



« Análisis comparativo de materiales aislantes térmicos convencionales y no convencionales para la construcción

Comparative analysis of conventional and unconventional thermal insulation materials for building construction

MAIRA AYLÉN TERRAZA

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía-CONICET, Argentina
mterraza@mendoza-conicet.gov.ar

AYELÉN VILLALBA

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía-CONICET, Argentina
nalchapar@mendoza-conicet.gov.ar

NOELIA ALCHAPAR

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía-CONICET, Argentina
avillalba@mendoza-conicet.gov.ar

RESUMEN Actualmente se busca minimizar el impacto ambiental de la industria de la construcción generado por el uso de materias primas no renovables y los altos consumos energéticos que implica su producción. La principal estrategia para mejorar el rendimiento energético de las construcciones es a través del uso eficiente del aislamiento térmico. Este estudio ofrece una revisión de los materiales aislantes térmicos resistentes disponibles considerando sus propiedades térmicas y físicas, precios y presentaciones. Los materiales se clasificaron según su origen, estructura conformativa y su difusión en el parque edilicio (convencionales, no convencionales). El análisis revela que, en términos de conductividad térmica, los materiales de origen sintético muestran valores más bajos, mientras que los naturales, especialmente los no convencionales, destacados por sus prestaciones ambientales presentan comportamientos térmicos comparables a los de uso convencional. Además, se evalúa la relación entre precio y eficiencia térmica, identificando materiales convencionales y no convencionales con buena relación precio-calidad.

PALABRAS CLAVE clasificación de materiales, aislamiento térmico tecnologías tradicionales, materiales no convencionales, eficiencia térmica

ABSTRACT Nowadays, efforts are underway to minimize the negative environmental impact of the construction industry, which results from the use of non-renewable raw materials and the high energy consumption associated with their production. The primary strategy to enhance the energy performance of buildings involves the efficient use of thermal insulation. This study provides a review of resistive thermal insulation materials, considering their thermal and physical properties, prices, and presentations. To analyze these materials, they are classified based on their origin, structure, and relevance in the building envelope (conventional, unconventional). The analysis reveals that synthetic materials exhibit lower thermal conductivity values than natural materials. However, some unconventional materials, known for their environmental benefits, demonstrate thermal performance comparable to that of conventional ones. Additionally, the relationship between price and thermal efficiency is assessed, identifying both conventional and unconventional materials with a favorable price-performance ratio.

KEYWORDS classification of materials, unconventional building materials, traditional technologies, thermal insulation, thermal efficiency

Recibido: 21/08/2024
Revisado: 07/04/2025
Aceptado: 16/04/2025
Publicado: 29/07/2025



Cómo citar este artículo/How to cite this article: Terraza, M., Villalba, A. y Alchapar, N. (2025). Análisis comparativo de materiales aislantes térmicos convencionales y no convencionales para la construcción. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 14(28), 38-51. <https://doi.org/10.18537/est.v014.n028.a03>

1. Introducción

En los últimos años se ha incrementado el número de políticas públicas que solicitan como parte de las acciones necesarias de adaptación al cambio climático en ambientes urbanos la innovación en tecnologías constructivas, a fin de evitar incrementos de temperatura, emisión de gases de efecto invernadero y que favorezcan la transición energética (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2020; Organización de las Naciones Unidas, 2018). En efecto, la construcción tradicional participa en la degradación del ambiente porque gran parte de sus materias primas las obtiene de fuentes no renovables y, además, necesita sustanciales aportes energéticos para su producción y transporte. (Ajabli et al, 2023)

El sector de la construcción en general consume una gran cantidad de energía para proporcionar confort térmico. Se puede reducir este consumo mediante estrategias adecuadas y efectivas de aislamiento (Aditya et al, 2017; Asdrubali et al., 2015). La inclusión del aislamiento térmico es de fundamental importancia para mejorar el desempeño energético de las construcciones durante la etapa de uso ya que se ha evidenciado que un diseño adecuado de la aislación térmica en los edificios disminuye hasta en un 35% el consumo energético (Alchapar y Correa, 2015; Sadineni et al., 2011) de esta manera se requiere menos energía para enfriar los espacios en verano y menos calor para mantener las viviendas cálidas en invierno.

Los materiales aislantes de mayor uso, como lana de vidrio, lana de roca, poliestireno expandido y poliuretano, son eficientes desde el punto de vista termo-acústico, pero su producción supone una importante fuente de contaminación a la atmósfera (Ajabli et al., 2023; Albir Ribera et al., 2021; Paris Oriol, 2014). En cambio, el uso de materiales de fuentes renovables localmente disponibles se destaca por su ciclo de vida de bajo consumo de carbono. Además, la energía requerida para fabricar materiales de aislamiento orgánicos es menor que la de los materiales de aislamiento tradicionales (Aditya et al., 2017; Conforme-Zambrano y Castro-Mero, 2020).

En contraste, la tendencia actual se orienta hacia el desarrollo de propuestas de aislamiento térmico con enfoque sustentable, algunas alternativas se basan en el reciclaje de residuos y otras en utilizar y aprovechar materiales de origen natural como las fibras de algodón y de cáñamo, aportando valor a residuos de la industria agrícola. Sumado a esto, durante la última década ha emergido una tendencia hacia el desarrollo de tecnologías de biofabricación (Feijóo-Vivas et al., 2021; Girometta et al., 2019; Jones et al., 2020), lo que implica la utilización de microorganismos vivos ya sea como materia prima o durante el proceso de fabricación. Un ejemplo de esto es el empleo de diversas especies de hongos que se alimentan de desechos orgánicos, utilizando el micelio resultante como material inerte luego de una etapa de postprocesado. Esto proporciona una innovadora alternativa para procesar las fibras naturales mediante el metabolismo propio

de los hongos. Estos materiales basados en micelio se obtienen mediante un proceso de fabricación natural de bajo consumo energético. En lugar de generar emisiones de carbono, este proceso captura carbono lo cual constituye una de las principales ventajas de este tipo de materiales (Jones et al, 2020).

Los materiales de origen natural presentan como ventaja que pueden absorber y liberar humedad y reducir los niveles de ruido, además de requerir menos energía para su fabricación y emitir menos gases que contribuyen al efecto invernadero, generando un bajo impacto en las emisiones de carbono. Algunos materiales de aislamiento respetuosos con el medio ambiente son reciclables o biodegradables, lo que reduce la generación de residuos y aumenta la posibilidad de reutilización en diversos contextos, además la energía requerida para fabricar materiales aislantes orgánicos es menor que la de los materiales aislantes tradicionales. Además de lo mencionado, los materiales de aislamiento no convencionales contribuyen a la reducción del consumo de recursos fósiles y a la mitigación de problemas asociados con la disposición final, como la incineración a cielo abierto (Aditya et al., 2017; Ajabli et al., 2023; Asdrubali et al., 2015; Intini et al. 2011), lo que supone una gran ventaja frente a los materiales de uso convencional.

En este marco, el objetivo general del estudio es recopilar y analizar las propiedades de los materiales aislantes térmicos disponibles en el mercado de la construcción. La finalidad principal es comparar el comportamiento térmico de los materiales convencionales y no convencionales. Para avanzar sobre este análisis se llevaron a cabo las siguientes etapas: (i) selección de las propiedades térmicas evaluadas; (ii) relevamiento y recopilación de la información obtenida, (iii) evaluación de precios y presentaciones comerciales; (iv) análisis comparativo del desempeño térmico de los materiales convencionales y no convencionales.

2. Métodos

En primera instancia, se definieron las propiedades y características de los materiales aislantes que determinan su rendimiento termo-energético. Luego, se relevaron catálogos de diversas marcas comerciales y documentos bibliográficos que presentan tecnologías innovadoras para obtener datos de las diferentes presentaciones, prestaciones y costos. Las marcas comerciales de los aislantes tradicionales que se analizaron son las de mayor disponibilidad en el mercado nacional (Argentina) mientras que la información de materiales no convencionales fue relevada de bibliografía internacional.

