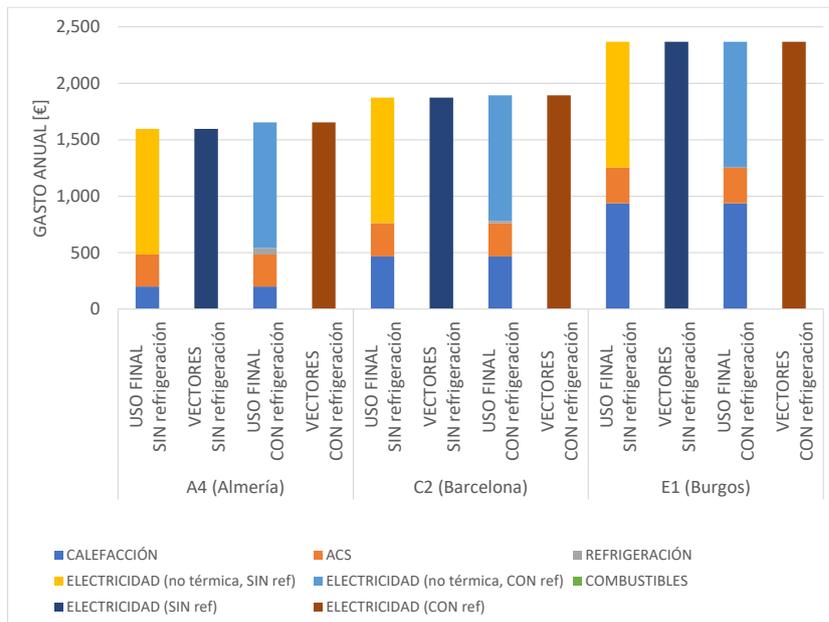


Figura 8. Gastos energéticos anuales en tres zonas climáticas representativas con el 25% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

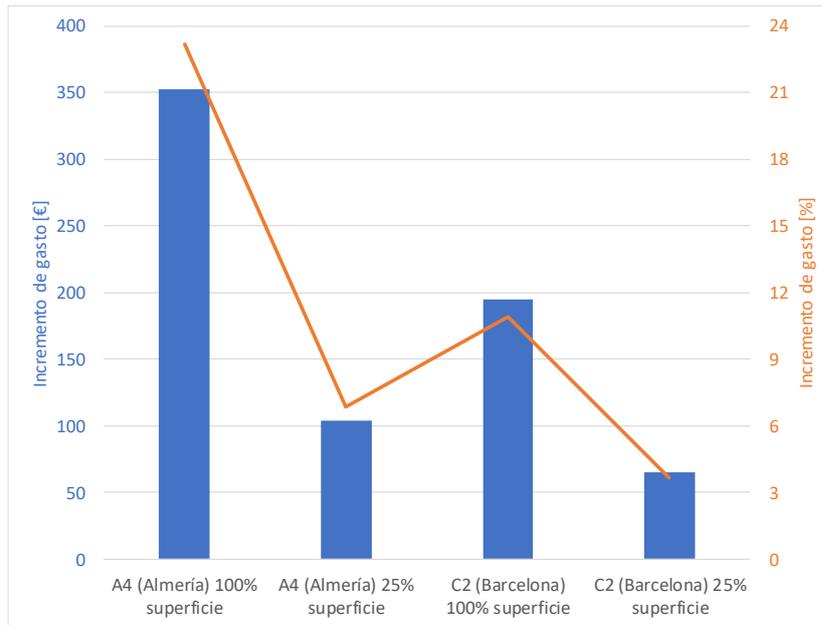


Figura 9. Incremento del gasto energético anual en dos zonas climáticas representativas al introducir refrigeración. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

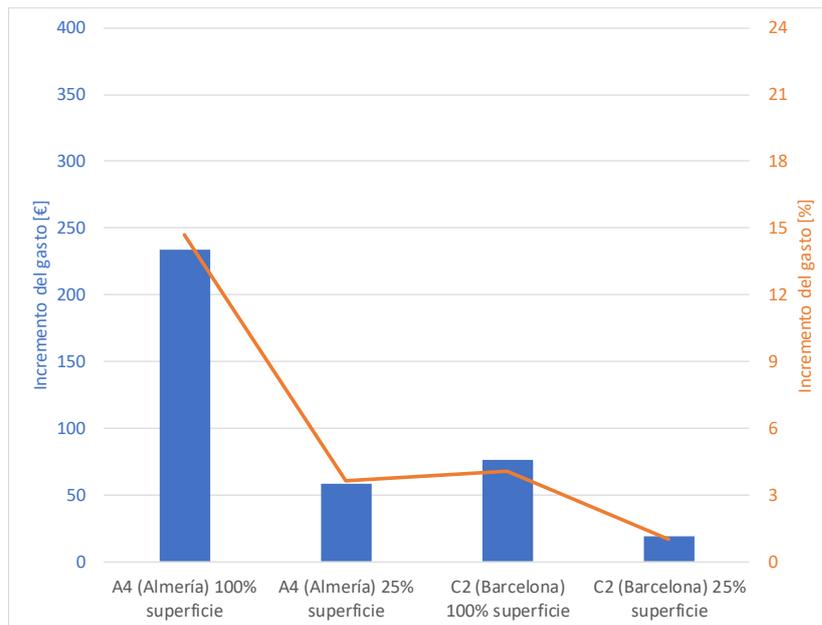


Figura 10. Incremento del gasto energético anual en dos zonas climáticas representativas al introducir refrigeración. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

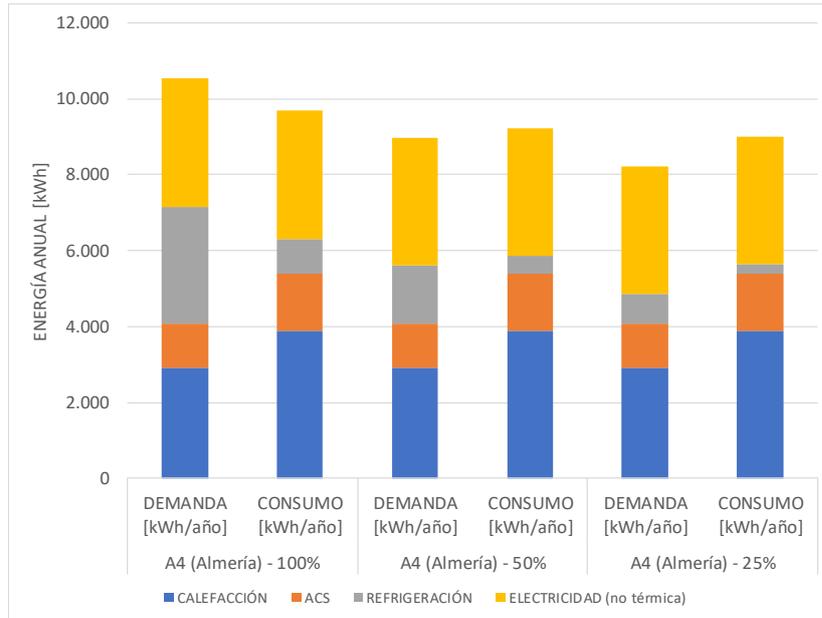


Figura 11. Demandas y consumos energéticos anuales en la zona A4 para tres porcentajes de superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

