

Propuesta de mejora de la normativa térmica edificatoria chilena implementando la normativa térmica edificatoria española: Primeros pasos en edificios residenciales

Luis M. López-Ochoa¹, Jesús Las-Heras-Casas², Pablo Olasolo-Alonso³, César García-Lozano⁴

¹ TENECO Research Group, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de La Rioja, España.
Email: luis-maria.lopezo@unirioja.es

² TENECO Research Group, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de La Rioja, España.
Email: jesus.las-herasc@unirioja.es

³ TENECO Research Group, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de La Rioja, España.
Email: pablo.olasolo@unirioja.es

⁴ TENECO Research Group, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de La Rioja, España.
Email: cesar.garcia@unirioja.es

Resumen

En este trabajo se estudia y analiza cómo se puede mejorar la normativa térmica edificatoria chilena implementando la normativa térmica edificatoria española. Para ello, inicialmente, se definen las envolventes térmicas de un edificio plurifamiliar en Santiago de Chile que cumplen las diferentes normativas térmicas edificatorias y, posteriormente, se evalúan, mediante simulación energética, las correspondientes demandas energéticas de calefacción. Aplicando la normativa térmica edificatoria española se logra una reducción de la demanda energética de calefacción de más del 70%. Con este trabajo se avanza hacia el logro de edificios sustentables con un consumo de energía casi nulo con los que poder obtener un parque edificatorio residencial chileno altamente eficiente energéticamente y descarbonizado.

Palabras clave: regulación térmica edificatoria chilena; regulación térmica edificatoria española; edificación sustentable; edificio de consumo de energía casi nulo; sector residencial; Santiago de Chile.

Abstract

This work studies and analyses how the Chilean building thermal regulation can be improved by implementing the Spanish building thermal regulation. For this purpose, initially, the thermal envelopes of a multi-family building in Santiago de Chile that comply with the different building thermal regulations are defined and, subsequently, the corresponding energy demands for heating are evaluated through energy simulation. By applying the Spanish building thermal regulation, a reduction in energy demand for heating of more than 70% is achieved. This work is a step towards the achievement of sustainable buildings with nearly zero energy consumption with which to obtain a highly energy efficient and decarbonised Chilean residential building stock.

Keywords: Chilean building thermal regulation; Spanish building thermal regulation; sustainable building; nearly zero-energy building; residential sector; Santiago de Chile.

1. Introducción

De acuerdo al estudio Usos de la energía de los Hogares Chile 2018 [1], en 2018, el consumo de energía final fue de 50.763 GWh y, al ser el parque

edificatorio residencial de 6.280.475 viviendas, el consumo de energía final promedio por vivienda fue de 8.083 kWh/año. Atendiendo al vector energético empleado, del consumo de energía final, el 39,6% correspondía a leña, el 31,4% a gas (gas licuado de

petróleo y gas natural), el 25,7% a electricidad, el 2,6% a parafina y el 0,8% a pellets. Además, atendiendo al uso, del consumo de energía final, el 53% se destinaba a calefacción y climatización, el 20% a agua caliente sanitaria y el 4% a iluminación.

En Chile, el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) [2] contiene la Reglamentación Térmica, la cual establece las exigencias de acondicionamiento térmico que deben cumplir las viviendas, en función de la zona térmica donde se ubiquen, y que entró en vigor en 2007. Estas exigencias se centran, principalmente, en los valores máximos de transmitancia térmica que deben cumplir cubiertas, muros, pisos ventilados y ventanas. El 19,7% de las viviendas chilenas fueron construidas de 2008 en adelante [1], por lo que en torno al 20% del parque edificatorio residencial está construido de acuerdo a la OGUC [2]. Además, mientras que el 60,8% de las viviendas cuentan con aislamiento térmico en el techo, sólo el 26,8% cuentan con aislamiento térmico en los muros [1]. Posteriormente, en 2018, mediante los Estándares de Construcción Sustentable (ECS) [3], se establecieron los estándares de eficiencia energética para el diseño y construcción de viviendas, junto con las metas de desempeño energético para la operación de las mismas. Los ECS [3] fijan los requerimientos para que las viviendas operen de forma eficiente, generando el menor impacto ambiental posible, planteando la incorporación de sistemas de climatización, calentamiento de agua e iluminación eficientes, además de sistemas de apoyo en base a energías renovables. Todo ello con el objetivo de contribuir a la reducción tanto de la demanda energética como del consumo energético del sector residencial fomentando el diseño solar pasivo y el uso de equipos energéticamente eficientes, energías renovables, y hábitos de uso eficiente de la energía en las diferentes etapas del proyecto.

