

05-024

ATHILEA, A CALCULATION TOOL FOR THE STUDY OF INTERIOR INSULATION SOLUTIONS FOR FAÇADES

Monge Palma, Rafael Antonio ⁽¹⁾; Guerrero Delgado, María del Carmen ⁽¹⁾; Cerezo Narváez, Alberto ⁽²⁾; Sánchez Ramos, José ⁽¹⁾; Álvarez Domínguez, Servando ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Sevilla, ⁽²⁾ Universidad de Cádiz

Renovating a building can be a challenge when the urban, architectural, or constructive conditions do not enable insulation from the outside. Particularly when it involves increasing occupancy, reducing the separation to boundaries and/or invading adjoining party walls. To comply with the regulations and allow buildings to provide adequate levels of comfort and energy demand, the improvement of the thermal envelope will have to be carried out from the inside. This paper presents an Excel[®] VBA tool to assess the impact of façade insulation from the inside on the loss of usable floor area and demand improvement. Based on a catalogue of six buildings representative of the Spanish building stock (three multi-family buildings and three single-family buildings with different compactness, shape and volume), the user can define all the elements of the envelope, as well as the city, climate zone and insulation to be compared, making it possible to quantify the expected cost of floor loss and assess compliance with regulatory requirements in terms of energy savings. In this way, it is possible to make quick and accurate decisions for the deep renovation of a building to the level of nZEB or Passivhaus building, knowing its energy and economic implications.

Keywords: building renovation; insulation solutions; floor loss; energy efficiency; housing retrofitting

ATHILEA, UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO PARA EL ESTUDIO DE SOLUCIONES DE AISLAMIENTO INTERIOR EN FACHADAS

Reformar un edificio puede ser un desafío cuando las condiciones urbanísticas, arquitectónicas o constructivas no permiten aislar desde el exterior. Especialmente, cuando supone aumentar la ocupación, reducir la separación a linderos y/o invadir medianeras colindantes. Para dar cumplimiento a la normativa y permitir que los edificios puedan proporcionar niveles adecuados de confort y demanda energética, la mejora de la envolvente térmica tendrá que ser ejecutada por el interior. Este trabajo presenta una herramienta VBA Excel[®] que permite evaluar el impacto del aislamiento de fachadas por el interior en la pérdida de suelo útil y mejora de demanda. A partir de un catálogo de seis edificios representativos del parque edificatorio español (tres edificios multifamiliares y tres unifamiliares con distinta compactad, forma y volumetría), el usuario puede definir todos los elementos de la envolvente, así como la ciudad, zona climática y aislamiento a comparar, permitiendo cuantificar el coste esperado de la pérdida de suelo y evaluar el cumplimiento de los requisitos normativos en materia de ahorro energético. De este modo, se consigue realizar una rápida y precisa toma de decisiones para la renovación profunda de un edificio hasta alcanzar el nivel de edificio nZEB o Passivhaus, conociendo sus implicaciones energéticas y económicas.

Palabras clave: reforma de edificios; soluciones de aislamiento; pérdida de suelo; eficiencia energética; rehabilitación de viviendas

Agradecimientos: Esta comunicación fue financiada por los proyectos "CONSTANCY - Resilient urbanisation methodologies and natural conditioning using imaginative nature-based solutions and cultural heritage to recover the street life" por el Ministerio de Ciencia y Innovación



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La eficiencia energética en el sector de la construcción sigue siendo un desafío importante, a pesar de que en los últimos años se han refinado de los requisitos para de la envuelta térmica de los edificios para llevar a edificios con un menor consumo de energía sin comprometer el confort de los ocupantes (European Parliament and of the Council, 2018; Ministerio de Fomento, 2019). Sin embargo, la mayoría de los edificios existentes no son eficientes en términos de energía (Commission et al., 2019), especialmente cuando el 85% del stock de edificios de la UE se construyó antes de la primera Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (European Commission, 2020). Considerando esto, la Comisión Europea está realizando un esfuerzo a través del programa "*EU Renovation Wave*" para fomentar la renovación del stock de edificios existentes (European Commission, 2020). No obstante, renovar un edificio, si no es obligatorio por ley, es en la mayoría de los casos una decisión voluntaria.