Para efectuar la búsqueda bibliográfica se formularon términos de búsqueda inequívocos para hacer operativas las preguntas de la investigación. En esta misma etapa se definieron los criterios de inclusión y

exclusión de los estudios considerados. El principal criterio de inclusión fue que se dispusiera de los datos de conductividad, espesor y densidad del material. Otros indicadores de comportamiento térmico, como la transmitancia térmica, si no se encontraban disponibles en los catálogos fueron calculados a partir de las propiedades físicas de los materiales. Como criterio de exclusión se estableció que no se incluirían en el análisis aquellos materiales aislantes que no estuvieran específicamente desarrollados para la industria de la construcción. La búsqueda bibliográfica incluyó literatura académica y bibliografía gris, la cual engloba informes técnicos y catálogos de empresas fabricantes y comerciantes de aislantes. Se utilizaron en los motores de búsqueda palabras claves en inglés y en español y operadores booleanos de búsqueda. Finalmente, se efectuaron distintos análisis estadísticos descriptivos que permitieron avanzar en la evaluación comparativa de los materiales.

Los materiales aislantes térmicos pueden clasificarse de acuerdo a los mecanismos de transmisión de la energía en: aislamiento resistivo (materiales con baja capacidad de conducción de calor), materiales radiativos (que poseen alta capacidad para reflejar la radiación solar incidente) (Alchapar y Correa, 2020; Baruch Givoni, 1994) y capacitivo (dados por su alta inercia térmica). Este trabajo se enfoca en los materiales del primer grupo debido a que son la estrategia de mayor uso y eficiencia en el balance anual (Alchapar, 2015).

Los gases, como el aire, son los mejores aislantes térmicos, específicamente si se logra reducir los movimientos convectivos ubicándolos en compartimentos estancos dentro de un material. Mientras más reducidos, numerosos y herméticos sean estos compartimientos de aire, mayor será la capacidad de aislación. De acuerdo con normas internacionales, se consideran aislantes resistivos los productos constructivos que tienen una conductividad térmica inferior a $0,06 \text{ W/mK}$ y una resistencia térmica superior a $0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ (en este último parámetro se considera el espesor del material) (Ordoñez García, 2016).

En este estudio los aislantes resistivos fueron clasificados según su origen en materiales sintéticos, naturales y compuestos. Los materiales sintéticos son todos aquellos que derivan de sustancias naturales mediante una transformación química o bien han sido obtenidos artificialmente, partiendo de recursos naturales como el petróleo. Dentro de los naturales se consideraron los de origen mineral (lana de roca, lana de vidrio) vegetal (celulosa, algodón, corcho, madera, cáñamo, animal y recientes experimentaciones con el reino fungi. Finalmente, en los compuestos se agruparon aquellos que combinan materiales sintéticos con fibras naturales con el fin de mejorar sus propiedades térmicas (Asdrubali et al., 2015).

Además del origen, para avanzar sobre el análisis, los materiales aislantes se clasificaron de acuerdo a los siguientes criterios:

- Según su estructura conformativa se clasificaron en lanas, fibras y espumas. En este último se incluyen los biocompuestos de micelio, ya que debido a la estructura que generan las hifas en la colonización del sustrato y su potencial como reemplazo a las espumas sintéticas, como el poliuretano y el poliestireno expandido. A estos materiales se les denomina "bioespumas" o "espumas a base de micelio" (MBF por sus siglas en inglés) (Feijóo-Vivas et al., 2021; Bruscatto et al., 2019; Haneef et al., 2017; Zeller y Zocher, 2012).
- Según su densidad se establecieron tres clasificaciones: baja (desde $7,5$ hasta $33,57 \text{ kg/m}^3$), media (desde $33,58$ hasta $59,64 \text{ kg/m}^3$) y alta (desde $59,65$ hasta 190 kg/m^3).
- Según el formato de presentación se definieron las categorías: rollo, panel y distribución a granel.
- Según su grado de difusión en el mercado de la construcción: convencionales y no convencionales. Se considera materiales convencionales a los de mayor difusión en el parque edilicio, estos son el poliestireno expandido (EPS), poliestireno extruido (XPS), las lanas minerales (lana de roca y lana de vidrio) y el poliuretano (Aditya et al., 2017; Papadopoulos, 2005).

A continuación, se definen las propiedades térmicas que se analizarán de acuerdo a lo propuesto por (Cuitiño-Rosales et al., 2019).

Propiedades térmicas referidas al material:

- Densidad (ρ): es la relación entre la masa y la unidad de volumen y se expresa en kg/m^3 . Si bien la densidad no es una propiedad térmica propiamente dicha, es necesario considerarla en este análisis debido a que tiene un impacto fundamental en los mecanismos de conducción del calor. La densidad afecta el desempeño térmico y

mecánico de los materiales; esta influye en otras propiedades como por ejemplo la conductividad térmica (Cortés-Cely, 2015; Cuitiño-Rosales et al., 2019).

- Conductividad térmica (k): es una propiedad intrínseca de los materiales, es la capacidad que posee un material para conducir calor a través de su estructura interna y se expresa en W/mK . Los materiales que poseen valores de conductividad menor a $0,05 W/mK$ son considerados apropiados para la aislación térmica (Asdrubali et al., 2015; Cortés-Cely, 2015).

Propiedades térmicas referidas al elemento:

- Resistencia térmica (R): es una característica propia de las capas de material de los elementos constructivos, indica la capacidad de oponerse a un flujo de calor. Es el cociente entre el espesor y la conductividad térmica del material. Se expresa en m^2K/W y cuanto mayor sea este valor, mayor capacidad aislante tendrá el material (Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM], 2002).
- Conductancia térmica (C): propiedad física que indica el flujo de calor transmitido a través de un elemento o capa del material por unidad de superficie, cuando la diferencia de temperatura entre dos caras es unitaria. Se expresa en W/m^2K (IRAM, 2002).

3. Resultados

3.1. Análisis general

En la Tabla 1 se exponen los materiales analizados de diferentes marcas comerciales y grupos de investigación, sus características generales y propiedades térmicas.

La conductividad (k) tiene una media de $0,04 W/mK$, por lo que en promedio se encuentran por debajo del valor máximo de $0,06 W/mK$ aceptado por la bibliografía (IRAM, 2002; Ordoñez García, 2016) para ser considerados aislantes eficientes. Del total de los materiales analizados el 90% se ubica por debajo de este valor. Esta variable se presenta en un rango de valores entre $0,02$ y $0,08 W/mK$.

La mayor variabilidad en las propiedades térmicas se detecta en la conductancia (Tabla 1), principalmente debido a la variación del espesor de comercialización de los materiales (C.V.: 66,27%). Los datos de densidad también poseen un alto coeficiente de variación (C.V.) (72,94%), esto se debe a que se decidió incluir en el relevamiento una amplia variedad de presentaciones comerciales, incluso presentaciones de diferentes densidades, pero de las mismas marcas, para evaluar su impacto en el comportamiento térmico. En cuanto al precio se observa que es el parámetro que posee mayor C.V. con más del 150%, lo cual es esperable debido a la diversidad de presentaciones y los diferentes tipos de materiales y fabricantes incluidos En el relevamiento. El análisis de esta variable implicó una reducción de la muestra debido a la inclusión de materiales obtenidos de bibliografía y, relevamiento. El análisis de esta variable implicó una reducción de la muestra debido a la inclusión de materiales obtenidos de bibliografía y, sumado a esto, algunas marcas comerciales no brindaban información de sus precios. La media del precio supera los 30 dólares por m^2 .

3.2. Comportamiento térmico según el origen

Al contrastar los comportamientos térmicos de los materiales clasificados de acuerdo a su origen, se observa que los sintéticos son los que presentan valores más bajos de conductividad ($0,02 W/mK$), específicamente, el poliuretano es el material que presenta mejor comportamiento térmico (Figura 1). Sin embargo, en la Tabla 2 se puede observar que la media de los valores de conductividad es la misma para los materiales de los tres orígenes mencionados ($0,04 W/mK$).