De los trabajos de investigación llevados a cabo en Chile, destacan los siguientes: Larrea-Sáez et al. [4] evaluaron el impacto energético y medioambiental del aislamiento térmico de los edificios residenciales en diferentes zonas térmicas y descubrieron que hay que mejorar la normativa térmica actual para reducir el consumo energético en las ciudades en el sur del país. Además, Larrea-Sáez et al. [5] enfatizaron la necesidad de priorizar la mejora de la envolvente térmica de los edificios, seguida por la mejora de los sistemas de calefacción, en ciudades en el centro-sur del país. Finalmente, Flamant et al. [6] estudiaron las posibilidades de rehabilitación de edificios residenciales en Antofagasta, Santiago de Chile, Concepción y Punta Arenas, y descubrieron que mejorando la envolvente térmica de los edificios se pueden lograr ahorros energéticos de hasta el 97%.

Para edificios residenciales en tres países latinoamericanos (Argentina, Brasil y Chile) y en tres países europeos (España, Portugal y Francia), cuyas

envolventes térmicas cumplen los requisitos de sus correspondientes normativas térmicas edificatorias en función de la zona climática donde se ubican, Bienvenido-Huertas et al. [7] descubrieron que las demandas energéticas de calefacción y refrigeración en los tres países europeos son menores que dichas demandas energéticas en los tres países sudamericanos; y que los edificios ubicados en climas similares, pero en diferentes países, presentan muy diferentes rendimientos energéticos.

Por un lado, la Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios 2010 [8] define los edificios de consumo de energía casi nulo como aquellos edificios con un nivel de eficiencia energética muy alto, cuya cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debe estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida la energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en su entorno. Por otro lado, la Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios 2018 [9] busca lograr un parque edificatorio descarbonizado y altamente eficiente desde el punto de vista energético, así como garantizar que con las estrategias de renovación a largo plazo se logre transformar los edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nulo. Las diferentes actualizaciones de la Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios [8,9] fueron transpuestas progresivamente a la legislación nacional española a través de diversas actualizaciones del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE-DB-HE) [10]. La evolución de la implementación de la Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios [8,9] en España fue estudiada y analizada en [11] y [12]. De las exigencias básicas de las que consta el CTE-DB-HE [10], este trabajo se centra en la exigencia relativa a las condiciones para el control de la demanda energética. La implementación de la exigencia relativa a la contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria del CTE-DB-HE [10] en Chile, así como la comparativa con la normativa chilena correspondiente, fue abordada en [13].

El objetivo de este trabajo es evaluar la posibilidad de mejora de los requerimientos de la OGUC [2] y de las recomendaciones de los ECS [3], implementando la exigencia relativa a las condiciones para el control de la demanda energética del CTE-DB-HE [10]. El logro de edificios sustentables con un consumo de energía casi nulo es clave para la obtención de un parque edificatorio residencial chileno altamente eficiente energéticamente y descarbonizado. La principal novedad frente a otros trabajos es la propuesta de mejora de la normativa térmica edificatoria chilena implementando la normativa térmica edificatoria española y realizando la simulación energética de un edificio de estudio. Al tratarse de un trabajo muy ambicioso, este trabajo se centra en los primeros pasos

llevados a cabo para edificios residenciales en Santiago de Chile en lo que respecta a la envolvente térmica del edificio y a la demanda energética de calefacción.