Las principales motivaciones para renovar un edificio se basan en reducir los costes con la energía y la vulnerabilidad al mercado energético, aumentar el valor de la propiedad y la capacidad de recuperar la inversión (Friege & Chappin, 2014). Pese a ser una decisión voluntaria, los propietarios de los edificios necesitan tener toda la información relevante para su proceso evaluación y decisión. Esta información es más relevante cuando nos enfrentamos a casos de edificios en los que las restricciones urbanas o arquitectónicas obligan a una técnica de aislamiento térmico no invasiva de la fachada. Por ejemplo, la renovación de la fachada por el exterior puede no ser una opción en caso de que algunos parámetros urbanísticos estén agotados (no pudiéndose incrementar la edificabilidad, aumentar la ocupación y/o reducir la separación a linderos) o se trate de una intervención en un edificio de carácter singular o protegido (por su valor histórico, patrimonial, arquitectónico, artístico, cultural o estético). En esos casos, para cumplir con los requisitos del valor mínimo de transmitancia de muros exteriores, se producirá una pérdida de superficie útil.

Los estudios de renovación de la envolvente térmica de los edificios se centran en encontrar la solución óptima en cuanto a costes (Fernandes et al., 2021), pero no se considera el impacto en la posibilidad de perder superficie útil (Bastante-Ceca et al., 2019). Este trabajo presenta una herramienta de desarrollo VBA de MS Excel para evaluar el impacto de aplicar un sistema de aislamiento interno en la superficie útil y la demanda energética. Esta herramienta fue desarrollada con expertos y distribuidores de la industria, para proporcionar decisiones rápidas y precisas para la renovación profunda de edificios hasta el nivel nZEB (Ministerio de Fomento, 2019) o Passivhaus Standard (Feist et al., 2007).

3. Metodología

Aplicar aislamiento en la superficie interior de una fachada conducirá a una mejora de la envuelta térmica, pero el impacto de cada material aislante será distinto en la pérdida de superficie útil. Allá de eso será también necesario caracterizar la demanda del edificio para comprender el impacto de la mejora de la envuelta térmica. Para estimar la demanda energética de un edificio se pueden seguir dos caminos: procedimiento detallado y procedimiento simplificado. Aunque un método detallado basado en la simulación dinámica del edificio produce estimaciones más precisas de la demanda energética, lo cierto es que es un método que consume tiempo y requiere un alto nivel de experiencia al usuario. Por lo tanto, en este trabajo se considera el método simplificado propuesto por Sánchez Ramos et al. (2019) para calcular la demanda energética, debido a su simplicidad y fácil integración en un entorno de desarrollo VBA de MS Excel, sin comprometer la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos.

Sin embargo, el procedimiento simplificado requiere una definición de los coeficientes de ajuste que depende de la zona climática y de la geometría del edificio. Para superar esa limitación, se usa un catálogo de 6 edificios de referencia del parque definido por la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo (Directorate for Architecture Housing and Planning - Ministry of Development of Spain, 2013; Directorate for Architecture Housing and Planning - Ministry of Development of Spain., 2018), compilados en la Tabla 1. Los coeficientes de ajuste fueron definidos utilizando HULC, la herramienta oficial de certificación energética de edificios (Resolución Conjunta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, (2020)), para las zonas climáticas de España peninsular.

Tabla 1: Características geométricas de los edificios de referencia.