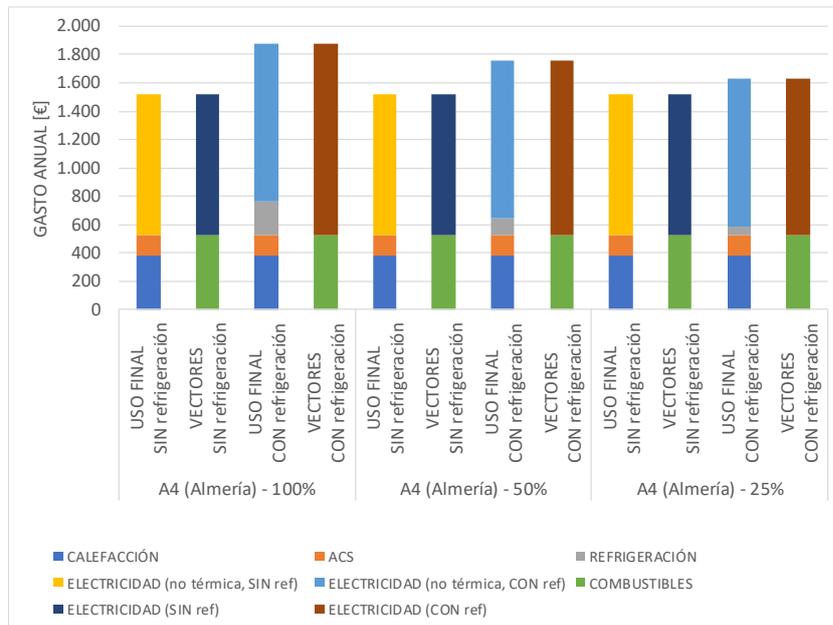


Figura 12. Gastos energéticos anuales en la zona A4 para tres porcentajes de superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

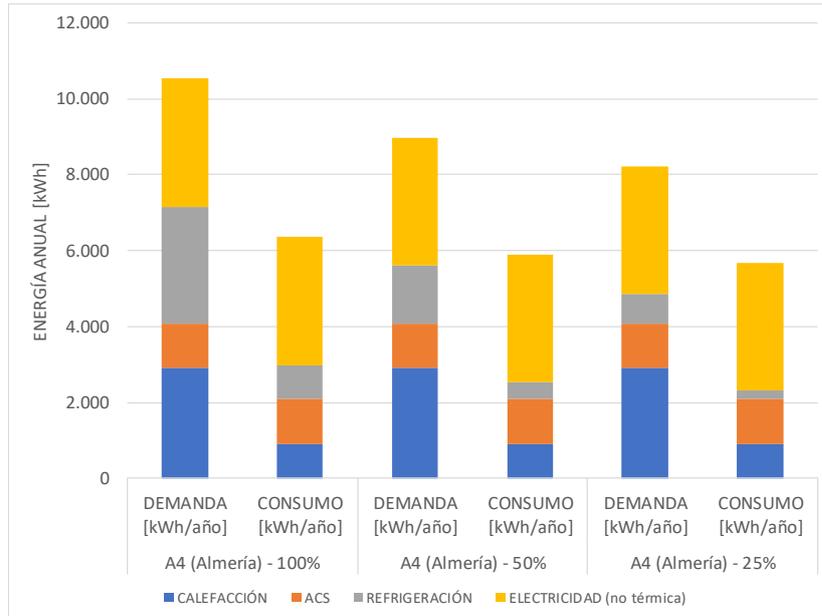


Figura 13. Demandas y consumos energéticos anuales en la zona A4 para tres porcentajes de superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

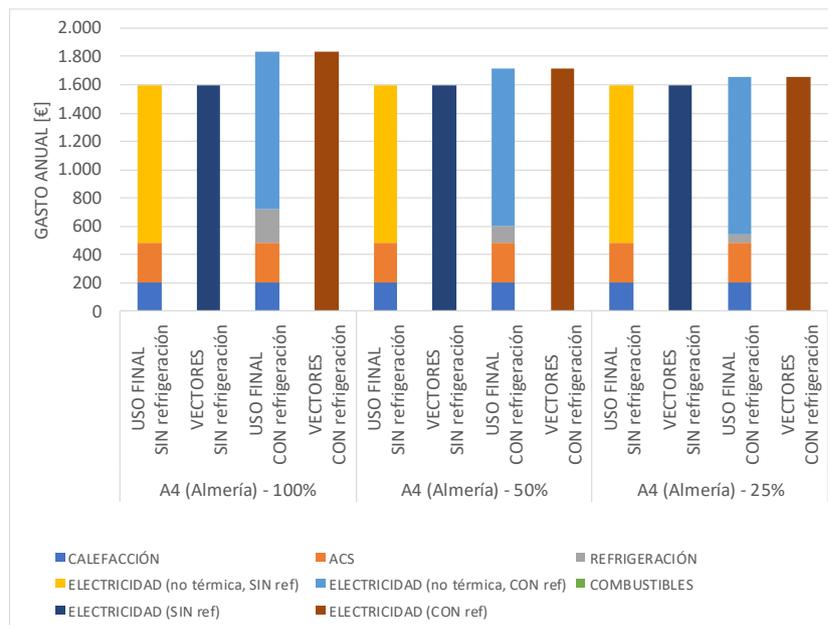


Figura 14. Gastos energéticos anuales en la zona A4 para tres porcentajes de superficie climatizada en verano. Vivienda construida entre 1981 y 2007 con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

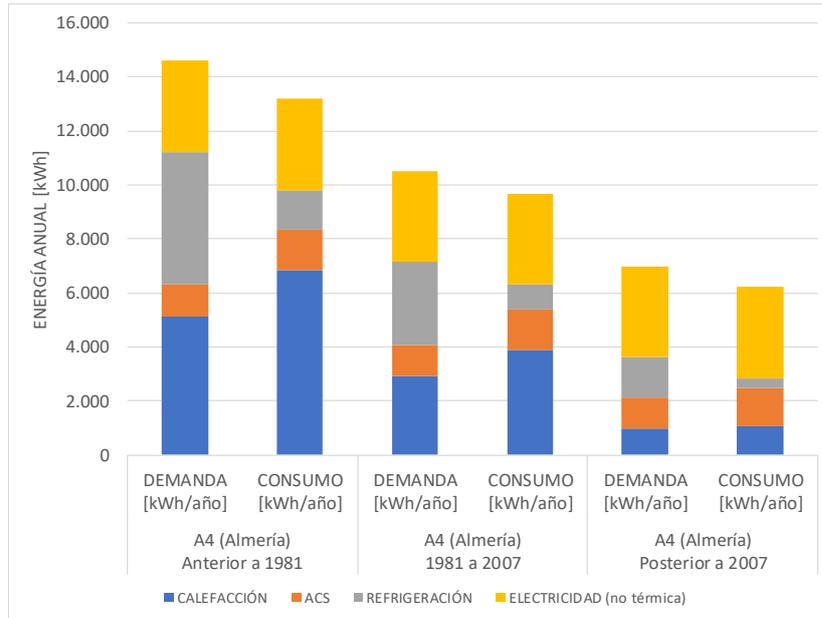


Figura 15. Demandas y consumos energéticos anuales en la zona A4 con el 100% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida en tres épocas diferentes con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