2. Metodología

La metodología seguida en este trabajo es la siguiente:

- a) Selección del edificio residencial de estudio.
- b) Determinación de las equivalencias entre la zona climática española de acuerdo al CTE-DB-HE [10] y las zonas térmicas chilenas de acuerdo a la OGUC [2] y a los ECS [3].
- c) Definición de los diferentes casos de estudio.
- d) Simulación energética de los diferentes casos de estudio.
- e) Evaluación de la posibilidad de mejora tanto de la OGUC [2] como de los ECS [3], implementando el CTE-DB-HE [10].

2.1. Edificio residencial de estudio

El edificio de estudio es un edificio plurifamiliar (Figura 1), compuesto de planta baja y cinco alturas, con una superficie cuadrada de 484,00 m², una altura de cada planta de 3,00 m y una cubierta a cuatro aguas con una altura de 2,00 m. En la planta baja se encuentra el portal y el garaje, y las plantas de 1 a 5 cuentan cada una de ellas con cuatro tipos de vivienda, sumando un área habitable de 2.216,57 m². La envolvente térmica queda delimitada por las plantas de 1 a 5 y el espacio bajo cubierta. Además, el edificio residencial de estudio fue empleado para estudiar y analizar la evolución de la normativa térmica edificatoria española mediante la implementación de la EPBD en [11], [12] y [14].

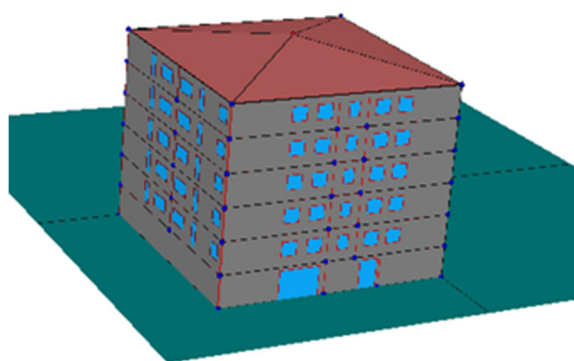


Figura 1. Modelo 3D del edificio residencial de estudio.

2.2. Zonas térmicas chilenas y zona climática española de estudio

El estudio se realiza en la ciudad de Santiago de Chile, a la cual le corresponden la zona térmica 3 de acuerdo a la OGUC [2] y la zona térmica D de acuerdo a los ECS [3]. Los grados-día anuales de calefacción en base

15 °C son entre 751 °C·día y 1.000 °C·día, ambos incluidos [15]. De acuerdo a la norma sobre zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico [16], la zona térmica de Santiago de Chile es considerada una zona de clima mediterráneo con temperaturas templadas, inviernos de 4 a 5 meses, vegetación normal, lluvias y heladas en aumento hacia el sur, insolación intensa en verano especialmente hacia el noreste, oscilación diaria de temperatura moderada, aumentando hacia el este, y viento del suroeste. Además, el clima Köppen-Geiger de Santiago de Chile es Csb [17], un clima mediterráneo de lluvia invernal. En España, Cuenca es la ciudad más homologable a Santiago de Chile, atendiendo a parámetros climáticos y geográficos (clasificación Köppen-Geiger, altitud, distancia al mar, temperatura, grados-día de calefacción, precipitaciones, latitud y radiación) según Sanhueza-Durán et al. [18]. Por ello, dado que Cuenca se encuentra en una zona climática D2 de acuerdo al CTE-DB-HE [10], se puede asimilar que la zona climática de acuerdo al CTE-DB-HE [10] correspondiente a Santiago de Chile es la zona climática D2

2.3. Casos de estudio

En este trabajo se estudian y analizan, para Santiago de Chile, tres casos correspondientes a cada una de las normativas térmicas edificatorias:

- a) Edificio que cumple la OGUC [2].
- b) Edificio que cumple los ECS [3].
- c) Edificio que cumple el CTE-DB-HE [10].