Los materiales sintéticos son los que registran el rango más amplio de conductividad térmica en este estudio (entre $0,02$ y $0,07 W/mK$). Este grupo comprende espumas poliméricas, como el EPS (poliestireno expandido), XPS (poliestireno extruido) y el poliuretano. Además, se incluyen en esta categoría paneles fabricados con materiales reciclados disponibles en el mercado, como la lana de poliéster y el tereftalato de polietileno (PET). De los materiales de origen natural solo el 5% presentan valores de k mayores a $0,05 W/mK$. Estos se presentan como datos atípicos de conductividad elevados sobre la media (Figura 1) y corresponden a los materiales basados en micelio

Materiales de aislamiento resistivo presentes en el Parque Urbano Edificio											
ID	Material	Origen	Tipo estructura conformativa	Formato de presentación	ρ (kg/m ³)	Espesor (mm)	k W/mK)	R (m ² K/W)	C (W/m ² K)	Precio USD/m ²	Fuente
Al_01	Algodón	Natural	Fibras	Panel	30 +	40	0,034	1,18	0,85	19,71	Abriganature (2023)
Al_02	Algodón	Natural	Fibras	Panel	40 ++	70	0,033	2,12	0,47	5,31	Abriganature (2023)
Al_03	Algodón	Natural	Fibras	Panel	50 ++	30	0,033	0,91	1,1	10,63	Abriganature (2023)
Al_04	Algodón	Natural	Fibras	Panel	60 +++	50	0,032	1,56	0,64	10,57	Abriganature (2023)
Al_05	Algodón	Natural	Fibras	Panel	20 +	19	0,037	0,51	1,95	-	Abriganature (2023)
Al_06	Algodón + poliéster	Compuesto natural-sintético	Fibras	Panel	40 ++	20	0,033	0,61	1,65	4,44	Geopannel (2023)
Al_07	Algodón + poliéster	Compuesto natural-sintético	Fibras	Panel	30 +	30	0,034	0,88	1,13	5,36	Geopannel (2023)
Ca_01	Cáñamo + poliéster	Compuesto natural-sintético	Fibras	Rollo / Panel	20 +	100	0,039	2,5	0,4	-	Logrotex (2023)
Ca_02	Cáñamo	Natural	Fibras	Panel	40 ++	45	0,04	1,13	0,89	-	Cannabrix (2023)
Ca_03	Cáñamo + Lino + Algodón	Natural	Fibras	Panel	30 +	200	0,038	5,26	0,19	-	Cannabrix (2023)
Ca_04	Cáñamo + kenaf	Natural	Fibras	Panel	80 +++	160	0,038	4,21	0,24	181	Artimestieri (2023)
Ca_05	Cáñamo + kenaf	Natural	Fibras	Panel	40 ++	40	0,035	1,14	0,88	13	Artimestieri (2023)
Ca_06	Cáñamo	Natural	Fibras	Rollo	133 +++	10	0,039	0,26	3,9	713	Hempflax (2023)
Ca_07	Cáñamo	Natural	Fibras	Panel	37 ++	220	0,039	5,64	0,18	52,9	Hempflax (2023)
Ce_01	Celulosa	Natural	Fibras	Granel	34 +	90	0,035	2,57	0,39	8,6	CelulosaPRO (2023)
Ce_02	Celulosa	Natural	Fibras	Granel	55 ++	25	0,039	0,64	1,56	8,6	CelulosaPRO (2023)
Ce_03	Celulosa	Natural	Fibras	Granel	62 +++	100	0,042	2,38	0,42	5,6	Magoal (2023)
Ce_04	Celulosa	Natural	Fibras	Granel	60 +++	35	0,04	0,88	1,14	6,7	Magoal (2023)
Ce_05	Celulosa	Natural	Fibras	Granel	33 +	40	0,039	1,03	0,98	2	Magoal (2023)
Ce_06	Celulosa + PET	Compuesto natural-sintético	Fibras	Panel	38 ++	100	0,036	2,78	0,36	72,35	Logrotex (2023)
Cn_01	Corcho natural	Natural	Fibras	Panel	190 +++	10	0,042	0,24	4,2	13	Artimestieri (2023)
Cn_02	Corcho natural	Natural	Fibras	Panel	150 +++	100	0,042	2,38	0,42	65	Artimestieri (2023)
Cn_03	Corcho natural	Natural	Fibras	Panel	140 +++	60	0,043	1,4	0,72	104,79	Abriganature (2023)
Cn_04	Corcho natural	Natural	Fibras	Panel	130 +++	100	0,04	2,5	0,4	63,6	Cannabrix (2023)
Co_01	Fibras de coco	Natural	Fibras	Panel	100 +++	15	0,043	0,35	2,87	17,8	Abriganature (2023)
Co_02	Fibras de coco + poliéster	Compuesto natural-sintético	Fibras	Panel	30 +	100	0,043	2,33	0,43	-	Logrotex (2023)
Cr_01	Colchones radicales	Natural	Fibras	Panel	130 +++	50	0,035	1,45	0,69	19,3	Rootman (2023)
Epl_01	Espuma de polietileno	Sintético	Espumas	Rollo	35 ++	20	0,04	0,5	2	5,4	ASTS (2023)
Epl_02	Espuma de polietileno	Sintético	Espumas	Rollo	20 +	10	0,043	0,23	4,35	2	Disdec (2023)
Epl_03	Espuma de polietileno	Sintético	Espumas	Rollo	30 +	20	0,045	0,23	4,35	14	Disdec (2023)
Eps_01	EPS	Sintético	Espumas	Panel	15 +	40	0,032	1,25	0,8	10,26	Danosa (2023)
Eps_02	EPS	Sintético	Espumas	Panel	20 +	100	0,032	3,13	0,32	36,6	Danosa (2023)

Ft_01	Fibras textiles	Sintético	Fibras	Panel	45 ++	60	0,034	1,76	0,57	14,9	Geopannel (2023)
Lo_01	Lana de ovino	Natural	Lanas	Rollo	30 +	60	0,032	1,88	0,53	19,9	Artemestieri (2023)
Lo_02	Lana de ovino + poliéster	Compuesto natural-sintético	Lanas	Panel	13,5 +	40	0,04	1	1	-	Logrotex (2023)
Lo_03	Lana de ovino + poliéster	Compuesto natural-sintético	Lanas	Panel	20 +	100	0,04	2,5	0,4	-	Logrotex (2023)
Lo_04	Lana de ovino	Natural	Lanas	Panel	100 +++	10	0,04	0,25	4	-	Logrotex (2023)
Lo_05	Lana de ovino	Natural	Lanas	Panel	40,55 ++	27	0,044	0,61	1,63	-	Zanovello et al. (2019)
Lp_01	Lana de poliéster	Sintético	Lanas	Rollo	75 +	50	0,065	0,77	1,3	1,5	Gyplac (2023)
Lp_02	Lana de poliéster	Sintético	Fibras	Rollo	10 +	50	0,052	0,96	1,04	24,7	Durlock (2023)
Lr_01	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	100 +++	30	0,033	0,91	1,1	8,65	Rockwool (2023)
Lr_02	Lana de roca	Natural	Lanas	Rollo	30 +	60	0,042	1,6	0,63	26,5	Disdec (2023)
Lr_04	Lana de roca	Natural	Lanas	Rollo	30 +	60	0,033	1,82	0,55	27	Thermolan (2023)
Lr_05	Lana de roca	Natural	Lanas	Rollo	50 ++	100	0,033	3,03	0,33	43	ASTS (2023)
Lr_06	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	100 +++	30	0,035	0,86	1,17	17	Rockwool (2023)
Lr_07	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	40 ++	25	0,042	0,6	1,68	21,2	Disdec (2023)
Lr_08	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	80 +++	50	0,038	1,32	0,76	53	Disdec (2023)
Lr_09	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	50 ++	100	0,034	2,94	0,34	44,7	ASTS (2023)
Lr_10	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	80 +++	30	0,032	0,94	1,07	24	ASTS (2023)
Lr_11	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	140 +++	25	0,029	0,86	1,16	73,5	ASTS (2023)
Lr_13	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	90 +++	40	0,035	1,14	0,88	21	Rockwool (2023)
Lr_14	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	27 +	200	0,039	5,1	0,2	10	Rockwool (2023)
Lr_15	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	70 +++	50	0,033	1,52	0,66	42	Rockwool (2023)
Lr_16	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	150 +++	50	0,037	1,35	0,74	62,5	Thermolan (2023)
Lr_17	Lana de roca	Natural	Lanas	Panel	40 ++	80	0,033	2,42	0,41	8,1	Rockwool (2023)
Lv_01	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Panel	35 ++	35	0,042	1,1	0,91	38	Isover (2023)
Lv_01	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Rollo	55 ++	50	0,042	1,2	0,83	25,4	Isover (2023)
Lv_02	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Rollo	45 ++	150	0,042	3,6	0,28	10	Isover (2023)
Lv_03	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Panel	45 ++	100	0,028	3,6	0,28	5,8	Isover (2023)
Lv_04	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Rollo	12 +	38	0,042	0,9	1,11	10	Polcom (2023)
Lv_05	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Panel	18 +	65	0,035	1,86	0,54	65,4	URSA (2023)
Lv_06	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Panel	18 +	120	0,04	3	0,33	6,07	URSA (2023)
Lv_07	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Panel	52 ++	70	0,033	2,1	0,48	35	Isover (2023)
Lv_08	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Panel	35 ++	50	0,033	1,5	0,67	16	Isover (2023)
Lv_09	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Panel	35 ++	70	0,031	2,25	0,44	22,8	ASTS (2023)
Lv_10	Lana de vidrio	Natural	Lanas	Rollo	46 ++	100	0,042	2,4	0,42	13,8	Isover (2023)
Ma_01	Fibras de madera	Natural	Fibras	Panel	50 ++	30	0,036	0,83	1,2	5,73	Gutex (2023)
Ma_02	Fibras de madera	Natural	Fibras	Panel	110 +++	40	0,038	1,05	0,95	10,5	Gutex (2023)
Mi_01	Micelio + Cáñamo	Natural	Espumas	Panel	99 +++	100	0,04	2,5	0,4	-	Elsacker et al., (2019)
Mi_02	Micelio + Paja de trigo	Natural	Espumas	Panel	94 +++	100	0,04	2,5	0,4	-	Elsacker et al., (2019)
Mi_03	Micelio + Lino	Natural	Espumas	Panel	94 +++	100	0,04	2,5	0,4	-	Elsacker et al., (2019)
Mi_04	Micelio + Paja de trigo	Natural	Espumas	Panel	51 ++	100	0,078	1,28	0,78	-	Xing et al., (2018)