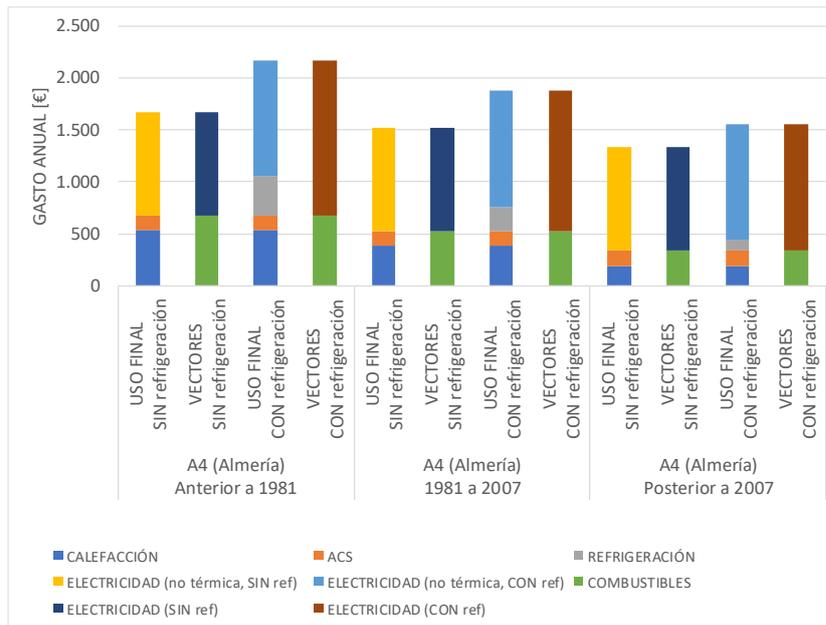


Figura 16. Gastos energéticos anuales en la zona A4 con el 100% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida en tres épocas diferentes con calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

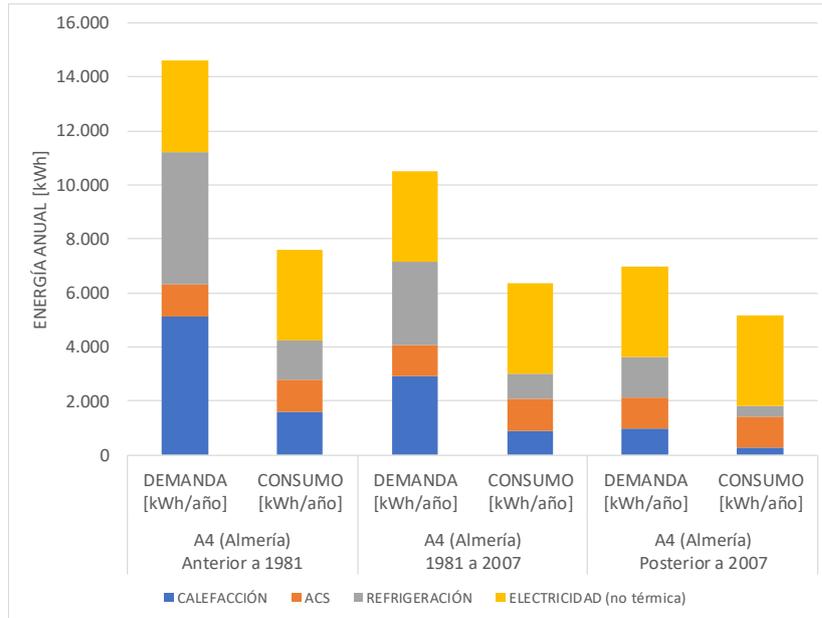


Figura 17. Demandas y consumos energéticos anuales en la zona A4 con el 100% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida en tres épocas diferentes con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

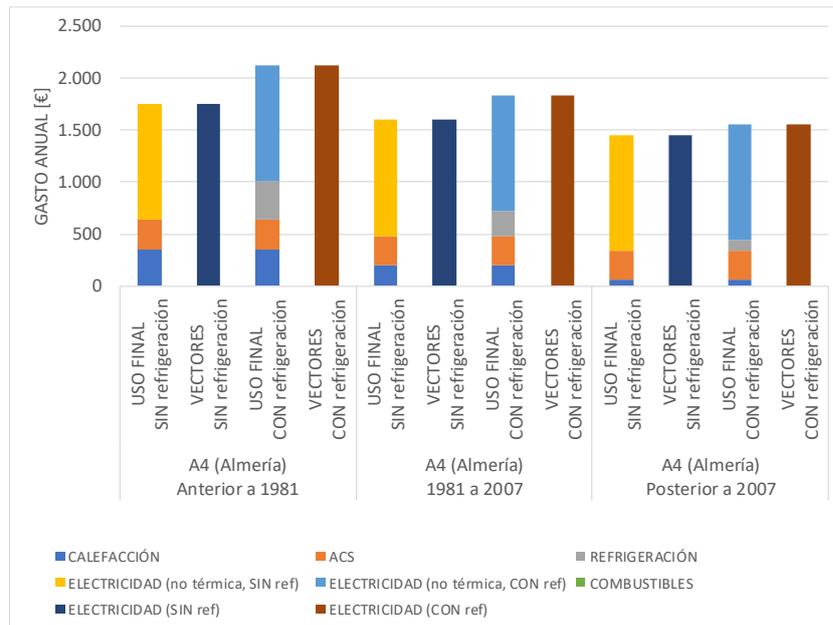


Figura 18. Gastos energéticos anuales en la zona A4 con el 100% de la superficie climatizada en verano. Vivienda construida en tres épocas diferentes con calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

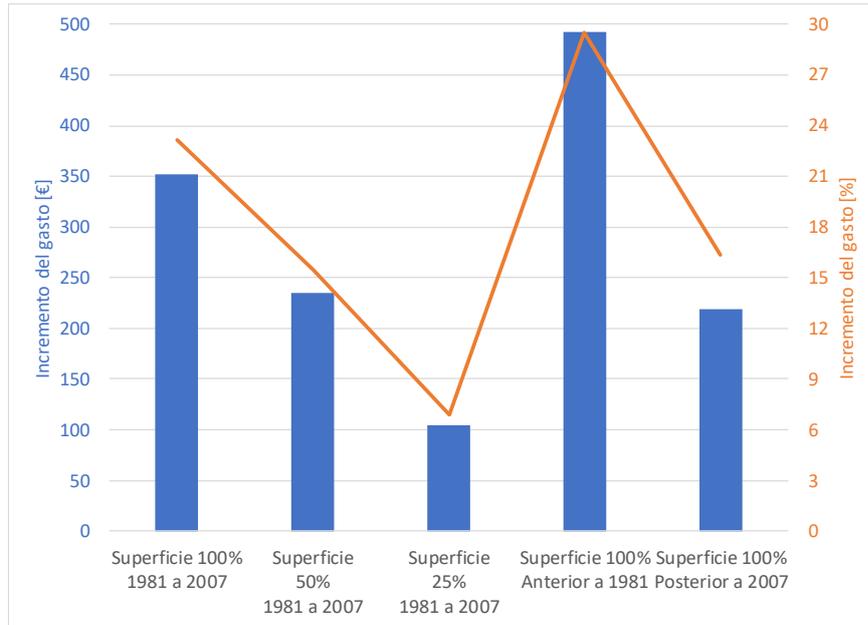


Figura 19. Incremento del gasto energético anual en la zona A4 (Almería) al introducir refrigeración. Diversas superficies refrigeradas en verano y diversas antigüedades. Calefacción y ACS satisfechos con instalación individual de gas natural.