Cada una de las normativas térmicas edificatorias establece las transmitancias térmicas límite que no pueden exceder los diferentes elementos de la envolvente térmica de los edificios en función de la zona térmica o climática donde se ubiquen dichos edificios [2,3,10]. Las transmitancias térmicas límite de los elementos de la envolvente térmica del edificio residencial de estudio que no se pueden exceder, de acuerdo a las diferentes normativas térmicas edificatorias [2,3,10], se presentan en Tablas 1 y 2. Además, el CTE-DB-HE [10] establece unas transmitancias térmicas orientativas para los diferentes elementos de la envolvente térmica de los edificios residenciales, las cuales se presentan en Tabla 2, con las que facilitar el cumplimiento de otros requisitos establecidos por la exigencia relativa a las condiciones para el control de la demanda energética del CTE-DB-HE [10]. Finalmente, las composiciones y principales características de la cubierta, los muros y el forjado de primera planta del edificio residencial de estudio se presentan en Tablas 3-5 y se han basado en las empleadas en [12] y [14].

Tabla 1. Transmitancias térmicas límite, en $W/m^2 \cdot K$, para los diferentes elementos de la envolvente térmica del edificio residencial de estudio de acuerdo a la OGUC [2] y los ECS [3].

Elemento	OGUC	ECS
Cubierta	0,47	0,38
Muros	1,90	0,80
Forjado de primera planta ^(a)	0,70	0,70
Huecos	3,60 ^(b)	3,60 ^(c)

Nota: ^(a) Forjado de primera planta equivale a piso ventilado; ^(b) los huecos emplean doble vidrio hermético y cumplen los porcentajes de superficie vidriada establecidos por la OGUC [2]; y ^(c) los huecos cumplen los porcentajes de superficie vidriada establecidos por los ECS [3].

Tabla 2. Transmitancias térmicas límite (U_{lim}) y orientativas (U_{ori}), en $W/m^2 \cdot K$, para los diferentes elementos de la envolvente térmica del edificio residencial de estudio de acuerdo al CTE-DB-HE [10].

Elemento	U_{lim}	U_{ori}
Cubierta	0,35	0,22
Muros	1,41	0,27
Forjado de primera planta*	0,65	0,48
Huecos	1,80	1,60

Nota: * El forjado de primera planta es un suelo en contacto con espacio no habitable de acuerdo al CTE-DB-HE [10].

2.4. Simulación energética de los casos de estudio

La Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) [19] fue empleada para realizar la simulación energética de los diferentes casos de estudio y poder evaluar la demanda energética de calefacción. HULC [19] ha sido ampliamente utilizada en investigaciones sobre la normativa térmica edificatoria española como en [12] y [14]. Además, se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- La ubicación del edificio residencial de estudio es la ciudad de Cuenca, ciudad española más homologable a Santiago de Chile [18].
- El caudal de ventilación es de 660,00 l/s, cumpliendo la exigencia relativa a calidad del aire interior del Documento Básico de Salubridad del Código Técnico de la Edificación [20].
- Los puentes térmicos son aquellos considerados por defecto por HULC [19].

El procedimiento seguido para la simulación energética mediante HULC [19] llevada a cabo en este trabajo y la obtención de las demandas energéticas de calefacción se basa en los procedimientos seguidos en [18] y [21]. Por un lado, González-Avilés et al. [21] asimilaron el clima Köppen-Geiger Cfb de Pessac

Tabla 3. Composición y principales características de la cubierta del edificio residencial de estudio, basadas en [12] y [14].

Material	Espesor (m)	Conductividad ($W/m \cdot K$)	Densidad (kg/m^3)	Calor específico ($J/kg \cdot K$)	Resistencia térmica ($m^2 \cdot K/W$)
Teja cerámica-porcelana	0,020	1,300	2300	840	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $500 < d < 750$	0,040	0,300	625	1000	
Subcapa fieltro	0,001	0,050	120	1300	
XPS Expandido con dióxido de carbono CO_2 ($0,034 W/m \cdot K$)	*	0,034	38	1000	
Subcapa fieltro	0,001	0,050	120	1300	
Betún fieltro o lámina	0,003	0,230	1100	1000	
Subcapa fieltro	0,001	0,050	120	1300	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $500 < d < 750$	0,020	0,300	625	1000	
Arcilla expandida (árido suelto)	0,100	0,148	538	1000	
Forjado unidireccional entrevigado de hormigón – Canto 300 mm	0,300	1,422	1240	1000	
Cámara de aire sin ventilar horizontal 10 cm					0,180
Placa de yeso laminado (PYL) $750 < d < 900$	0,015	0,250	825	1000	

Nota: * indica que el espesor de aislante térmico es variable. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Composición y principales características de los muros del edificio residencial de estudio basadas en [12] y [14].