Mi_05	Micelio + Paja de trigo	Natural	Espumas	Panel	62 +++	100	0,079	1,27	0,79	-	Xing et al., (2018)
Mi_06	Micelio + Paja de trigo	Natural	Espumas	Panel	57 ++	100	0,081	1,23	0,81	19,08	Xing et al., (2018)
Mi_07	Micelio + Cáñamo	Natural	Espumas	Panel	120 +++	50	0,039	1,28	0,78	343	Ecovative (2023)
Pp_01	PET + Poliéster	Sintético	Fibras	Rollo / Panel	12 +	50	0,068	0,74	1,07	-	ASTS (2023)
Pp_02	PET + Poliéster	Sintético	Fibras	Rollo / Panel	25 +	60	0,068	0,88	1,14	-	Logrotex (2023)
Pp_03	PET + Poliéster	Sintético	Fibras	Rollo / Panel	83 +++	18	0,068	0,26	3,85	-	Logrotex (2023)
Pp_04	PET reciclado	Sintético	Fibras	Panel	213 +++	50	0,053	0,95	1,05	-	Becerra y Busnelli (2021)
Pu_01	Poliuretano	Sintético	Espumas	Granel	70 +++	40	0,028	1,43	0,7	277	Reciclados de caucho (2023)
Pu_02	Poliuretano	Sintético	Espumas	Panel	40 ++	40	0,028	1,43	0,7	277	Reciclados de caucho (2023)
Pu_03	Poliuretano	Sintético	Espumas	Granel	35++	25	0,022	1,14	0,88	30	Krisol (2023)
Xps_01	XPS	Sintético	Espumas	Panel	30 +	50	0,033	1,52	0,66	23,9	Danosa (2023)
Xps_02	XPS	Sintético	Espumas	Panel	30 +	60	0,035	1,71	0,58	28,68	Danosa (2023)
Xps_03	XPS	Sintético	Espumas	Panel	35 ++	80	0,036	2,22	0,45	38,22	Danosa (2023)
Xps_04	XPS	Sintético	Espumas	Panel	33 +	80	0,035	2,29	0,44	10,8	URSA (2023)
Y_01	Yute + poliéster	Compuesto natural-sintético	Fibras	Rollo / Panel	30 +	40	0,046	0,87	1,15	-	Logrotex (2023)
Y_02	Yute + poliéster	Compuesto natural-sintético	Fibras	Rollo / Panel	30 +	100	0,046	2,17	0,46	-	Logrotex (2023)

Medidas Resumen						
Media	57,55	64,06	0,04	1,66	1,01	31,21
D.E	41,98	42,45	0,01	1,11	0,96	47,67
C.V %	72,94	66,27	27,77	66,99	94,69	152,73
Mínimo	7,5	10	0,02	0,23	0,18	1,5
Máximo	213	220	0,08	5,64	4,35	343

Tabla 1. Presentaciones, características físicas y térmicas de los materiales de aislamiento resistivo del parque urbano edilicio. Densidad aparente: + baja, ++ media, +++ alta. Se encuentran destacados los materiales convencionales. (2023)

3.3. Comportamiento térmico de acuerdo a la estructura conformativa

y paja de trigo investigados por Xing et al. (2018). La cantidad de materiales compuestos disponibles en el mercado es reducida en comparación con los sintéticos y los naturales, en el 90% de los casos se trata de poliéster combinado con fibras naturales. Estos presentan un rango de k entre 0,03 y 0,05 W/mK, por debajo del límite establecido por la bibliografía para un aislante eficiente. Entre los valores más bajos se ubica el material compuesto de algodón y poliéster Al_06 (Geopannel, 2023) resultando el más eficientes, con valores de k de 0,033 W/mK y una densidad de 40 kg/m³ (densidad media). Mientras que los materiales compuestos de yute y poliéster (Y_01 y Y_02) (Logrotex, 2023) registran la mayor conductividad térmica (0,046 W/mK) de este grupo y baja densidad aparente (30 Kg/m³).

En esta sección se contrastan los comportamientos térmicos de la unidad de análisis respecto a su estructura conformativa: espuma cuyo valor más eficiente es de 0,02 W/mK (ρ promedio = 51,05 Kg/m³), fibra con valores mínimos de 0,03 W/mK (ρ promedio= 65,14 Kg/m³) y lana cuyo valor más eficiente también es de 0,03 W/mK (ρ promedio= 52,64 Kg/m³). Se detecta que la media de la conductividad es independiente del tipo de estructura conformativa. La eficiencia de estos materiales está dada por la cantidad de aire que incorporan en su interior en forma de compartimientos estancos (Tabla 3).