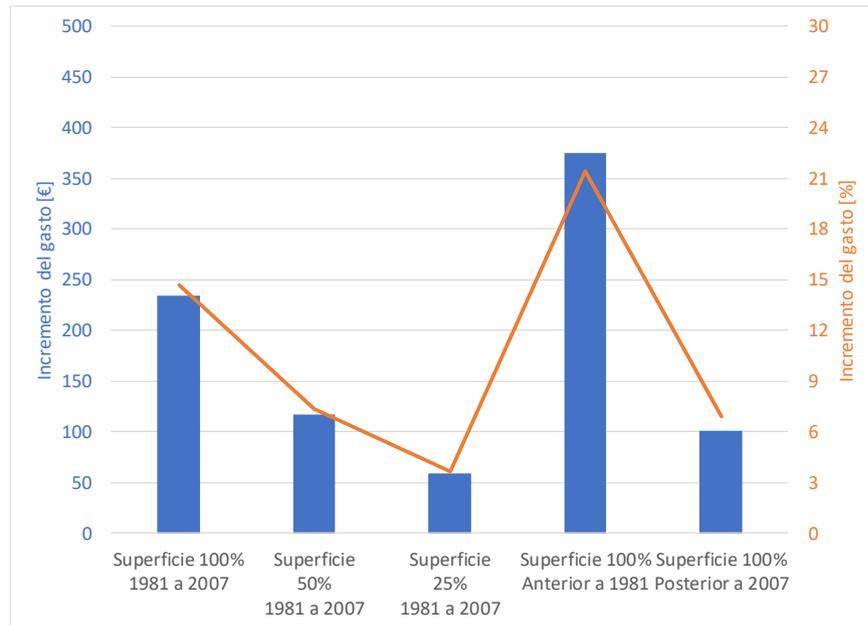


Figura 20. Incremento del gasto energético anual en la zona A4 (Almería) al introducir refrigeración. Diversas superficies refrigeradas en verano y diversas antigüedades. Calefacción y refrigeración por bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

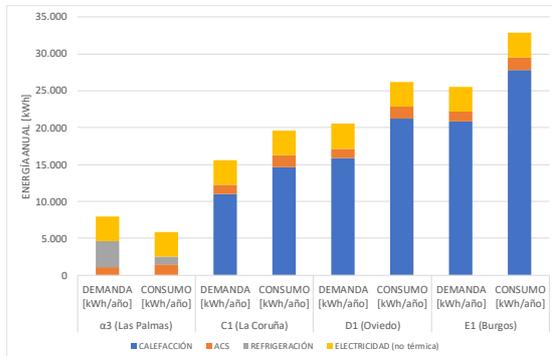
3.3. Resultados completos

Este apartado amplía el espectro de casos de estudio proporcionando los resultados de demanda, consumo y gasto energético en distintas zonas climáticas intermedias y para las diferentes configuraciones de sistemas de climatización y ACS analizadas.

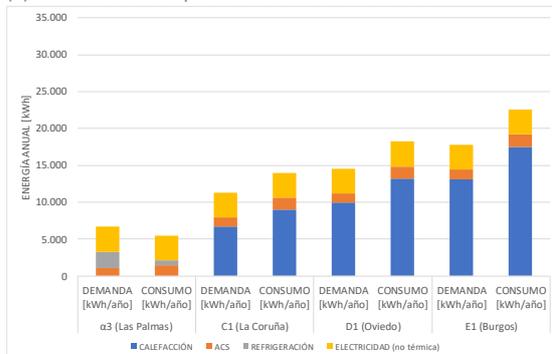
- Los apartados **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestran los resultados en ciudades pertenecientes a zonas climáticas variadas.
- Los apartados **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presentan los resultados en ciudades con demanda baja de refrigeración.
- Los apartados **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestran los resultados en ciudades con demanda intermedia de refrigeración.

Los apartados **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestran los resultados en ciudades con demanda alta de refrigeración

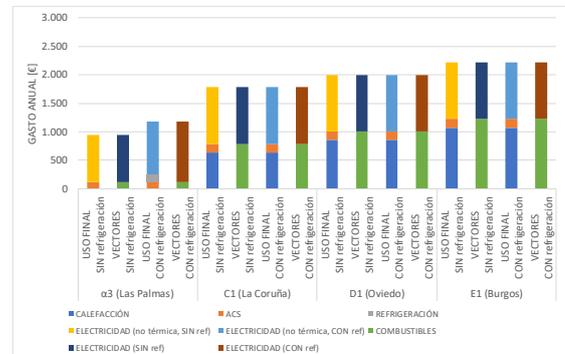
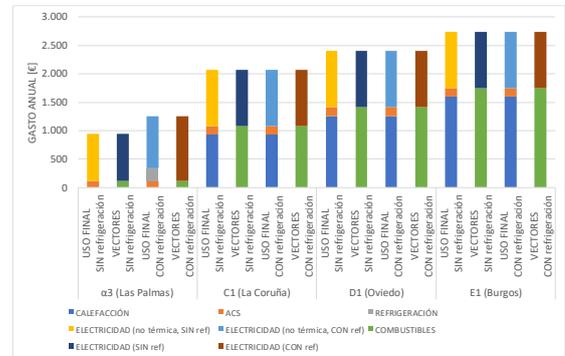
3.3.1. DEMANDA TÉRMICA ÚNICA. INSTALACIONES: GAS INDIVIDUAL Y REFRIGERADOR

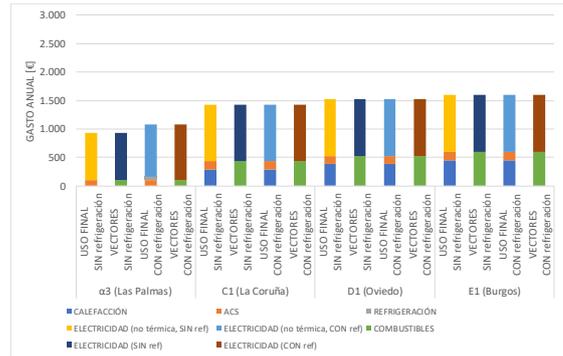
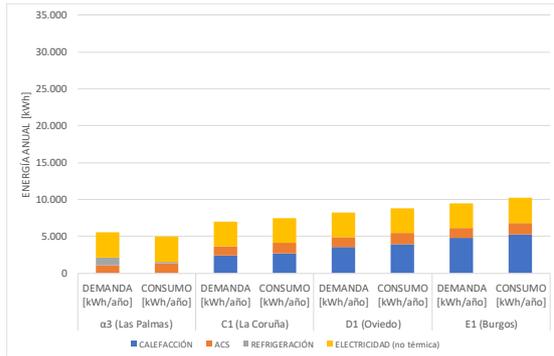


(a) Viviendas en bloque construidas antes de 1981.