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg·K)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 500 < d < 750	0,015	0,300	625	1000	
½ pie ladrillo perforado métrico o catalán 40 mm < G < 60	0,115	0,667	1140	1000	
Mortero de cemento con alta resistencia a filtración	0,015	1,800	625	800	
MW Lana mineral (0,031 W/m·K)	*	0,031	40	1000	
Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 2 cm					0,085
MW Lana mineral (0,031 W/m·K)	*	0,031	40	1000	
Polietileno baja densidad (LDPE)	0,001	0,330	920	2200	
Placa de yeso laminado (PYL) 750 < d < 900	0,015	0,250	825	1000	

Nota: * indica que el espesor de aislante térmico es variable.

Tabla 4. Composición y principales características del forjado de primera planta del edificio residencial de estudio basadas en [12] y [14].

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg·K)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
Plaqueta o baldosa cerámica	0,015	1,000	2000	800	
MW Lana mineral (0,031 W/m·K)	*	0,031	40	1000	
Forjado unidireccional entrevigado de hormigón – Canto 300 mm	0,300	1,422	1240	1000	
MW Lana mineral (0,031 W/m·K)	*	0,031	40	1000	
Placa de yeso laminado (PYL) 750 < d < 900	0,015	0,250	825	1000	

Nota: * indica que el espesor de aislante térmico es variable.

(Francia) a la zona climática C1 de acuerdo al CTE-DB-HE [10], de forma similar a como se hizo en [18]. Además, González-Avilés et al. [21] simularon energéticamente mediante HULC [19] un edificio ubicado en una ciudad no española asimilando su clima a una zona climática española de acuerdo al CTE-DB-HE [10], de forma similar a como se hizo en este trabajo. Por otro lado, Sanhueza-Durán et al. [18] demostraron que se obtienen valores similares de demandas energéticas de calefacción para las diferentes viviendas de un edificio plurifamiliar, tanto en Santiago de Chile como en Cuenca, empleando los procedimientos chileno y español de certificación de eficiencia energética de viviendas y edificios. Por todo ello, las demandas energéticas de calefacción obtenidas mediante HULC [19] quedan validadas.

3. Resultados

En la sección 3.1 se presentan, comparan y analizan las transmitancias térmicas empleadas para cada uno de los casos de estudio, mientras que en la sección 3.2 se presentan, comparan y analizan las demandas energéticas de calefacción obtenidas para cada uno de los casos de estudio

3.1. Transmitancias térmicas

En Tabla 6 se presentan las transmitancias térmicas empleadas, así como el espesor de aislante térmico requerido, para cumplir cada una de las normativas térmicas edificatorias estudiadas [2,3,10] (Tablas 1 y 2).

Tabla 6. Transmitancia térmica (U), en $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, y espesor de aislante térmico requerido (e), en m, para cumplir cada una de las normativas térmicas edificatorias estudiadas [2,3,10].

Elemento	OGUC		ECS		CTE-DB-HE	
	U	e	U	e	U	e
Cubierta	0,47	0,020	0,38	0,036	0,22	0,100
Muros	1,89	0,002*	0,79	0,022	0,27	0,098
Forjado primera planta	0,70	0,030	0,70	0,030	0,48	0,048
Huecos	3,51	-	3,51	-	1,66	-

Nota: * La cámara de aire desaparece y se emplea una única capa de aislante térmico.