Los materiales que tienen conformación de tipo lana en general presenta valores de conductividad por debajo de 0,05 W/m²K, sin embargo, observamos que lana de poliéster Lp_01 (Gyplac, 2023) presenta una

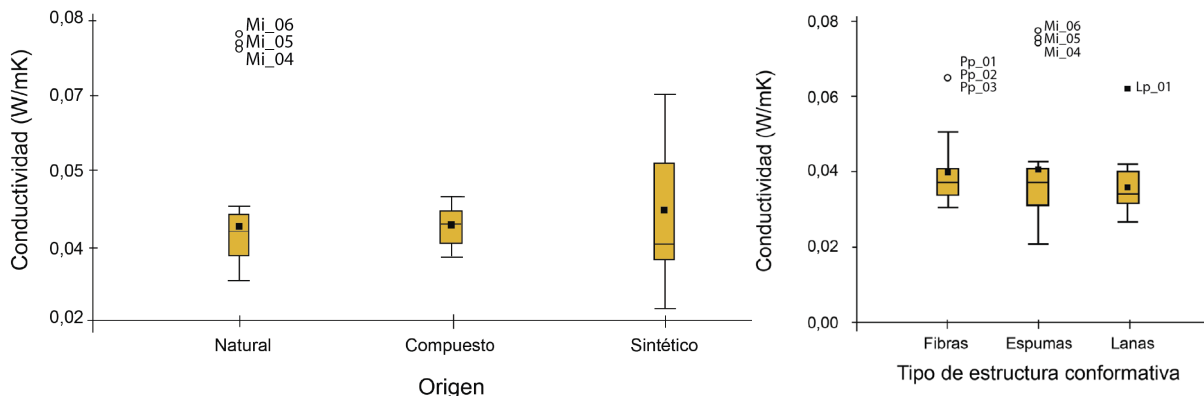


Figura 1: Box Plot: conductividad en relación al origen del material. (2023)

Figura 2: Box plot: conductividad en función de la estructura conformativa de los materiales. (2023)

conductividad de 0,065 W/m²K. Al analizar de forma particular a las fibras, en la Figura 2 se relevan valores atípicos de conductividad de materiales conformados por PET y poliéster: Pp_01, Pp_02 y Pp_03 (k=0,068 W/mK). El resto de los materiales con conformación de fibra están por debajo de los 0,05 W/m²K. La categoría "espuma" está compuesta por materiales de origen sintético y también naturales, entre este último grupo se encuentran los biocompuestos a base de micelio. Este tipo de materiales realizados con sustrato de paja de trigo, desarrollados por Xing et al. 2018, presentan una conductividad elevada de 0,08 W/mK. Por otro lado, se presenta como el material más eficiente dentro de esta categoría el poliuretano, con una conductividad térmica de 0,02 W/mK.

3.4. Incidencia del espesor en las propiedades térmicas de los materiales

El rango de resistencia térmica de la muestra total analizada es de 0,23 a 5,64 m²K/W, y su promedio es de 1,66 m²K/W. Respecto a los espesores el rango oscila entre 10 y 220 mm, con un promedio de 64 mm. Sin embargo, el mayor porcentaje de aislantes (56%) se comercializa en espesores entre 50 mm y 150 mm.

Con el objetivo de analizar cuál es el impacto del espesor sobre la eficiencia térmica de los materiales aislantes en la Figura 3 se expone un gráfico de superficie donde se observa el efecto de la conductividad y el espesor (utilizando el rango de espesores más comercializados). Si consideramos que la resistencia térmica se define como la relación entre el espesor y la conductividad térmica, resulta evidente que a medida que se incrementa el espesor de un material, se mejora su resistencia. Asimismo, observamos que para un mismo espesor puede presentar distintos valores de resistencia térmica, lo cual se debe al impacto de la conductividad que está determinado por el tipo de composición material. A modo de ejemplo observamos que para un

espesor de 100 mm los valores de resistencia pueden estar en tres de los cuatro rangos de resistencia analizados. Además, se detecta que para valores de conductividad por encima de los 0,05 W/mK es necesario trabajar con espesores superiores a 100 mm para tener una resistencia térmica superior a 2 W/m²K y así obtener un rendimiento más eficiente (Figura 3).

3.5. Análisis comparativo de materiales convencionales y no convencionales

Para analizar el rendimiento térmico de los materiales aislantes de acuerdo a su difusión en el parque edilicio (convencionales y no convencionales), en esta sección se contrastan los rangos de conductividad en relación a su estructura conformativa, al origen de composición y precios asociados.

En la Figura 4 se observa que todos los materiales convencionales relevados son altamente eficientes presentando valores de conductividad inferiores a 0,05 W/mK. Si bien los materiales no convencionales muestran valores máximos de conductividad más altos que los tradicionales, solo el 17% de estos supera los 0,05 W/mK. El grupo que presenta conductividades más elevadas está compuesto por los siguientes materiales: micelio con paja de trigo (Mi_04, Mi_05 y Mi_06) (Xing et al., 2018), lanas de poliéster (Lp_01) (Gyplac, 2023) y materiales realizados con PET y fibras de poliéster (Pp_01, Pp_02 y Pp_03) (ASTS, 2023; Logrotex, 2023).

Los paneles elaborados a partir de fibras recicladas de PET y poliéster disponibles en el mercado, considerados como materiales no convencionales, muestran un comportamiento aislante menos eficiente (k: 0,068 W/mK) en comparación con los materiales sintéticos tradicionales (k promedio = 0,035 W/mK). No obstante, investigaciones realizadas por Intini et al. (2011), han revelado un rendimiento térmico superior en los materiales basados en PET reciclado que aún

Origen	Variable	n	Media	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
Compuesto Natural-Sintético	Conductividad (W/mK)	9	0,04	0,01	12,02	0,03	0,05
Natural	Conductividad (W/mK)	60	0,04	0,01	25,51	0,03	0,08
Sintético	Conductividad (W/mK)	19	0,04	0,02	34,86	0,02	0,07

Tabla 2: Estadísticos descriptivos para la conductividad térmica de acuerdo al origen. (2023)

Tipo de estructura conformativa	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín.	Máx.
Espumas	Conductividad (W/mK)	19	0,04	0,02	40,92	0,02	0,08
Fibras	Conductividad (W/mK)	37	0,04	0,01	22,61	0,03	0,07
Lanas	Conductividad (W/mK)	32	0,04	0,01	17,97	0,03	0,07

Tabla 3: Valores de conductividad térmica según tipo de estructura conformativa. (2023)

no están disponibles comercialmente, alcanzando conductividades térmicas de 0,035 W/mK en densidades de 30 kg/m³. Además, en Argentina, Becerra y Busnelli (2021), están avanzando sobre el desarrollo de un sistema constructivo completamente desarrollado con PET reciclado, el cual presenta valores de k de 0,053 W/mK, los cuales se aproximan a los estándares establecidos para un aislante eficiente. Cobra sentido continuar avanzando en el desarrollo tecnológico de este tipo de materiales para mejorar su comportamiento térmico debido a que presentan baja energía incorporada en la producción y un mejor comportamiento ambiental comparado con materiales tradicionales.

Los materiales basados en micelio y paja de trigo desarrollados por Xing *et al.* (2018) (Mi_04, Mi_05 y Mi_06) exhiben los valores más elevados de conductividad térmica (Figura 4), oscilando entre 0,078 y 0,081 W/mK. Sin embargo, al contrastar con resultados de investigaciones realizadas por otros autores como Elsacker *et al.*, (2019) se evidencia un rendimiento térmico superior incluso al emplear el mismo tipo de sustrato (paja de trigo). Además, se destaca un rendimiento favorable en diversas variaciones de fibras, como cáñamo y lino, en los casos de Mi_01, Mi_03 y Mi_07. La principal diferencia entre estos materiales radica en la densidad, ya que Mi_04, Mi_05 y Mi_06 presentan densidades entre 51 y 62 kg/m³, mientras que el grupo restante de materiales se caracteriza por densidades más elevadas entre 94 y 120 kg/m³. Como consecuencia de esta variación, se observa una disminución del 50% en la conductividad a medida que aumenta la densidad.

3.6. Origen de los materiales

Si bien tanto en los materiales convencionales como en los no convencionales el mayor porcentaje es de procedencia natural, cabe señalar que dentro del primer grupo están incluidas las lanas minerales: lana de roca y lana de vidrio (Figura 5). Este tipo de materiales requieren de una gran cantidad de procesos industriales para su obtención que implican altos consumos energéticos y producen emisiones que contribuyen al impacto ambiental (Ajabli *et al.*, 2023).

Se observa que en la categoría de materiales no convencionales surge una nueva clasificación: los materiales compuestos (Figura 6). Estos combinan materiales de origen sintético con otros de origen natural. En algunos casos, mejoran las propiedades térmicas de las fibras sintéticas mediante la incorporación de fibras naturales, por ejemplo, los materiales que combinan poliéster con fibras de algodón o cáñamo (Al_06, Al_07, Ca_01). Además, la incorporación de recurso biomásico en estos materiales se presenta como una alternativa a las vías actuales de fin de vida para la biomasa, como vertederos e incineración a cielo abierto, presentando adicionalmente la ventaja de almacenar carbono en materiales de construcción con una larga vida útil (United Nations Environment Programme [UNEP], 2023). Siguiendo con esta línea, se presentan otros casos donde el objetivo es generar valor a partir de la incorporación de residuos en los aislantes. Un ejemplo de esto es el material "Ce_06", fabricado con fibras de celulosa obtenidas a partir de papel periódico y PET reciclado. Este material presenta valores de conductividad de 0,038 W/mK, lo que demuestra que es posible un comportamiento eficiente de un material obtenido a partir de residuos o fabricado con tecnologías alternativas.