(b) Viviendas en bloque construidas entre 1981 y 2007.

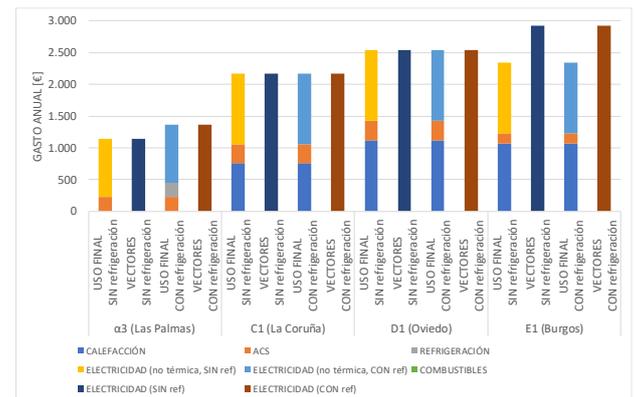
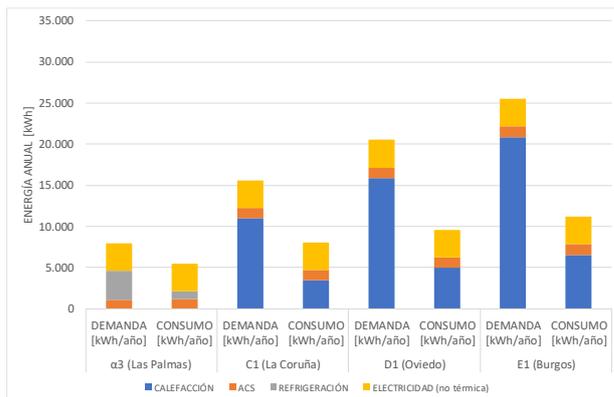




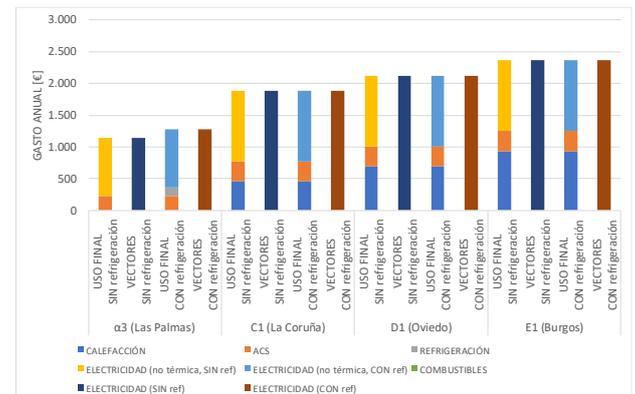
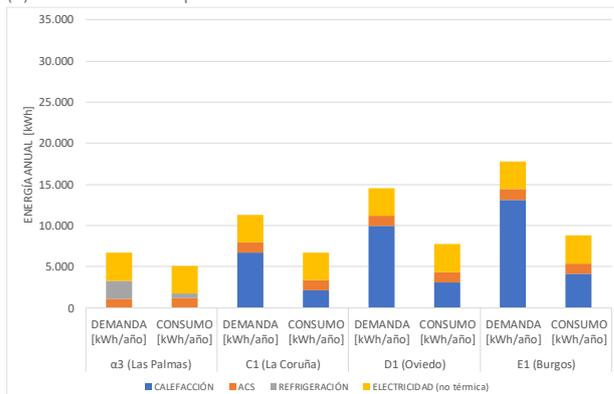
(c) Viviendas en bloque construidas después de 2007.

Figura 21. Demandas/consumos (izquierda) y gastos energéticos (derecha) anuales en zonas climáticas con demanda de climatización única (verano o invierno) con el 100% de la superficie climatizada en verano y diferentes épocas de construcción. Demanda de calefacción y ACS cubierta con instalación individual de gas natural (glp en Las Palmas).

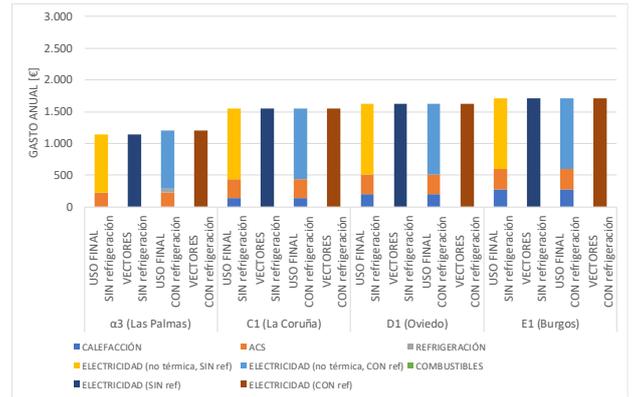
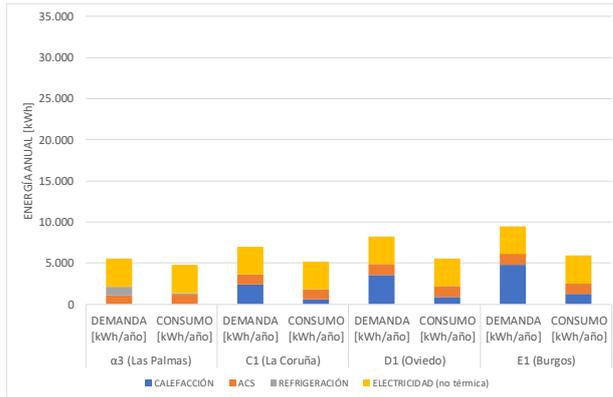
3.3.2. DEMANDA TÉRMICA ÚNICA. INSTALACIONES: BOMBA DE CALOR REVERSIBLE Y ACS ELÉCTRICO



(a) Viviendas en bloque construidas antes de 1981.