Tipología	N _p	N _v	A _{muros} ^(a) (m ²)	S _a ^(b) (%)	A _{cub} (m ²)	A _{suelo} (m ²)	A _{acond} (m ² /viv.)	H _p (m)	V/A (m)	
Mult, Aislado	6	18	(N)	403,0	18,1	279,1	279,1	85,3	2,3	2,0
			(E)	275,9	9,4					
			(S)	403,0	16,5					
			(W)	275,9	13,3					
Mult, Entre medianeras	6	13	(N)	302,6	22,6	214,5	163,8	89,6	2,6	3,3
			(E)	-	-					
			(S)	302,6	33,6					
			(W)	-	-					
Mult, Manzana	5	67	(N)	556,4	23,7	1.221,3	1.221,3	71,3	2,7	3,5
			(E)	567,4	23,6					
			(S)	556,6	23,7					
			(W)	566,8	23,3					
Unif, Aislado	2	1	(N)	44,8	7,0	61,6	47,8	102,3	2,4	0,9
			(E)	39,7	16,1					
			(S)	45,0	8,7					
			(W)	39,8	19,5					
Unif, Entre medianeras	2	1	(N)	33,0	19,1	53,0	57,0	99,8	2,7	1,2
			(E)	3,0	-					
			(S)	33,0	34,3					
			(W)	-	-					
Unif, Pareada	2	1	(N)	3,0	-	53,0	57,0	99,8	2,7	1,5
			(E)	33,0	34,3					
			(S)	55,5	5,1					
			(W)	33,0	19,1					

^(a) área de fachada por orientación, donde (N), (E), (S) y (W) representan las orientaciones Norte, Este, Sur y Oeste,

^(b) metro cuadrado de superficie acristalada por metro cuadrado de superficie de muro,

N_p – nº de plantas; N_v – nº de viviendas; A_{muros} – Área de muros; S_a – superficie acristalada; A_{cub} – área de cubierta; A_{suelos} – área de suelos; A_{acond} – área de superficie acondicionada; H_p – altura media de la planta; V/A – compactidad,

Durante el desarrollo de esta herramienta, el objetivo principal fue crear una interfaz comprensible y fácil de usar por usuarios no expertos en simulación dinámica. La herramienta no necesita de acceder a base de datos externas. Esta incluye base de datos meteorológicas dual, donde se integran los doce climas de referencia del Código Técnico de la Edificación (CTE) para la península ibérica y los climas de cada capital provincial. Adicionalmente, los datos relativos al coste con la energía y sus factores de paso, así como, los valores que definen la envuelta térmica del edificio tienen valores predefinidos para que el usuario tenga un punto de comparación. Los valores de referencia fueron definidos teniendo en cuenta las calidades constructivas recomendadas en el Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2022) y los costes verificados con la energía en el año 2022.

La Figura 1 resume los pasos y los datos de entrada necesarios. En el paso de selección del edificio, el usuario puede acceder a las características geométricas de los edificios de referencia presionando un botón de ayuda. La herramienta permite comparar un aislante de baja conductividad térmica (0.018-0.020 W/m·K) frente a las soluciones de aislamiento tradicionales (lana de roca y XPS), u otro aislante que el usuario pretenda. En cada paso es verificada la integridad de los datos insertados, así como, si la envuelta térmica definida permite cumplir los requisitos del CTE. Los datos referentes al coste del material y de la vivienda serán definidos por el usuario, no estando disponibles datos de referencia por su gran variabilidad y dependencia de cada caso de estudio. Esta herramienta permite al usuario verificar cuál será el impacto en la demanda y superficie interior útil perdida en el edificio de referencia que mejor representa su caso.

Figura 1: Interfaz del usuarios y pasos para realizar una simulación.