Respecto a aplicar la OGUC [2], la transmitancia térmica de cubierta se reduce un 19,15% aplicando los ECS [3], siendo necesario un espesor de aislante térmico adicional de 16 mm, y un 53,19% aplicando el CTE-DB-HE [10], siendo necesario un espesor de aislante térmico adicional de 80 mm (Tabla 6). Respecto a aplicar los ECS [3], la transmitancia térmica de cubierta se reduce un 42,11% aplicando el CTE-DB-HE [10], siendo necesario un espesor de aislante térmico adicional de 64 mm (Tabla 6).

Respecto a aplicar la OGUC [2], la transmitancia térmica de muros se reduce un 58,20% aplicando los ECS [3], siendo necesario un espesor de aislante térmico adicional de 20 mm, y un 85,71% aplicando el CTE-DB-HE [10], siendo necesario un espesor de aislante térmico adicional de 96 mm (Tabla 6). Mientras que aplicando la OGUC [2] sólo se emplea una única capa de aislante, tanto aplicando los ECS [3] como aplicando el CTE-DB-HE [10] se emplean dos capas de aislante, con el mismo espesor, separadas por una cámara de aire, al igual que en [12] y [14] (Tablas 4 y 6). Respecto a aplicar los ECS [3], la transmitancia térmica de muros se reduce un 65,82% aplicando el CTE-DB-HE [10], siendo necesario un espesor de aislante térmico adicional de 76 mm (Tabla 6).

La transmitancia térmica de forjado de primera planta es exactamente la misma tanto aplicando la OGUC [2] como aplicando los ECS [3] (Tabla 6). Respecto a aplicar la OGUC [2] o los ECS [3], la transmitancia térmica de forjado de primera planta se reduce un 31,43% aplicando el CTE-DB-HE [10] siendo necesario un espesor de aislante térmico adicional de 18 mm (Tabla 6).

La transmitancia térmica de huecos es exactamente la misma tanto aplicando la OGUC [2] como aplicando los ECS [3] y se reduce un 52,71% aplicando el CTE-DB-HE [10], respecto a aplicar la OGUC [2] o los ECS [3] (Tabla 6). Aplicando la OGUC [2] y los ECS [3], la composición de los diferentes huecos del edificio residencial de estudio es vidrio doble, con una transmitancia térmica de $3,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y un factor solar (g) de 0,750, y marco metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm, con una transmitancia térmica de $4,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y una absorptividad de 0,70. Además, el 30% del hueco está cubierto por el marco y la permeabilidad al aire es de $27,00 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Mientras que, aplicando el CTE-DB-HE [10], la composición de

los diferentes huecos del edificio residencial de estudio es vidrio doble bajo emisivo, con una transmitancia térmica de $1,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y un factor solar (g) de 0,700, y marco de PVC de 3 cámaras, con una transmitancia térmica de $1,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y una absorptividad de 0,70. Además, el 30% del hueco está cubierto por el marco y la permeabilidad al aire es de $9,00 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$.

3.2. Demanda energética de calefacción

En Figura 2 se presentan las demandas energéticas de calefacción obtenidas mediante HULC [19] para el edificio de estudio cumpliendo cada una de las normativas térmicas edificatorias estudiadas [2,3,10] (Tabla 6).

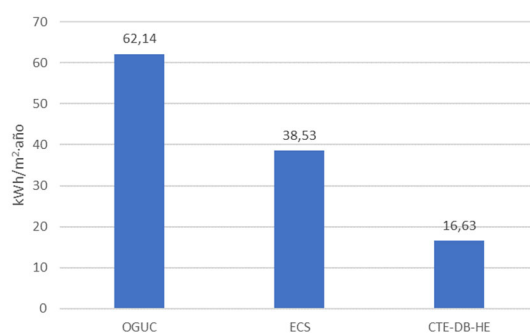


Figura 2. Demandas energéticas de calefacción obtenidas para el edificio de estudio cumpliendo cada una de las normativas térmicas edificatorias estudiadas [2,3,10].

Aplicando la OGUC [2], la demanda energética de calefacción es un 26,89% inferior a la correspondiente a las viviendas en edificios plurifamiliares del parque edificatorio residencial chileno ($85 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$ [22]) (Figura 2).