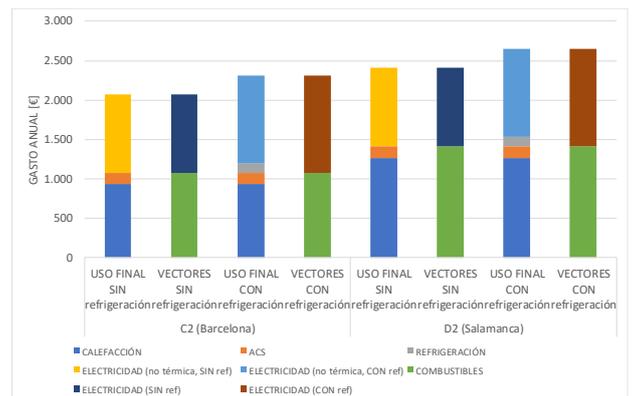
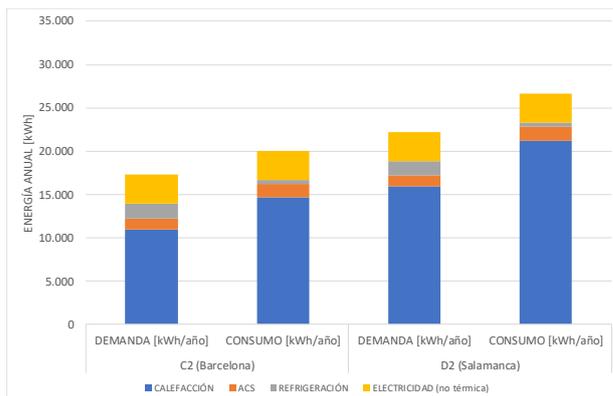
(b) Viviendas en bloque construidas entre 1981 y 2007.



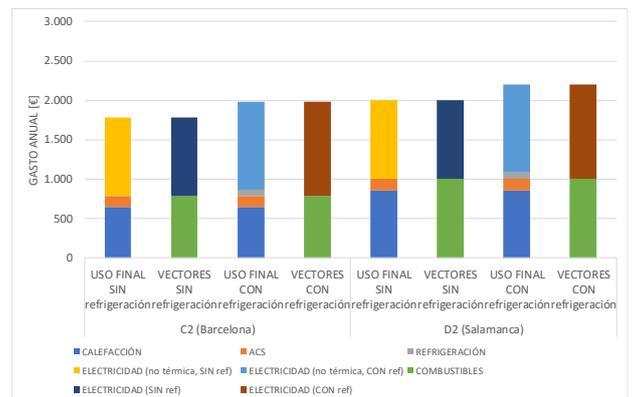
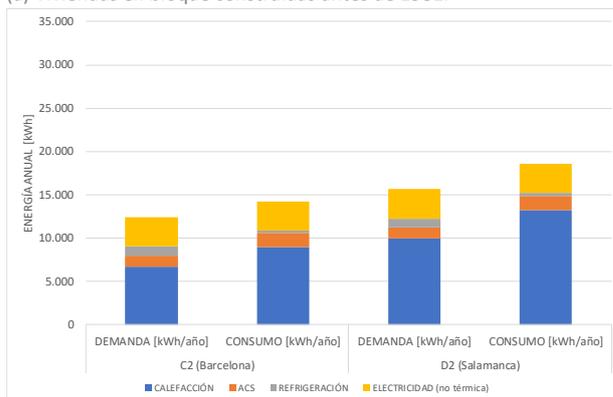
(c) Viviendas en bloque construidas después de 2007.

Figura 22. Demandas/consumos (izquierda) y gastos energéticos (derecha) anuales en zonas climáticas con demanda de climatización única (verano o invierno) con el 100% de la superficie climatizada en verano y diferentes épocas de construcción. Demanda de calefacción cubierta con bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

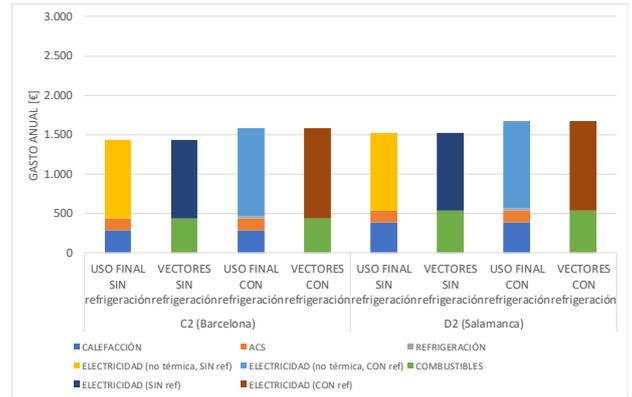
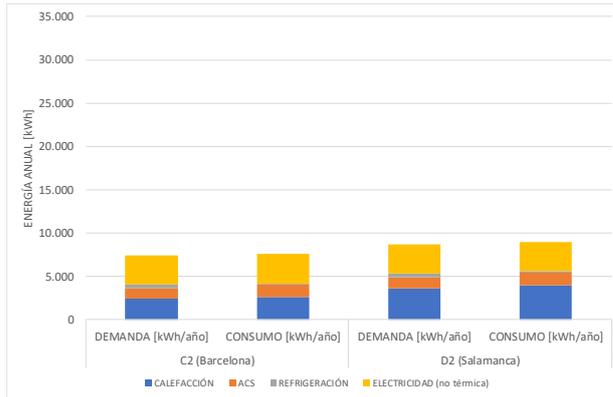
3.3.3. DEMANDA BAJA DE REFRIGERACIÓN. INSTALACIONES: GAS INDIVIDUAL Y REFRIGERADOR



(a) Viviendas en bloque construidas antes de 1981.



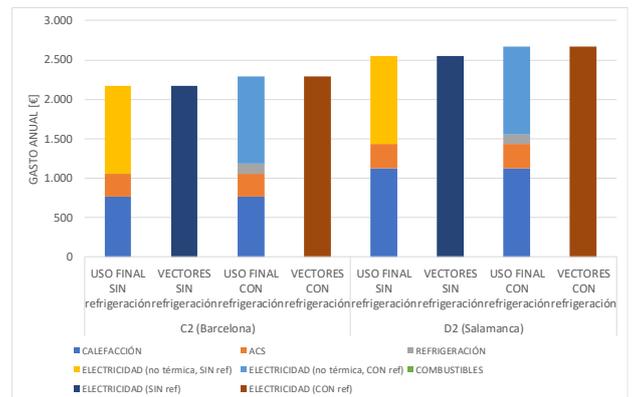
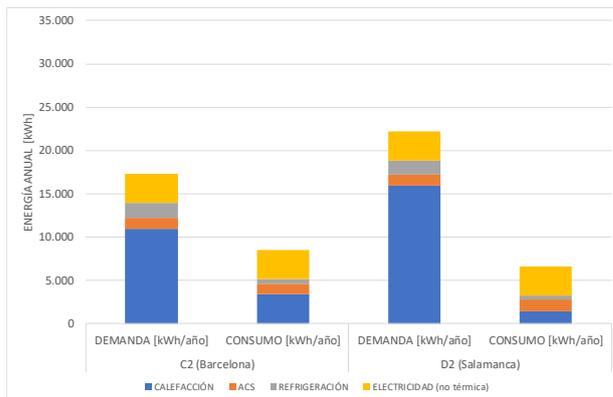
(b) Viviendas en bloque construidas entre 1981 y 2007.