STEP 1: DATABASE

Insulators thermal conductivity

Insulation material	Solstice	Mineral Fibre	XPS	Other 1	Other 2
thermal conductivity W/m·K	0.018	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	press to insert a value	press to insert a value

Energy and CO₂ Emissions cost, and conversion factors

vector energético	energy cost €/kWh	CO ₂ emissions cost €/ton	CO ₂ emissions conversion factor kg/kWh	primary energy conversion factor kWh _g /kWh _n Total	Non-renewable
Electricity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Natural Gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

STEP 2: CLIMATE AND BUILDING

Climate

City	Climate Zone
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Building

Building use	Building type
Select use...	<input type="text"/>

Building Elements

Avg. Roof U-value (W/m ² ·K)	Avg. Floor U-value (W/m ² ·K)	Avg. Window U-value (W/m ² ·K)	Windows g-value, winter season (-)	Windows g-value, summer season (-)	Thermal Bridges ΔU-value (W/m ² ·K)	Conditions
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>

Air Leakage Rate n₅₀ (h⁻¹)

Summer Night Ventilation Rate (h ⁻¹)	Conditions
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>

STEP 3: COMPARISON SCENARIO

Select insulation materials

Insulation material	conductivity W/m·K	option
Solstice	0.018	<input type="radio"/>
Mineral Fibre	0.035	<input type="radio"/>
XPS	0.032	<input type="radio"/>
Other 1	0.048	<input type="radio"/>
Other 2	0.037	<input type="radio"/>

Comparison value

Thermal Resistance (m²·K/W)

Nota

Economical Data

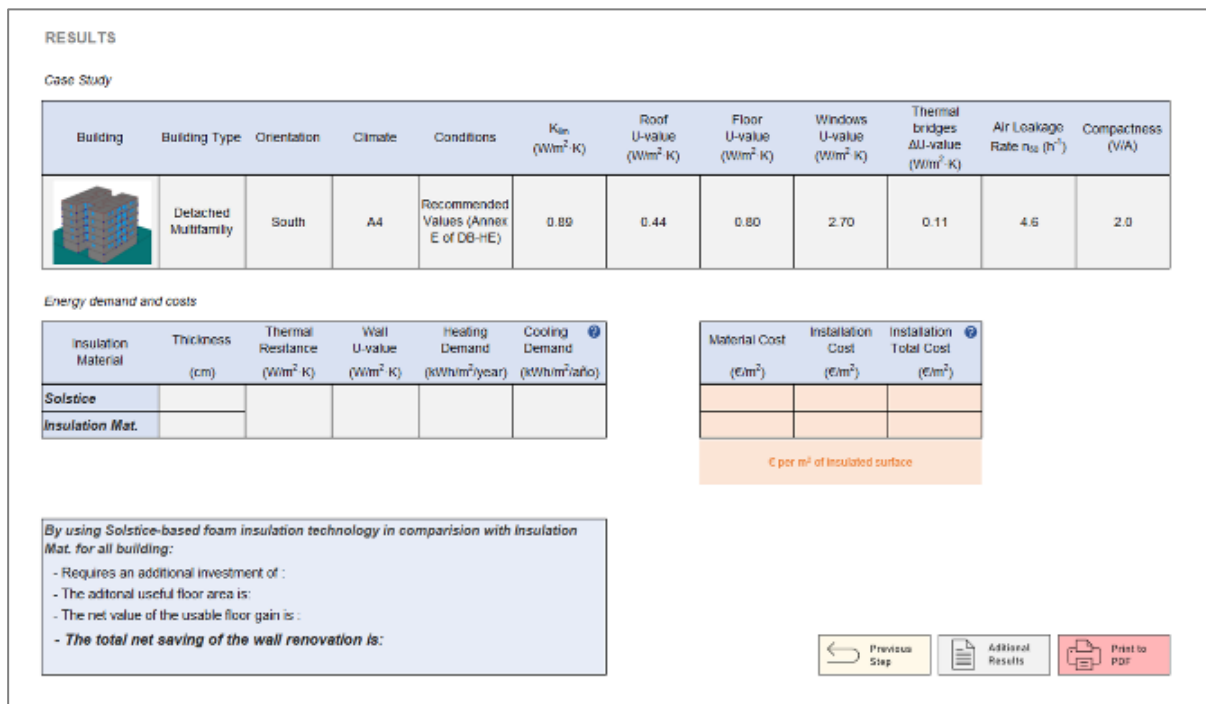
Insulation Material	Material Cost (€/m ²)	Installation Cost (€/m ²)
Solstice	<input type="text"/>	<input type="text"/>
XPS	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Useful floor market val. (€/m²)

3. Resultados

La Figura 2 presenta la interfaz de resultados de la herramienta, donde el usuario puede tener una visión general de la envuelta térmica del edificio, la demanda energética y los costes de cada sistema de aislamiento. Además, se muestra el espacio neto ahorrado y los ahorros económicos potenciales que pueden lograrse.

Figura 2. Interfaz del informe de resultados.



La Figura 3 presenta dos casos evaluados por la herramienta para todas las zonas de invierno de España, consistiendo en una comparación entre un sistema de aislamiento interior de muros basado en lana mineral con otro basado en un aislante de baja conductividad (Solstice, i.e., PIR HFO). Esta figura permite evaluar cómo la diferencia de coste se ve influenciada por el valor de la propiedad y el impacto de considerar la pérdida de área útil en el coste total de la renovación.

Al considerar la pérdida de suelo, resulta que el valor de la propiedad tiene un impacto en la definición de la elección del sistema de aislamiento. Teniendo en cuenta los valores destacados en la figura, tenemos que la vivienda unifamiliar pareada presenta un potencial de ahorro que varía entre 16,60 y 34,90 €/m² atendiendo a la zona climática de invierno, mientras que la vivienda multifamiliar tiene un menor rango de variación (de 5,10 a 10,90 €/m²). Por ello, se espera un potencial de ahorro menor para los edificios multifamiliares, debido a su mayor compactidad.

Desde una perspectiva del potencial de ahorro de espacio, la Figura 4 muestra que una vivienda unifamiliar pareada puede ahorrar hasta un 5,5% del área de superficie útil mediante el uso de un aislante de baja conductividad térmica en lugar de una solución convencional. Además, se puede verificar que el ahorro de 5,5% en espacio puede corresponder a casi 11.000,00 € en valor de la propiedad conservado, considerando que la superficie útil tiene un valor de 1.922,00 €/m².

Figura 3. Comparación de un aislante de baja conductividad térmica y un panel de fibra mineral para una vivienda unifamiliar pareada (arriba) y un edificio multifamiliar manzana (abajo) para todas las zonas de invierno.

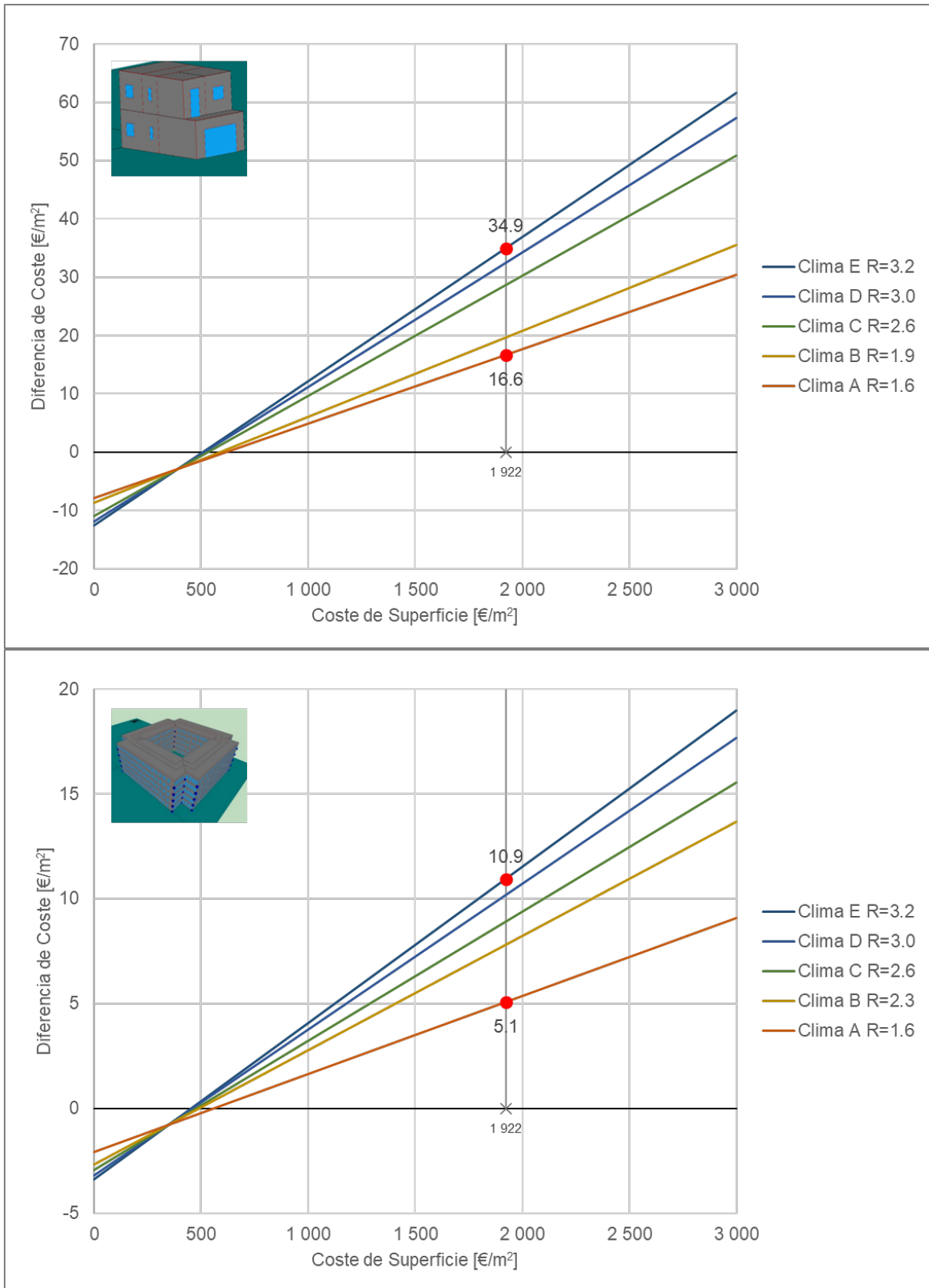
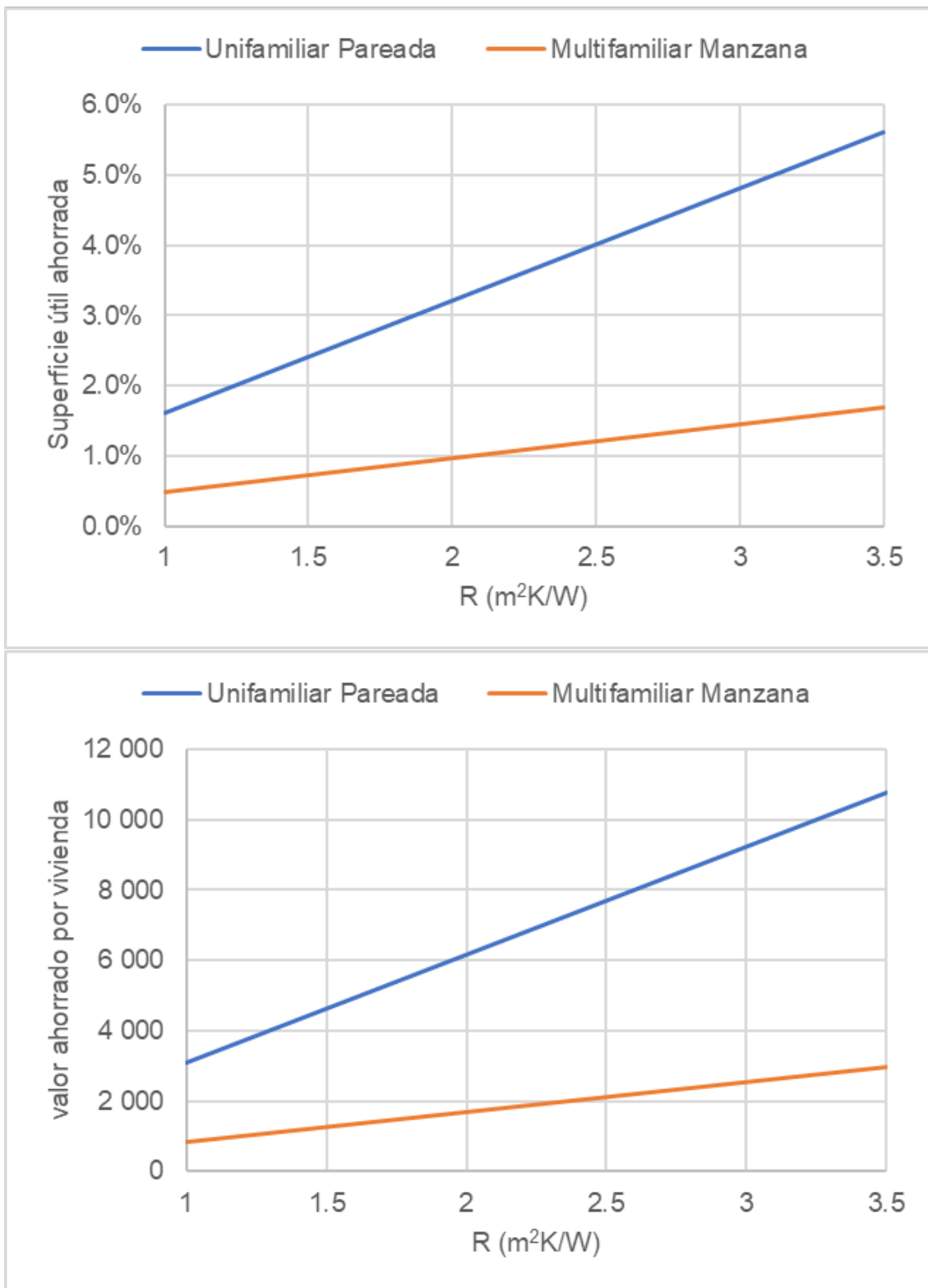


Figura 4. Aislante de baja conductividad térmica frente a la lana mineral: ejemplo de ahorro potencial de superficie útil (arriba) y de valor de la propiedad ahorrado (abajo).



Nota: se destaca el valor medio de la propiedad de 1 922€/m² para España (idealista/data, 2023).

4. Conclusiones

La eficiencia energética edificatoria sigue siendo un desafío a pesar de los avances en los requisitos de envolvente térmica. La mayoría de los edificios existentes no son energéticamente eficientes, especialmente considerando que el 85% de ellos en la UE se construyeron antes de la primera Directiva de Eficiencia Energética. Por ello, la Comisión Europea está impulsando el programa "EU Renovation Wave" para fomentar la renovación de edificios existentes, pero la decisión de renovar suele ser voluntaria. Las motivaciones para la renovación incluyen la reducción de costes energéticos, la disminución de la vulnerabilidad al mercado energético, el aumento del valor de la propiedad y la recuperación de la inversión. La información relevante es crucial en el proceso de toma de decisiones, especialmente en edificios con restricciones urbanísticas o arquitectónicas. En tales casos, la renovación de la fachada puede no ser una opción y se puede producir una pérdida de superficie útil. Los estudios existentes se enfocan en encontrar soluciones óptimas en cuanto a costes, pero no consideran el impacto de la pérdida de superficie útil.

Este trabajo presenta una herramienta en MS Excel para evaluar el impacto del aislamiento interno en la superficie útil y la demanda energética, desarrollada con expertos y distribuidores de la industria. La herramienta utiliza un método simplificado para calcular la demanda energética, fácil de integrar en un entorno de desarrollo VBA, para lo que emplea un catálogo de 6 edificios de referencia. A partir de una interfaz comprensible y fácil de usar para usuarios no expertos en simulación dinámica, la herramienta permite comparar diferentes soluciones de aislamiento y verificar el impacto en la demanda y la superficie interior útil perdida.

Los resultados muestran que el valor de la propiedad y la consideración de la pérdida de área útil influyen en la elección del sistema de aislamiento. El ahorro potencial varía según el tipo de vivienda y la zona climática. Al utilizar un aislante de baja conductividad térmica en lugar de una solución convencional, una vivienda unifamiliar pareada puede ahorrar hasta un 5,5% del área de superficie útil, lo que puede equivaler a un ahorro de hasta 11.000 € en valor de propiedad. Por tanto, aplicar aislamiento en el interior de una fachada representa un efecto no despreciable en la pérdida de área útil del suelo, especialmente en climas fríos. La herramienta desarrollada ayuda a los proyectistas a estimar este impacto y la demanda energética esperada del edificio renovado, así como el cumplimiento del código de construcción. La aplicación Athilea es gratuita y está disponible en este [enlace](#).

5. Referencias

- Bastante-Ceca, M.J., Cerezo-Narváez, A., Piñero-Vilela, J.M. & Pastor-Fernández, A. (2019). Determination of the Insulation Solution that Leads to Lower CO2 Emissions during the Construction Phase of a Building. *Energies*, 12(12), 2400. <https://doi.org/10.3390/en12122400>.
- Commission, E., Centre, J. R., Filippidou, F., & Jimenez Navarro, J. (2019). *Achieving the cost-effective energy transformation of Europe's buildings: combinations of insulation and heating & cooling technologies renovations: methods and data*. Publications Office. <https://doi.org/10.2760/278207>.
- Directorate for Architecture Housing and Planning - Ministry of Development of Spain. (2013). *Report on cost optimal calculations and comparison with the current and future energy performance requirements of buildings in Spain*. Ministry of Development of Spain.
- Directorate for Architecture Housing and Planning - Ministry of Development of Spain. (2018). *Report on cost optimal calculations and comparison with the current and future energy performance requirements of buildings in Spain*. Ministry of Development of Spain.

- European Commission. (2020). A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. COM(2020) 662 final. In *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. Official Journal of the European Union.
- European Parliament and of the Council. (2018). Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency . In *European Union*. Official Journal of the European Union.
- Feist, Wolfgang, Pfluger, Rainer, Kaufmann, Berthold, Schnieders, Jürgen, & Kah, Oliver. (2007). *Passive House Planning Package 2007. Specifications for Quality Approved Passive Houses*. Passive House Institute: Darmstadt (Germany).
- Fernandes, J., Santos, M. C., & Castro, R. (2021). Introductory Review of Energy Efficiency in Buildings Retrofits. *Energies*, 14(23), 8100. <https://doi.org/10.3390/en14238100>.
- Friege, J., & Chappin, E. (2014). Modelling decisions on energy-efficient renovations: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.091>.
- idealista/data. (2023, January). *Evolución del precio de la vivienda en venta en España*. Idealista Informe de Precios. <https://www.idealista.com/sala-de-prensa/informes-precio-vivienda/>
- Ministerio de Fomento. (2019). Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. *Boletín Oficial Del Estado*, 311, 140488–140674.
- Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana. (2022). DB-HE - Documento Básico Ahorro de Energía. In *Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, & Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios*.
- Sánchez Ramos, J., Guerrero Delgado, Mc., Álvarez Domínguez, S., Molina Félix, J. L., Sánchez de la Flor, F. J., & Tenorio Ríos, J. A. (2019). Systematic Simplified Simulation Methodology for Deep Energy Retrofitting Towards Nze Targets Using Life Cycle Energy Assessment. *Energies*, 12(16), 3038. <https://doi.org/10.3390/en12163038>.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