La demanda energética de calefacción se reduce un 37,99% aplicando los ECS [3] y un 73,24% aplicando el CTE-DB-HE [10], respecto a aplicar la OGUC [2], mientras que se reduce un 56,84% aplicando el CTE-DB-HE [10], respecto a aplicar los ECS [3] (Figura 2). Analizando únicamente las demandas energéticas de calefacción obtenidas y atendiendo al nivel de eficiencia energética proporcionado por la escala de calificación energética de las viviendas [22] y a los ahorros en demanda energética de calefacción obtenidos (Figura 2), se podría asignar una E al edificio

que aplica la OGUC [2] (estándar actual de construcción), una D al edificio que aplica los ECS [3] (eficiencia de buen estándar con aumento moderado de la inversión) y una A al edificio que aplica el CTE-DB-HE [10] (eficiencia de estándar excelente con aumento notorio de la inversión).

4. Conclusiones

Atendiendo a los resultados obtenidos en este trabajo, se podría mejorar la normativa térmica chilena reduciendo las transmitancias térmicas de los diferentes elementos opacos de la envolvente térmica, con lo que se lograría una considerable reducción de la demanda energética de calefacción de los edificios. Aplicando el CTE-DB-HE [10], la demanda energética de calefacción del edificio de estudio se puede reducir más de un 50%, respecto a aplicar los ECS [3], y más de un 70%, respecto a aplicar la OGUC [2]. De esta forma, implementando la normativa térmica edificatoria española, es posible avanzar hacia el logro de edificios chilenos sustentables con un consumo de energía casi nulo para obtener un parque edificatorio residencial altamente eficiente energéticamente y descarbonizado.

En futuros trabajos, por un lado, se podría continuar implementando la exigencia relativa a las condiciones para el control de la demanda energética del CTE-DB-HE [10] en la zona térmica chilena de estudio y en el resto de zonas térmicas chilenas, tanto para edificios residenciales plurifamiliares como unifamiliares; y, por otro lado, se podrían abordar cómo implementar otras exigencias relativas a la limitación del consumo energético o a la generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes renovables del CTE-DB-HE [10] en Chile.

Referencias

- [1] Ministerio de Energía de Chile, In-Data, Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). “Usos de la energía de los Hogares Chile 2018”. 2019. Disponible en: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [2] Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. “Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción”. 2005. Disponible en: https://nuevo.leychile.cl/servicios/Consulta/Exportar?radioExportar=Normas&exportar_formato=pdf&nombrerearchivo=DTO-192_04-ENE-2006&exportar_con_notas_bcn=False&exportar_con_notas_originales=False&exportar_con_notas_al_pie=False&hddResultadoExportar=245882.2006-01-04.0.0%23 (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [3] Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile, Tomo II: Energía”. 2018. Disponible en: <https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/EST%C3%81NDARES-DE-CONSTRUCCI%C3%93N-SUSTENTABLE-PARA-VIVIENDAS-DE-CHILE-TOMO-II-ENERGIA.pdf> (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [4] L. Larrea-Sáez, C. Cuevas, Y. Casas-Ledón. “Energy and environmental assessment of the chilean social housing: Effect of insulation materials and climates”. *Journal of Cleaner Production*, 392, art. no. 136234, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136234.
- [5] L. Larrea-Sáez, E. Muñoz, C. Cuevas, Y. Casas-Ledón. “Optimizing insulation and heating systems for social housing in Chile: Insights for sustainable energy policies”. *Energy*, 290, art. no. 130024, 2024. DOI: 10.1016/j.energy.2023.130024.
- [6] G. Flamant, W. Bustamante, C. Schmitt, V. Bunster, C. Osorio. “Thermal and environmental evaluation of mid-rise social housing retrofit under different climate conditions”. *Journal of Building Engineering*, 46, art. no. 103724, 2022. DOI: 10.1016/j.job.2021.103724.
- [7] D. Bienvenido-Huertas, M. Oliveira, C. Rubio-Bellido, D. Marín. “A Comparative Analysis of the International Regulation of Thermal Properties in Building Envelope”. *Sustainability (Switzerland)*, 11 (20), art. no. 5574, 2019. DOI: 10.3390/su11205574.
- [8] Unión Europea. “Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (versión refundida)”. 2010. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031> (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [9] Unión Europea. “Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (Texto pertinente a efectos del EEE)”. 2010. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844> (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [10] Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana de España. “Documento Básico de Ahorro de Energías del Código Técnico de la Edificación”. 2022. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf> (accedido el 1 de marzo de 2024).