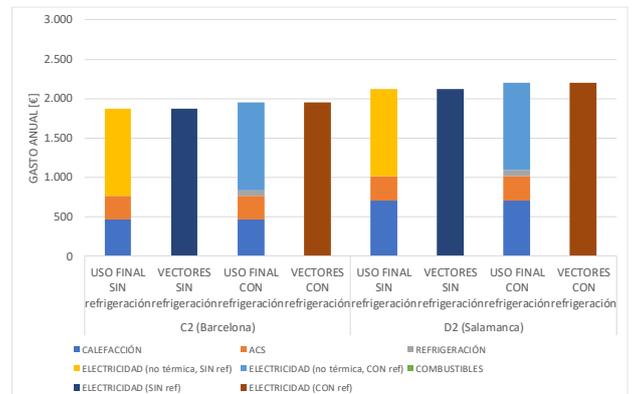
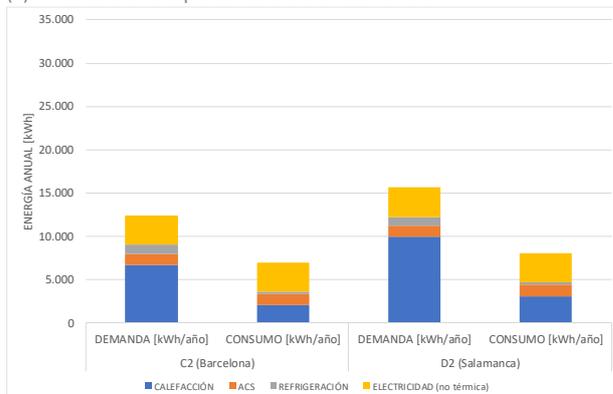
(c) Viviendas en bloque construidas después de 2007.

Figura 23. Demandas/consumos (izquierda) y gastos energéticos (derecha) anuales en zonas climáticas con demanda baja de refrigeración (C2 y D2) con el 100% de la superficie climatizada en verano y diferentes épocas de construcción. Demanda de calefacción y ACS cubierta con instalación individual de gas natural.

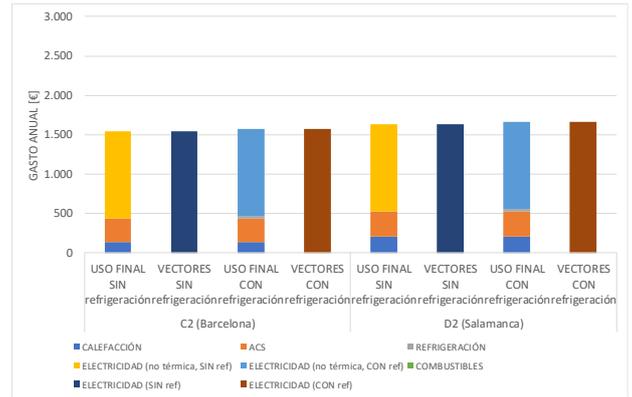
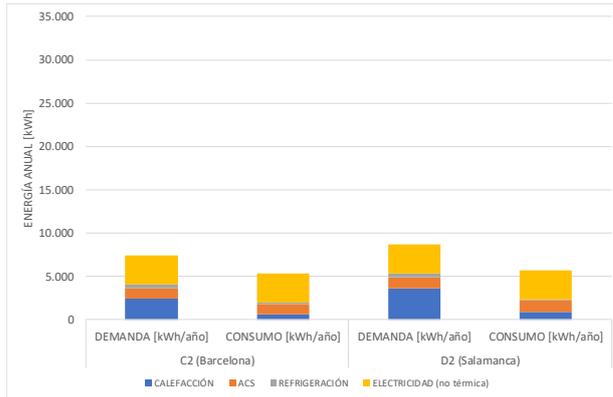
3.3.4. DEMANDA BAJA DE REFRIGERACIÓN. INSTALACIONES: BOMBA DE CALOR REVERSIBLE Y ACS ELÉCTRICO



(a) Viviendas en bloque construidas antes de 1981.



(b) Viviendas en bloque construidas entre 1981 y 2007.



(c) Viviendas en bloque construidas después de 2007.

Figura 24. Demandas/consumos (izquierda) y gastos energéticos (derecha) anuales en zonas climáticas con demanda baja de refrigeración (C2 y D2) con el 100% de la superficie climatizada en verano y diferentes épocas de construcción. Demanda de calefacción cubierta con bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

3.3.5. DEMANDA INTERMEDIA DE REFRIGERACIÓN. INSTALACIONES: GAS INDIVIDUAL Y REFRIGERADOR



Figura 25. Demandas/consumos (izquierda) y gastos energéticos (derecha) anuales en zonas con demanda intermedia de refrigeración (A3, B3, C3 y D3) con el 100% de la superficie climatizada en verano y diferentes épocas de construcción. Demanda de calefacción y ACS cubierta con instalación individual de gas natural.

3.3.6. DEMANDA INTERMEDIA DE REFRIGERACIÓN. INSTALACIONES: BOMBA DE CALOR REVERSIBLE Y ACS ELÉCTRICO



Figura 26. Demandas/consumos (izquierda) y gastos energéticos (derecha) anuales en zonas con demanda intermedia de refrigeración (A3, B3, C3 y D3) con el 100% de la superficie climatizada en verano y diferentes épocas de construcción. Demanda de calefacción cubierta con bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

3.3.7. DEMANDA ALTA DE REFRIGERACIÓN. INSTALACIONES: GAS INDIVIDUAL Y REFRIGERADOR



Figura 27. Demandas/consumos (izquierda) y gastos energéticos (derecha) anuales en zonas con demanda alta de refrigeración (A4, B4 y C4) con el 100% de la superficie climatizada en verano y diferentes épocas de construcción. Demanda de calefacción y ACS cubierta con instalación individual de gas natural.