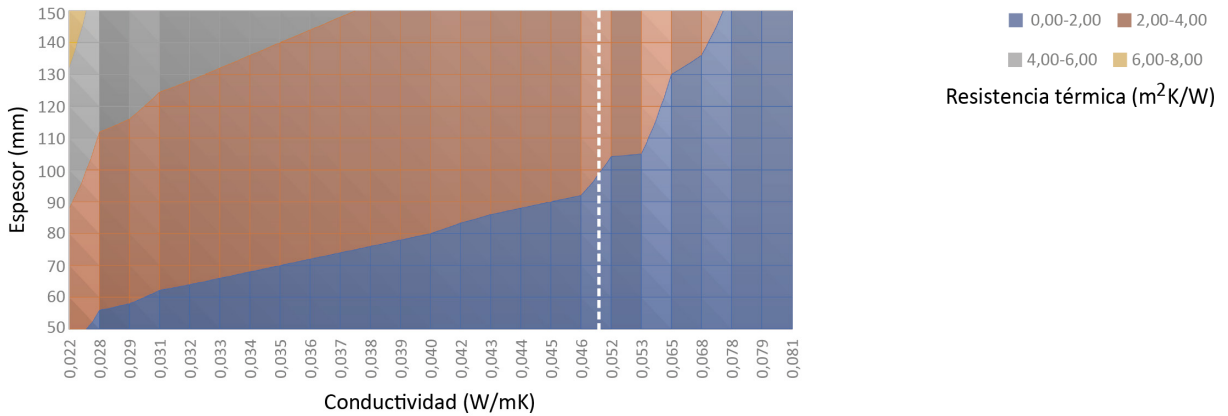


Figura 3: Gráfico de superficie. Resistencia térmica de los materiales para los espesores más comercializados (50-150mm). (2023)

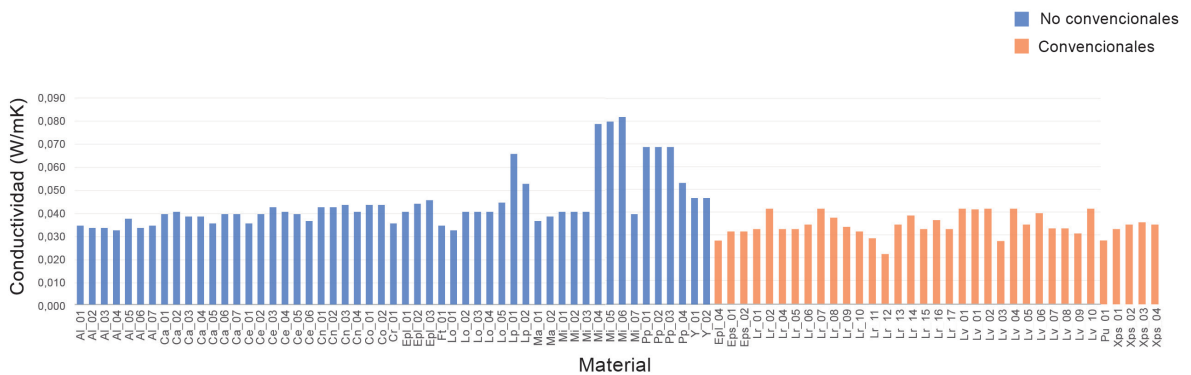


Figura 4: Valores de conductividad de los materiales según su difusión en el parque edilicio. (2023)

3.7. Estructura conformativa de los materiales

A partir del análisis de la Figura 7, se observa una tendencia en los materiales no convencionales hacia el uso de fibras, estas son principalmente recicladas, como las provenientes de residuos de PET y de la industria textil. En la actualidad, además de este tipo de fibras, se incorporan las fibras naturales como cáñamo, raíces y otros sustratos leñosos, aprovechando residuos de la industria agrícola. Esto está alineado con la tendencia actual de producir materiales aislantes basados en materiales naturales (Bozsaky, 2019; UNEP, 2023).

En el caso de los materiales convencionales, las estructuras conformativas más adoptadas son las lanas, como la lana de vidrio y la lana de roca (con valores de k entre 0,028 y 0,042 W/mK (Figura 8). En contraste, las lanas en los materiales no convencionales son las que se presentan en menor porcentaje, y son principalmente materiales de origen animal, como el uso de la lana de ovino de descarte (con valores de k que oscilan entre 0,032 y 0,065 W/mK) (Bozsaky, 2019; Zanovello y Cardoso, 2019).

Asimismo, vemos que el porcentaje de espumas es mayor en los no convencionales (27%) respecto a

los materiales convencionales (12%). Esto se debe principalmente a una mayor presencia en este grupo de los materiales aislantes desarrollados a base de micelio (70%) que actualmente están en una etapa de investigación y desarrollo creciente (Fernández et al., 2019; Girometta et al., 2019; Attias et al., 2020; Elsacker et al., 2019).

3.8. Precio de acuerdo a eficiencia térmica (Precio USD/m²)

El costo promedio de los materiales evaluados es de 31,21 USD por metro cuadrado. Con un valor mínimo por metro cuadrado de 1,5 USD en el aislante de lana de poliéster "Lp_01" (R 0,77 m²K/W) y uno máximo de 343 USD en el material compuesto de micelio "Mi_07" (R : 1,28 m²K/W).

Con el objetivo de evaluar los precios de los materiales asociados a su performance aislante se construyó un diagrama de dispersión que cruza estos parámetros (Figura 9). Respecto a los materiales convencionales la lana de roca "Lr_14" es el material más eficiente de acuerdo a la relación precio/resistencia térmica, tiene un costo de 10 USD/m² y una resistencia de 5,1 m²K/W (Rockwool, 2023).

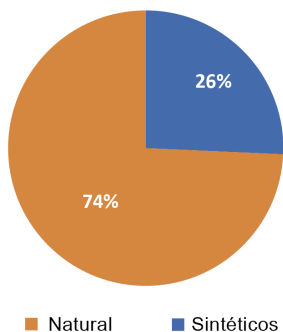


Figura 5: Origen de los materiales convencionales. (2023)

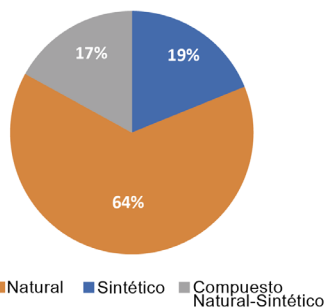


Figura 6: Origen de los materiales no convencionales. (2023)

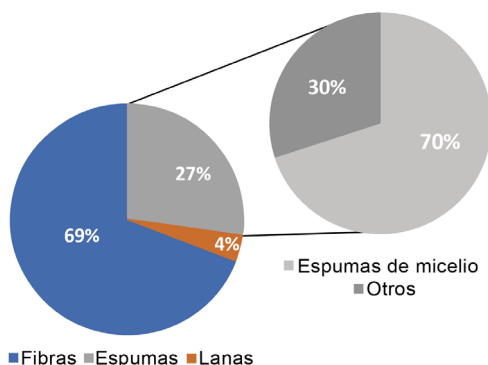


Figura 7: Estructura conformativa de los materiales no convencionales. (2023)

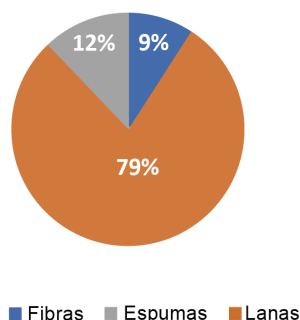


Figura 8: Estructura conformativa de los materiales convencionales. (2023)

Si bien esta relación precio/eficiencia térmica resulta muy ventajosa, el excesivo espesor del material puede resultar inconveniente para incorporar en una obra en construcción o para rehabilitar térmicamente un edificio. (200 mm de espesor, ρ : 27 kg/m³). Al analizar los materiales no convencionales observamos una situación semejante a la expuesta previamente, el material que registra el comportamiento más eficiente es el panel de cáñamo "Ca_07", con una resistencia térmica de 5,64 m²K/W y con un precio por metro cuadrado de 52,9 USD, no obstante, este material presenta el mayor espesor de comercialización de la muestra analizada (e: 220 mm) (Hempflax, 2023). Los materiales con valores más elevados son el compuesto de micelio "Mi_07" (micelio con cáñamo, e:50 mm, ρ :120 kg/m³) y el panel de cáñamo "Ca_04" (cáñamo+kenaf, e:160 mm, ρ : 80 kg/m³) (Artimestieri, 2023) cuyos precios son de 343 USD/m² y 182 USD/m² respectivamente. Los elevados precios de estos materiales posiblemente se deben a que los procesos productivos que implican aún no son los suficientemente eficientes, con una significativa parte del proceso artesanal, y sumado a que su difusión en el mercado de la construcción es incipiente.

En la Figura 9 se señalan (círculo naranja) un grupo de materiales que presenta buen comportamiento térmico con valores de resistencia térmica de 3,2 m²K/W en promedio conformado por lanas de vidrio, lanas de roca y poliestireno expandido (Lr_09, Eps_02, Lv_06, Lr_05, Lv_02 y Lv_03) (Danosa, 2023; Isover, 2023; Ursa, 2023) y con precio de mercado promedio de 24,36 USD/m², lo que representa una buena relación precio-calidad. Estas particularidades validan la amplia difusión de estos aislantes en el parque edilicio. Además, observamos que el panel de celulosa y la celulosa proyectada son materiales que tienen potencialidad como aislantes debido a que se acercan a estos rangos de resistencia, pero con un precio de comercialización más elevado en promedio (40,5 USD/m²) respecto a los derivados de celulosa (CelulosaPro, 2023; Magoal, 2023). Esta tecnología si bien no es considerada de uso convencional, comenzó a desarrollarse en 1920 pero su adopción como aislante se ha potenciado en los últimos años debido al desarrollo de nuevos métodos de aplicación (Bozsaky, 2019).

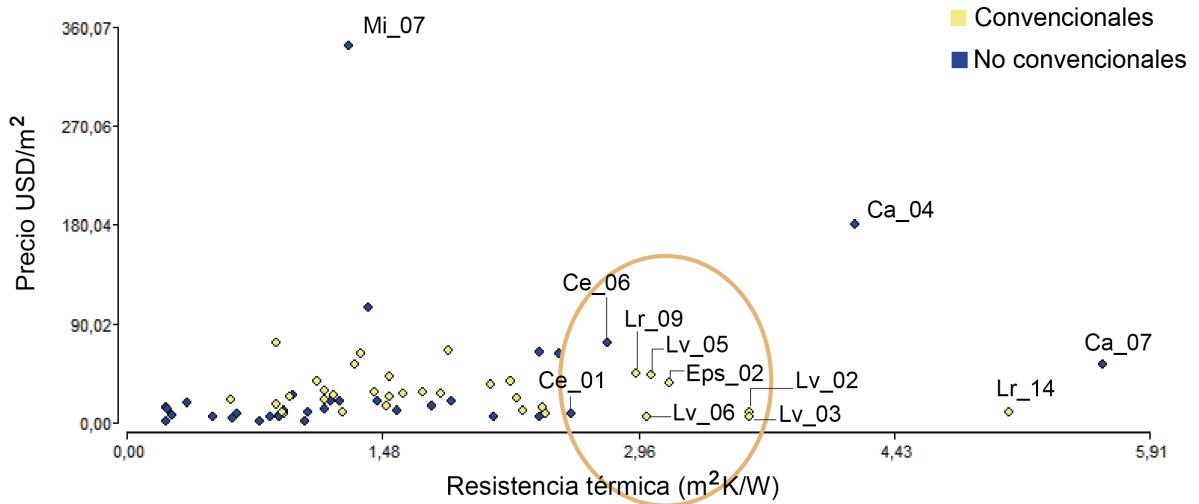


Figura 9: Gráfico de dispersión para las variables precio y resistencia térmica en los materiales en el parque edilicio. (2023)

4. Conclusiones

De forma general se observó un rendimiento térmico similar para los materiales de origen sintético, natural y compuesto estudiados, con una conductividad térmica media de 0,04 W/mK. La cantidad de materiales compuestos disponibles en el mercado es reducida en comparación con los sintéticos y los naturales. Estos materiales en este estudio están conformados principalmente por poliéster en combinación con fibras naturales tales como algodón, cáñamo y coco.

Respecto a la estructura conformativa (fibras, espumas o lanas) en términos generales se observó que esta característica no influye directamente en el rendimiento térmico de los aislantes. Del análisis conjunto de estas dos variables: origen y estructura conformativa, vemos que se destaca respecto a su eficiencia térmica el poliuretano proyectado "Pu_03" ($k: 0,02$ W/mK), aislante de origen sintético con conformación de espuma, siendo uno de los materiales convencionales de mayor difusión en la industria edilicia local.

Los espesores de comercialización de los materiales analizados oscilan entre 10 mm y 220 mm, siendo el rango de mayor uso y distribución entre 50 y 150 mm. Este parámetro influye directamente sobre el rendimiento energético de un material. Sin embargo, se observan materiales con elevados espesores que presentan una eficiencia aislante relativamente baja. Como es el caso de los aislantes de micelio, Mi_04, Mi_05 y Mi_06, con un espesor de 100 mm y una resistencia térmica menor $1,28$ m²K/W. Por otro lado, se han relevado otros materiales de micelio con densidades superiores (entre 94 y 99 kg/m³) que mejoran notablemente su eficiencia ($R: 2,5$ m²K/W). Esto pone en evidencia que para los materiales naturales biofabricados con micelio la

densidad impacta en su eficiencia energética por lo que es de gran importancia seguir trabajando en métodos de producción que permitan tener control sobre esta propiedad. Esta característica está dada principalmente por el sustrato que provee la matriz de crecimiento para el micelio y la metodología de producción. Además, se observa que los biocompuestos de micelio se presentan como datos dispersos en todas las variables analizadas (comportamiento térmico según origen, según su estructura conformativa y también en precio) lo que puede tomarse como punto de partida para seguir trabajando en la optimización de propiedades y procesos de producción de este tipo de materiales para obtener mejores resultados que faciliten su implementación en el parque edilicio.

Al evaluar los materiales no convencionales se concluye que resultan una alternativa favorable para la transición hacia tecnologías más respetuosas con el medio ambiente y el mejor uso de los recursos. Este grupo tiene la particularidad de que son producidos con materiales obtenidos de fuentes renovables o bien, revalorizando residuos o subproductos agrícolas o industriales. En su mayoría se encuentran en etapa temprana de implementación o de estudio y están producidos en una industria que se encuentra todavía en su etapa incipiente, sin embargo, presentan un comportamiento térmico competitivo con los materiales tradicionales. Asimismo, salvo algunas excepciones presentan precios que se ubican dentro del rango de los materiales de uso tradicional. Esto conduce a un escenario promisorio para industria de la construcción, donde se implementen materiales con menor impacto ecológico sin comprometer la eficiencia energética en el uso.

Dentro de este contexto cobra sentido continuar avanzando en el desarrollo y utilización de nuevos materiales, ya sea obtenidos a partir de la transformación de residuos poliméricos a través de procesos, o mediante el aprovechamiento de recurso biomásico obtenido localmente que reduzcan el impacto que se genera en la etapa de deposición final. Así como también, la implementación de nuevas tecnologías para crear materiales innovadores, en línea con el nuevo paradigma de la biofabricación. Sin embargo, es importante destacar que se requiere de estudios más intensivos para determinar otras propiedades además de las térmicas, que influyen en la capacidad aislante de los materiales, por ejemplo, la absorción de humedad. Esto es indispensable para facilitar la adopción de estos materiales no convencionales, tanto comercialmente como por los entes reguladores.

En trabajos futuros se prevé avanzar en el desarrollo de materiales aislantes desarrollados a base de micelio con residuos lignocelulósicos obtenidos en la industria agrícola local (Mendoza, Argentina) prestando especial atención a propiedades como la densidad, realizando iteraciones de distintos tamaños de partículas del sustrato y así determinar su incidencia en las propiedades térmicas. De esta manera se busca favorecer a la transición energética mediante el procesamiento de recursos biomásicos e implementando metodologías de biofabricación enfatizando el ahorro energético de los ambientes construidos.

5. Agradecimientos

A la ANPCYT: PICT 2018-2080 Eficiencia energética de la envolvente urbano-edilicia. Valoración termo-lumínica de materiales y componentes; Fundación Williams: Fondos Complementarios para la Investigación: Diseño sustentable del hábitat construido. Valoración termo-lumínica de tecnologías de la envolvente urbano-edilicia.

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

© **Derechos de autor:** Maira Ayelén Terraza, Ayelén Villalba y Noelia Alchapar, 2025.

© **Derechos de autor de la edición:** Estoa, 2025.

6. Referencias bibliográficas

- Aditya, L., Mahlia, T. M. I., Rismanchi, B., Ng, H. M., Hasan, M. H., Metselaar, H. S. C., Muraza, O., & Aditya, H. B. (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1352–1365. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.034>
- Ajabli, H., Zoubir, A., Elotmani, R., Louzazni, M., Kandoussi, K., & Daya, A. (2023). Review on Eco-friendly insulation material used for indoor comfort in building. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 185. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113609>
- Albir Ribera, A., Carlos Lerma, E., y Mas Tomás, Á. (2021). *Análisis de materiales sostenibles, ciclo de vida y su aplicación en la construcción*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Alchapar, N., & Correa, E. (2015). Comparison of the performance of different facade materials for reducing building cooling needs. *Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs. Design, Properties and Applications*, 155–194. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-380-5.00006-6>
- Alchapar, N., & Correa, E. (2020). Optothermal properties of façade coatings. Effects of environmental exposure over solar reflective index. *Journal of Building Engineering*, 32, 101536. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101536>
- Artimestiéri. (2023). *Panel de aislamiento térmico y acústico*. <https://store.artimestieri.com>
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- ASTS. (2023). *Aislaciones Térmicas, lana mineral de roca basáltica*. <https://asts.com.ar/productos-termicos-calor-termolana.html>
- Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119037>
- Bozsaky, D. (2019). Nature-Based Thermal Insulation Materials From Renewable Resources – A State-Of-The-Art Review. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 27(1), 52–59. <https://doi.org/10.2478/sjce-2019-0008>
- Bruscatto, C., Malvessi, E., Brandalise, R. N., & Camassola, M. (2019). High performance of macrofungi in the production of mycelium-based biofoams using sawdust — Sustainable technology for waste reduction. *Journal of Cleaner Production*, 234, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.150>
- Busnelli, R., y Becerra, A. (2021). Caracterización de nuevos aislantes para envolventes arquitectónicas con materiales no tradicionales. *Revista Ingeniería De Obras Civiles*, 11(1), 14–24. <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/2778>
- CelulosaPro. (2023). *Celulosa Pro Premium*. <https://celulosa.pro/productos/celulosa-pro-premium/>
- Conforme-Zambrano, G. D. C., y Castro-Mero, J. L. (2020). Arquitectura bioclimática. *Polo del conocimiento*, 5, 751–779. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i3.1381>
- Cortés-Cely, O. (2015). Propiedades que definen los materiales resilientes en arquitectura. *Revista de Tecnología*, 14, 117–126. <https://doi.org/10.18270/rt.v14i1.1854>
- Cuitiño-Rosales, M. G., Rotondaro, R., y Esteves, A. (2019). Aportes para el análisis comparativo del comportamiento higrotérmico y mecánico de los materiales de construcción con tierra. *Revista de Arquitectura*, 22(1). <https://doi.org/10.14718/revarqu.2020.2348>
- Danosa. (2023). *Danotherm SATE. Soluciones con sistemas de aislamiento térmico por el exterior*. <https://www.danosa.com/es-es/danotherm-sate/>
- Elsacker, E., Vandelook, S., Brancart, J., Peeters, E., & De Laet, L. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLoS ONE*, 14(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>
- Feijóo-Vivas, K., Bermúdez-Puga, S. A., Figueroa, J. M., Zamora, P., & Naranjo-Briceño, L. (2021). Fungal mycelium-bioproduces development: A new material culture and its impact on the transition to a sustainable economy. *Revista Bionatura*, 6(1), pp. 1637–1652. Centro de Biotecnología y Biomedicina, Clinical Biotech. Universidad Católica del

- Oriente (UCO), Univesidad Yachay Tech. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.29>
- Fernández, N., Gaggino, R., Kreiker, J., y Positieri, M. J. (2019). Desarrollo Tecnológico de Paneles Multicapa a partir de Residuos Lignocelulósicos Bioligados con Micelio de Hongos. *AJEA*, 4. <https://doi.org/10.33414/ajea.4.370.2019>
- Geopannel. (2023). *Paneles aislantes para construcción*. <https://geopannel.com/fabrica-textil/paneles-aislantes-construccion/>
- Girometta, C., Picco, A. M., Dondi, D., Savino, E., Baiguera, R. M., Babbini, S., Cartabia, M., & Pellegrini, M. (2019). Physical-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review. *Sustainability*, 11. <https://doi.org/10.20944/preprints201810.0541.v1>
- Givoni, B. (1994). *Passive Low Energy Cooling of Buildings*. John Wiley.
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials from Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/srep41292>
- Hempflax (2023). *Hemp insulation*. <https://www.hempflax.com/en/applications/construction/hemp-insulation/>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario*. (IRAM 11549:2002). <https://catalogo.iram.org.ar/#/normas/detalles/530>
- Intini, F., Kühtz, S. (2011) Recycling in buildings: an LCA case study of a thermal insulation panel made of polyester fiber, recycled from post-consumer PET bottles. *Int J Life Cycle Assess* 16, 306–315. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0267-9>
- Isover (2023). *Productos de aislamiento*. <https://www.isover.com.ar/productos?f%5B0%5D=T%20tipos%20de%20Aislaciones%3A1016>
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., y John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials and Design*, 187. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- Logrotex (2023). *Aislantes*. <https://www.logrotex.com/productos/aislantes>
- Magoal (2023). *Aislante de celulosa*. <https://magoal.com.ar/>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Argentina, (2020). *Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2030, Documento Preliminar*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_cti_2030_-_documento_preliminar_septiembre_2020.pdf
- Ordoñez García, A. (2016). *Effects of Architectural Design Variables on Energy and Environmental Performance of Office Buildings*. [Tesis de doctorado, Universitat Rovira i Virgili]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=114337>
- Organización de las Naciones Unidas (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo*. <https://www.undp.org/es/sustainable-developmentgoals>
- Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>
- Paris Oriol, V. (2014). *Análisis ambiental de los aislamientos térmicos utilizados en edificación*. Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona.
- Rockwool (2023). *Fichas técnicas*. <https://www.rockwool.com/es/documentacion-y-herramientas/documentacion-tecnica/fichas-tecnicas/>
- Sadineni, S. B., Madala, S., y Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617–3631. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014>
- United Nations Environment Programme. (2023). *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*. <https://www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future>
- Ursa. (2023). *URSA Terra: Lana mineral de vidrio aislante*. <https://www.ursa.es/ursa-terra/>
- Xing, Y., Brewer, M., El-Gharabawy, H., Griffith, G., & Jones, P. (2018). Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 121(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/2/022032>
- Zanovello, L., y Cardoso, M. B. (2019). Utilización de lana de oveja de bajo valor como aislante térmico en la Patagonia, Argentina. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 44, 49–57. <http://hdl.handle.net/11336/121341>
- Zeller, P. y Zocher, D. (2012). Ecovative's Breakthrough Biomaterials. *Fungi Magazine* 5, 51–56. https://fungimag.com/spring-2012-articles/LR_Ecovative.pdf