- [11] L.M. López-Ochoa, J. Las-Heras-Casas, P. Olasolo-Alonso, L.M. López-González. “Towards nearly zero-energy buildings in Mediterranean countries: Fifteen years of implementing the Energy Performance of Buildings Directive in Spain (2006–2020)”. *Journal of Building Engineering*, 44, art. no. 102962, 2021. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102962
- [12] L.M. López-Ochoa, J. Las-Heras-Casas, J.M. González-Caballín, M. Carpio. “Towards nearly zero-energy residential buildings in Mediterranean countries: The implementation of the Energy Performance of Buildings Directive 2018 in Spain”. *Energy*, 276, art. no. 127539, 2023. DOI: 10.1016/j.energy.2023.127539.
- [13] L.M. López-Ochoa, K. Verichev, J. Las-Heras-Casas, M. Carpio. “Solar domestic hot water regulation in the Latin American residential sector with the implementation of the Energy Performance of Buildings Directive: The case of Chile”. *Energy*, 188, art. no. 115985, 2019. DOI: 10.1016/j.energy.2019.115985.
- [14] L.M. López-Ochoa, J. Las-Heras-Casas, L.M. López-González, C. García-Lozano. “Environmental and energy impact of the EPBD in residential buildings in cold Mediterranean zones: The case of Spain”. *Energy and Buildings*, 150, pp. 567 - 582, 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.06.023.
- [15] Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. “Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica: Planos de Zonificación Térmica, zonificación de grados día de calefacción a nivel comunal”. 2006. Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-230010_recurso_6.pdf (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [16] Instituto Nacional de Normalización de Chile. “Norma Chilena Oficial NCh1079:2008, Arquitectura y Construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico”. 2008. Disponible en: <https://tipbook.iapp.cl/ak/a871a9028e2d17e03ecbc8b26cef7a6b0b13b5/embed/view/minvu-nch01079-2008-049> (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [17] Ministerio de Bienes Nacionales de Chile, Infraestructura de Datos Geospaciales (IDE) Chile. “Visor de mapas IDE Chile”. Disponible en: <https://www.geoportal.cl/geoportal/map/4> (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [18] F. Sanhueza-Durán, J.M. Gómez-Soberón, C. Valderrama-Ulloa, F. Ossio. “A Comparison of Energy Efficiency Certification in Housing: A Study of the Chilean and Spanish Cases”. *Sustainability (Switzerland)*, 11 (17), art. no. 4771, 2019. DOI: 10.3390/su11174771.
- [19] HULC. “Herramienta Unificada LIDER-CALENER versión 2.0.2412.1173 (fecha de actualización 11 de mayo de 2023)”. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/Programas/HerramientaUnificadaLIDERCALENER.html> (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [20] Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana de España. “Documento Básico de Salubridad del Código Técnico de la Edificación”. 2022. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf> (accedido el 1 de marzo de 2024).
- [21] Á.B. González-Avilés, C. Pérez-Carramiñana, A. Galiano-Garrigós, F. Ibarra-Coves, C. Lozano-Romero. “Analysis of the Energy Efficiency of Le Corbusier’s Dwellings: The Cité Frugès, an Opportunity to Reuse Garden Cities Designed for Healthy and Working Life”. *Sustainability (Switzerland)*, 14 (8), art. no. 4537, 2022. DOI: 10.3390/su14084537.
- [22] Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. “Calificación Energética de Viviendas”. Disponible en: <https://www.calificacionenergetica.cl> (accedido el 1 de marzo de 2024).