3.3.8. DEMANDA ALTA DE REFRIGERACIÓN. INSTALACIONES: BOMBA DE CALOR REVERSIBLE Y ACS ELÉCTRICO

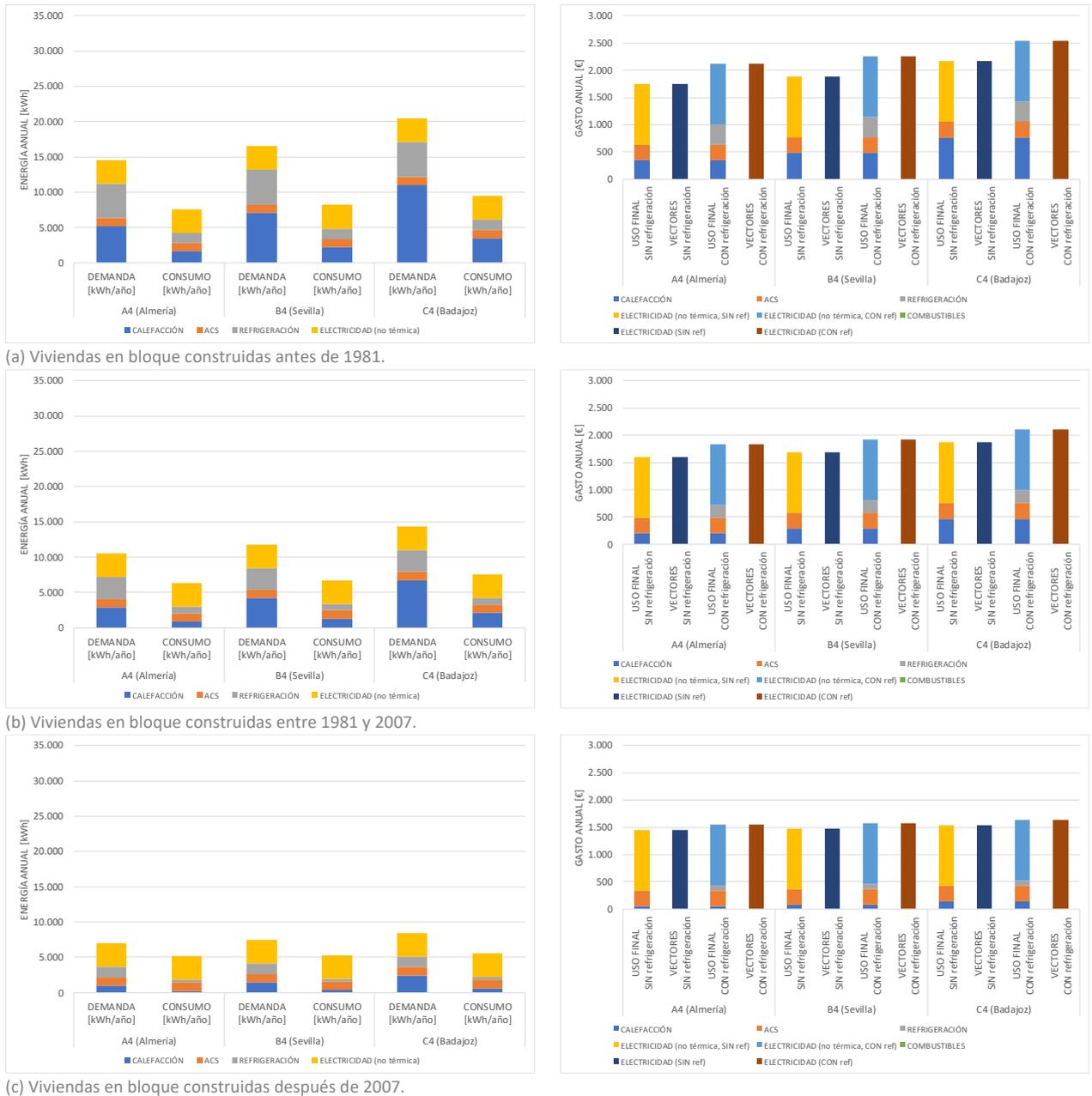


Figura 28. Demandas/consumos (izquierda) y gastos energéticos (derecha) anuales en zonas con demanda alta de refrigeración (A4, B4 y C4) con el 100% de la superficie climatizada en verano y diferentes épocas de construcción. Demanda de calefacción cubierta con bomba de calor reversible y ACS por termo eléctrico.

4. Conclusiones y limitaciones del modelo

El marco de referencia para el modelo desarrollado es la pobreza energética. Eso significa que a la hora de determinar las instalaciones térmicas y los rendimientos estacionales se han introducido restricciones acordes con dicho marco. En este sentido, la herramienta se considera válida para evaluar el gasto energético teórico de un hogar, pero hay que tener cuidado si se emplea para evaluar la reducción de dicho gasto si se introducen mejoras. Por ejemplo, una rehabilitación energética de la envolvente que mejorase la calificación energética sí es reproducible, pues es un parámetro introducido en el modelo, pero una mejora en instalaciones (reemplazar el equipo *split* por una bomba de calor reversible centralizada con *inverter* geotérmica agua/agua por suelo radiante, por ejemplo), no puede evaluarse.

Las instalaciones elegidas responden a lo que se considera habitual en viviendas vulnerables, con objeto de obtener el gasto teórico en que debería incurrirse para, con los medios actuales, mantener las condiciones de confort establecidas por la Normativa. En este sentido, las eficiencias de los equipos *split* (sólo frío o reversibles) son las medias de equipos convencionales aire/aire, no de última tecnología ni centralizados ni con instalaciones terminales sofisticadas. En definitiva, la herramienta está pensada para facilitar el uso de la evaluación de una situación actual, no para evaluar el efecto de ciertas mejoras.

La demanda de los usos eléctricos no asociados con la calefacción ni la preparación del ACS no se ha modelado en este informe, sino que se ha asumido un valor medio de 3.363 kWh/año.

Las simulaciones realizadas con el modelo han puesto de manifiesto que la inclusión de la refrigeración no supone un gasto adicional excesivo dentro del conjunto del gasto energético de la vivienda. Este resultado es consecuencia de las hipótesis que hace el modelo, que asume una climatización de la vivienda todas las horas del día a la misma temperatura (relacionada con la temperatura base empleada para el cálculo de los grados-día). En anteriores estudios (Barrella et al., 2022)¹⁶ se ha comprobado que la demanda de calefacción obtenida con el modelo del CTE sobrestima la demanda real (la que un usuario no afectado por pobreza energética cubre normalmente). Esto es así porque, además de considerarse una ocupación de la vivienda en el 100% del tiempo (24h/7días), la máxima demanda de calefacción se produce durante la noche, donde habitualmente la consigna del termostato se reduce o incluso la calefacción se apaga. Por el contrario, las máximas demandas de refrigeración se dan durante el día, en horas de uso del sistema de climatización, y (suponiendo que la vivienda esté ocupada en dichas horas) es esperable una mayor concordancia entre la demanda prevista por el CTE y la realmente cubierta por el hogar. Es decir, es esperable que el sobrecoste de incluir la refrigeración porcentualmente será mayor, especialmente en las zonas de baja demanda de calefacción. En hogares con menores recursos económicos este aumento puede venir modulado al ser habitual que no se climatice en verano la totalidad de la vivienda. Sin embargo, esta “modulación”, si es llevada al extremo y viene determinada por una falta de asequibilidad de la energía, puede acarrear situaciones de pobreza energética oculta (Barrella et al., 2022)¹⁷ que producen condiciones de discomfort

¹⁶ R. Barrella, J.C. Romero, J.I. Linares, E. Arenas, M. Asín, E. Centeno, The dark side of energy poverty: Who is underconsuming in Spain and why?, Energy Res. Soc. Sci. 86 (2022) 102428. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2021.102428>

¹⁷ R. Barrella, J.C. Romero, J.I. Linares, E. Arenas, M. Asín, E. Centeno, The dark side of energy poverty: Who is underconsuming in Spain and why?, Energy Res. Soc. Sci. 86 (2022) 102428. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2021.102428>

térmico y pueden conllevar graves impactos en la salud de las personas que habitan la vivienda.

En hogares con menores recursos económicos este aumento puede venir modulado al ser habitual que no se climatice en verano la totalidad de la vivienda. Sin embargo, esta “modulación”, si es llevada al extremo y determinada por una falta de asequibilidad de la energía, puede acarrear posibles situaciones de pobreza energética oculta que determinan condiciones de disconfort térmico y pueden conllevar graves impactos en la salud de las personas que habitan la vivienda.



Con el apoyo de:



Elaborado por:

