

Fachadas verdes tradicionales como estrategia de ahorro energético estival en ciudades de clima árido

Traditional green facades as a summer energy saving strategy in cities with an arid climate

Fachadas verdes tradicionais como estratégia de economia de energia no verão em cidades de clima árido

DOI: <https://doi.org/10.18861/ania.2025.15.2.4007>

Ing. Pablo Suárez
Universidad de Congreso
Argentina
psuarez@mendoza-conicet.gob.ar
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0032-3278>

Ing. Claudia Martínez
Universidad Nacional de Cuyo
Argentina
cmartinez@mendoza-conicet.gob.ar
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9537-5259>

Ing. Érica Correa
Universidad Nacional de Cuyo
Argentina
ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1690-076X>

Recibido: 05/04/2025
Aceptado: 29/05/2025

Cómo citar:
Suarez, P. (2025). Fachas verdes tradicionales como estrategia de ahorro energético estival en ciudades de clima árido. *Anales de Investigación en Arquitectura*, 15(2).
<https://doi.org/10.18861/ania.2025.15.2.4007>



Resumen

Esta investigación evalúa la incidencia de las Fachadas Verdes Tradicionales (FVT) sobre la demanda de energía de una vivienda unifamiliar representativa de la tipología residencial del Área Metropolitana de Mendoza en verano. Se compara la prestación de la FVT versus el uso de una tecnología de aislación tradicional (Poliestireno Expandido-EPS). El estudio se estructura en tres etapas: caracterización de las propiedades opto-térmicas de las FVT, determinación del ahorro energético asociado a su implementación, mediante simulación térmica con EnergyPlus, y la contrastación de los resultados alcanzados con los derivados del uso de EPS. Se observa que aislar la totalidad de la envolvente vertical mediante FVT y EPS, genera un ahorro energético en días estivales con altas temperaturas, del orden de 26.4 % y 81.8 % para FVT y EPS respectivamente. Y en días de temperaturas promedio los ahorros oscilan entre el 49.3 % y 93.8 %. Esta investigación identifica que las posibilidades de ahorro energético que ofrece la FVT dependen de la magnitud de las temperaturas exteriores. Además el ahorro energético cuantificado es superior al reportado en la literatura internacional evidenciando que su uso es más efectivo en climas áridos con altos niveles de irradiancia solar y cielos mayormente despejados.

Palabras clave: fachadas verdes, ahorro de energía, arquitectura bioclimática, desarrollo sostenible.

Abstract

This research evaluates the impact of Traditional Green Façades (FVT) on the energy demand of a single-family house representative of the residential typology of the Metropolitan Area of Mendoza in summer. The provision of FVT is compared with the use of a traditional insulation technology (Expanded Polystyrene-EPS). The study is structured in three stages: characterization of the opto-thermal properties of the PVT, determination by thermal simulation with EnergyPlus of the energy savings associated with their implementation, and the comparison of the results achieved with those derived from the use of EPS. It is observed that insulating the entire vertical envelope through the use of FVT and EPS, generates energy savings on summer days with high temperatures, in the order of 26.4% and 81.8% for FVT and EPS respectively. And on days with average temperatures, the savings range between 49.3% and 93.8% respectively. This research identifies that the energy savings potential offered by PVF depend on the magnitude of the outside temperatures. Furthermore, the quantified energy savings are higher than those reported in the international literature, demonstrating that its use is most effective in arid climates with high levels of solar irradiance and mostly clear skies.

Keywords: green facades, energy saving, bioclimatic architecture, sustainable development.

Resumo

Esta pesquisa avalia o impacto das Fachadas Verdes Tradicionais (FVT) na demanda energética de uma casa unifamiliar representativa da tipologia residencial da Área Metropolitana de Mendoza no verão. O fornecimento de FVT é comparado com o uso de uma tecnologia de isolamento tradicional (Poliestireno Expandido-EPS). O estudo está estruturado em três etapas: caracterização das propriedades optotérmicas do PVT, determinação por simulação térmica com EnergyPlus da economia de energia associada à sua implementação e comparação dos resultados alcançados com os derivados do uso de EPS. Observa-se que o isolamento de toda a envoltória vertical através do uso de FVT e EPS, gera economia de energia em dias de verão com altas temperaturas, na ordem de 26.4% e 81.8% para FVT e EPS respectivamente. E em dias com temperaturas médias, a economia varia entre 49.3% e 93.8%, respectivamente. Esta pesquisa identifica que o potencial de economia de energia oferecido pelo PVF depende da magnitude das temperaturas externas. Além disso, a economia de energia quantificada é superior à relatada na literatura internacional, demonstrando que seu uso é mais eficaz em climas áridos com altos níveis de irradiação solar e céu predominantemente limpo.

Palavras-chave: fachadas verdes, economia de energia, arquitetura bioclimática, desenvolvimento sustentável.

Introducción

Las ciudades de América Latina y el Caribe poseen una población urbana residencial del 81%, esto implica una alta vulnerabilidad a los efectos del calentamiento global y el riesgo frente a eventos climáticos de calor extremo pronosticados por el IPCC (2022). Para restablecer el equilibrio entre entorno natural y hábitat construido, y mitigar las emisiones de carbono, es necesario adoptar tecnologías que promuevan una urbanización sostenible y restauren los ecosistemas degradados. En este sentido los sistemas de enverdecimiento vertical (SEV) han mostrado un crecimiento sostenido en los últimos años (Bustami et al., 2018; Suárez et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado que la integración y expansión del verde urbano en la ciudad es una estrategia efectiva para aumentar la resiliencia al cambio climático (Vargas-Hernández & Zdunek-Wielgołaska, 2021) y que la incorporación de ecotecnias (estrategias que buscan una relación armónica con el ambiente) brindan beneficios sociales y económicos a las comunidades (Caballero Montes, Ríos Ventura, & Alavéz Ramírez, 2024). Su incorporación a la ciudad trae aparejado beneficios energético-ambientales, que mitigan el efecto de isla de calor y aumentan el confort de los espacios públicos. A escala edilicia se reduce el consumo de energía para el acondicionamiento de los espacios interiores. Sin embargo, el fenómeno de consolidación de las ciudades ha limitado la incorporación de estructuras verdes tradicionales -parques, plazas, arbolado de alineación- surgiendo la incorporación de nuevas formas de vegetación asociadas a las envolventes edilicias: los Techos y las Paredes Verdes.

Dentro de estas nuevas tecnologías vegetadas, los Sistemas de Enverdecimiento Vertical (SEV) se agrupan en dos categorías generales: Pared Viva (PV) y Fachadas Verdes (FV). Dentro de las FV, las Fachadas Verdes

Tradicionales (FVT) están compuestas por plantas trepadoras que se desarrollan directamente en la pared del edificio sin espacio de separación entre ésta y el follaje. Los efectos térmicos presentes en las tipologías de FV son el sombreado y el enfriamiento por evapotranspiración, siendo el primero el que tiene mayor relevancia en el potencial para la mitigación de la isla de calor urbana y el ahorro de energía en edificios (Pérez, Coma, Sol, & Cabeza, 2017). Esto es importante en climas áridos o semi-áridos, dada su alta incidencia de radiación solar efectiva sobre las superficies expuestas y sus elevadas temperaturas del aire en verano.

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM) donde se localiza esta investigación, se emplaza en el centro Oeste de la República Argentina (32.5° Latitud Sur, 68.5° Longitud Oeste). Su clima es árido-desértico -BWk, Köppen-Geiger clasificación climática-. Se caracteriza por veranos calientes e inviernos fríos, con elevados valores de amplitud térmica diaria y estacional. Su microclima presenta altos niveles de irradiancia solar -principalmente

en los planos orientados al este y al oeste-, bajas velocidades de viento y escasas precipitaciones. Como consecuencia, la magnitud de su Isla de Calor alcanza los 10 °C, lo que aumenta un 20% la demanda de energía auxiliar para refrigeración (Correa, Ruiz, Cantón, & Lesino, 2012).

En el AMM se distinguen dos áreas de desarrollo, el casco urbano consolidado donde se concentran las principales actividades económicas, comerciales y de servicios; y la periferia de la ciudad, donde domina el uso residencial. La tipología de vivienda unifamiliar representa el 98% de las edificaciones destinadas a este uso, siendo la vivienda colectiva -bloques o torres- una tipología marginal (Pujol & Bisbal-grandál, 2019). En términos de materialidad, el sistema constructivo es del tipo másico y de producción local, conformado por tabiques de ladrillo cocido y estructura de hormigón armado. Una estrategia ampliamente difundida para mejorar la aislación térmica de esta tecnología constructiva, es la aplicación de dos capas exteriores a la mampostería: un aislante de

poliestireno expandido -EPS-, el mismo está protegido exteriormente con una capa de mortero, cuyos espesores oscilan entre 3-5cm y entre 2- 3cm, respectivamente (Esteves Miramont, Gelardi & Balter, 2009; Mazzocco, Filippín, Sulaiman & Larsen, 2018).

El diagnóstico previo y las condiciones limitantes del tipo de clima descrito, evidencian la necesidad de mejorar el desempeño termo-energético de la ciudad, incorporando estrategias bioclimáticas efectivas, a fin de alcanzar mejores condiciones de habitabilidad de los espacios públicos y disminuir el consumo de energía auxiliar en la estación más demandante, el verano. Esto posibilitará la progresiva descarbonización de la matriz energética nacional y su transición hacia energías limpias. En este sentido, las FVT son tecnologías apropiadas que posibilitan impactar positivamente, tanto en el desempeño térmico de los espacios exteriores como interiores, otorgando además los beneficios ambientales relacionados al aumento de la vegetación urbana.

En este marco, el objetivo de este trabajo es determinar la magnitud de la incidencia del uso de FVT sobre la demanda de energía de una vivienda unifamiliar representativa de la tipología residencial más frecuente en el área de estudio en la estación estival. Sumado, persigue comparar la prestación de la FVT versus la de una estrategia tradicionalmente utilizada para la conservación de energía en las edificaciones como es el uso de aislantes térmicos.

Metodología

El estudio se estructura en tres instancias metodológicas. (Figura 1). La primera busca establecer el conjunto de propiedades ópticas y térmicas que representan el comportamiento de una FVT a fin de insertar este modelo en el software de simulación EnergyPlus™. Para ello se lleva a cabo una medición, simulación y ajuste de un ensayo experimental en condiciones controladas. Esto posibilita integrar la FVT a los modelos de simulación dinámica de comportamiento térmico de edificios con el fin de valorar los aportes termo-energéticos del uso de la tecnología.

La segunda instancia persigue identificar, monitorear y simular un caso de la tipología residencial representativa del área de estudio -vivienda unifamiliar en contexto de baja densidad- para, posteriormente evaluar los beneficios termo-energético de la implementación de la FVT.

Finalmente, la tercera instancia tiene por objetivo identificar el ahorro energético asociado al uso de las FVT en verano, comparando además su desempeño con el de un aislante tradicional utilizado en el medio local, el poliestireno expandido -EPS-.

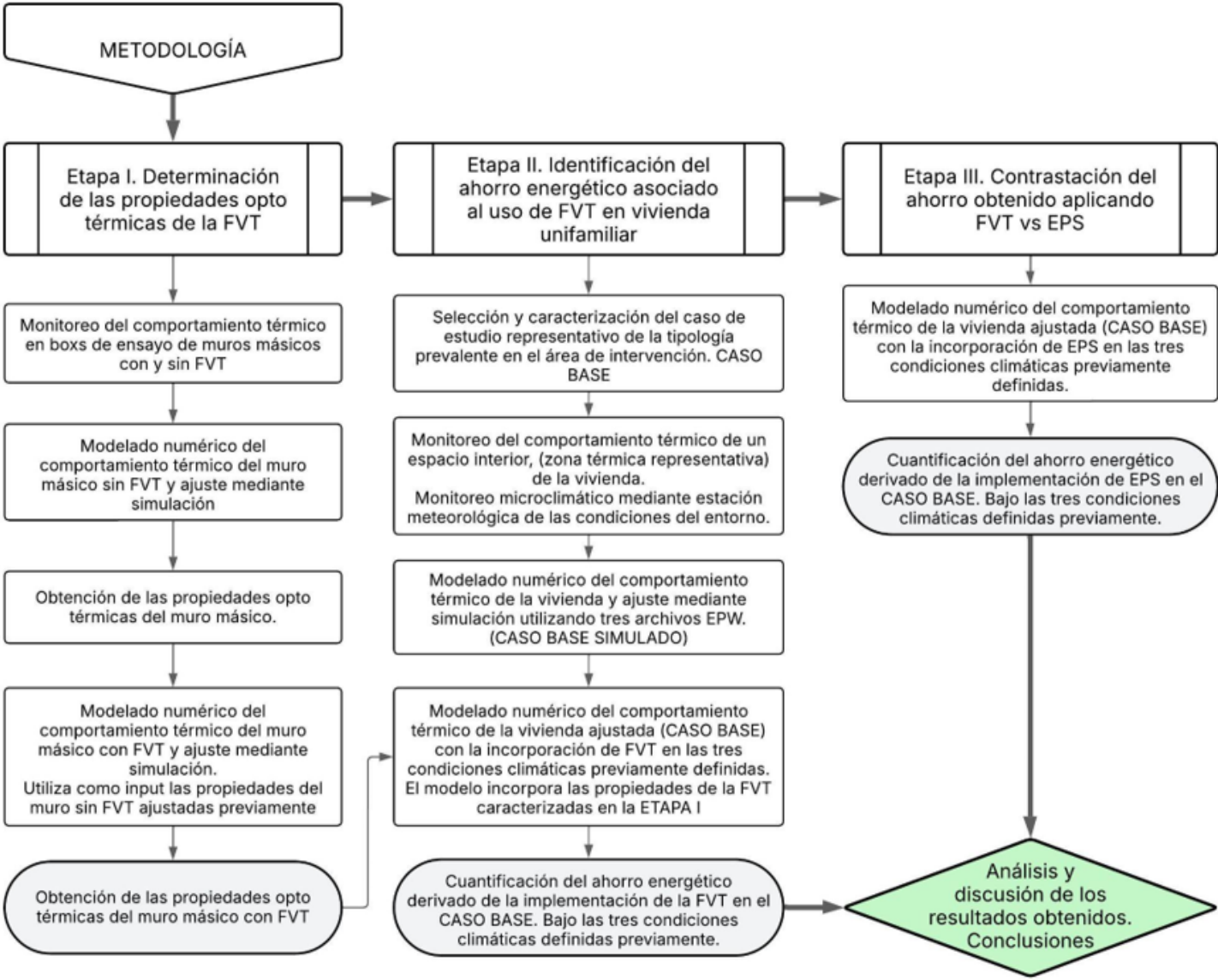


Figura 1: Diagrama de flujo del esquema metodológico empleado. Fuente: elaboración propia

Modelo opto-térmico simplificado de fvt

Para determinar el conjunto de propiedades ópticas y térmicas que representan el comportamiento de una FVT, a fin de insertar la tecnología en el software de simulación, se midió y ajustó un ensayo experimental en condiciones controladas durante el verano 2022. El mismo se ubica en el área experimental del CCT CONICET Mendoza-Argentina (Figura 2). Comprende dos muros de mampostería orientados al Oeste (orientación más desfavorable en verano), aislado en el resto de sus caras para conformar una cámara de aire interior. El primer muro está cubierto con una FVT -Pandorea jazminoides “bignonia blanca”- (MB) que reportó mejor comportamiento entre las especies trepadoras evaluadas (Suárez, Cantón & Correa, 2024). El otro muro se encuentra sin cobertura vegetal y se denomina muro testigo (MT). La especie trepadora fue seleccionada en función de su adaptación al clima local, el

desarrollo de una cobertura foliar próxima al 90% y un valor de espesor vegetal promedio de 0,27 m (Suárez, Cantón, & Correa, 2023).

Los muros con y sin FVT fueron monitoreados durante febrero de 2022. Se seleccionaron 4 días de análisis -15/02/22 al 18/02/22- representativos del clima local (cálidos y con cielo despejado) (Figura 3). Las variables monitoreadas y el protocolo de toma de datos fueron: temperatura y radiación solar exterior; temperatura de la cámara de aire y temperatura superficial de la cara externa e interna de cada muro. Los datos se registraron cada 15 minutos.

Los sensores utilizados son del tipo termistor -HOBO Onset, UX100-003, U30 USB Weather Station-, colocados a 1,30 m de altura en la cámara aire y a 1,60 m de altura en el espacio exterior. Los mismos fueron calibrados previamente para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos y su ubicación se muestra en la Figura 4. Estas dimensiones están en el rango de medidas observadas en modelos experimentales similares reportados en la bibliografía internacional (Coma et al., 2017; Vox, Blanco & Schettini, 2018; Zhang, Yang, et al., 2022).

La modelización térmica se realiza mediante el software EnergyPlus™ y se ajusta la curva de temperatura del aire interior resultante de la simulación a la monitoreada en los boxes de ensayo. Este procedimiento se divide en dos etapas, la primera consiste en el ajuste del muro de mampostería -MT- en el cual apoyará la vegetación, con el objetivo de caracterizar las propiedades opto-térmicas reales de los muros construidos como soporte de la FVT. Y una segunda etapa donde se cargan las propiedades obtenidas del ajuste del muro testigo y se ajusta la curva de temperatura interior del muro con la FVT -MB- mediante simulación.



Figura 2: Ubicación del ensayo experimental. Fuente: elaboración propia.

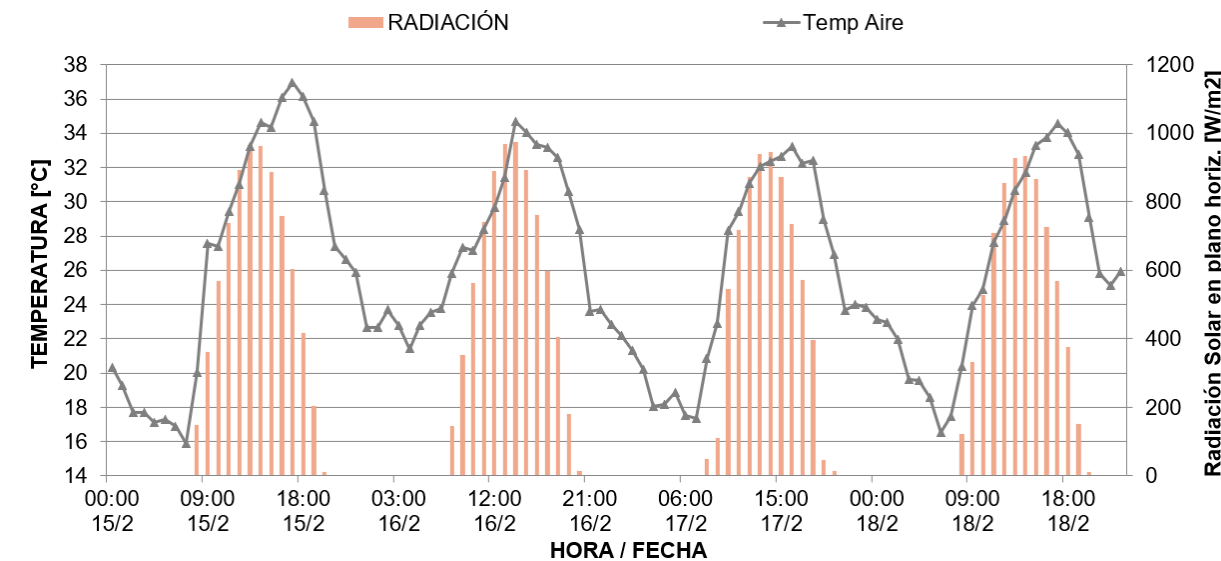


Figura 3: Datos climáticos de radiación y temperatura del aire del período de análisis.

Monitoreo y ajuste de tipología residencial

Para la elección del caso de estudio se establecen dos criterios a fin de asegurar representatividad dentro del ámbito residencial en el AMM. El primero tiene en cuenta que el entorno urbano tenga un mayor desarrollo en la última década. Esto se refleja en el área de baja densidad constructiva ($< 2\text{m}^3/\text{m}^2$) que se ubica en la periferia de la ciudad. El segundo criterio considera la tipología edilicia más difundida, que es la de vivienda en un nivel con perímetro expuesto y posibilidades de incorporación de la estrategia de FVT. Por tanto, el caso de estudio seleccionado corresponde a una vivienda unifamiliar másica en planta baja, de perímetro expuesto, tipología residencial representativa del crecimiento urbano en baja densidad en el AMM y que ofrece posibilidades viables para la incorporación de la estrategia de FVT.

Para asegurar la validez de los resultados, el modelo de simulación sin la aplicación de estrategias fue ajustado contrastando la curva de temperatura del aire interior medida, con la obtenida mediante simulación. Los valores analizados corresponden a los resultados registrados en un espacio de la tipología -zona térmica-.

Luego de ajustar la vivienda con los datos cargados en el simulador, se evalúa sobre este modelo, y mediante EnergyPlus™, el impacto termo-energético de la aplicación de FVT y EPS en la envolvente. La edificación analizada presenta las caras Norte y Oeste con plena exposición solar y las caras Sur y Este en sombra debido a la incidencia de la vegetación colindante (Figura 5a). La vivienda se localiza a 18 km del microcentro de la ciudad, hacia la periferia urbana -33°1'48.03"S, 68°54'20.84"O-. Su microclima muestra una elevada amplitud térmica, máximas y mínimas temperaturas más moderadas que en áreas centrales del AMM donde se encuentra la mayor densidad poblacional. (Figura 5b)

El monitoreo de la vivienda se realiza durante 4 días del mes de febrero (verano) -13/02/23 al 16/02/23-. Las variables medidas son temperatura y radiación solar en el espacio exterior;y en el interior de la zona térmica estudiada. La zona térmica ajustada, en la cual se realizan las simulaciones, corresponden al DORMITORIO 1. Si bien en términos de materialidad la casa muestra los mismos paquetes constructivos para pisos, muros y techos, la elección de este ambiente está asociada a su condición térmica más demandante frente al resto de los ambientes. En primer lugar, porque es el espacio con mayor proporción de muro orientado al Oeste respecto a su volumen de aire interior y en segundo lugar, por ser el ambiente con mayor superficie de envolvente expuesta al exterior y a la radiación solar -cubierta, muro Norte y muro Oeste-. Dada esta condición, es esperable que la aplicación de estrategias conservativas en la cara externa de la envolvente del espacio propuesto muestre las mayores magnitudes de ahorro energético. (Figura 6a)

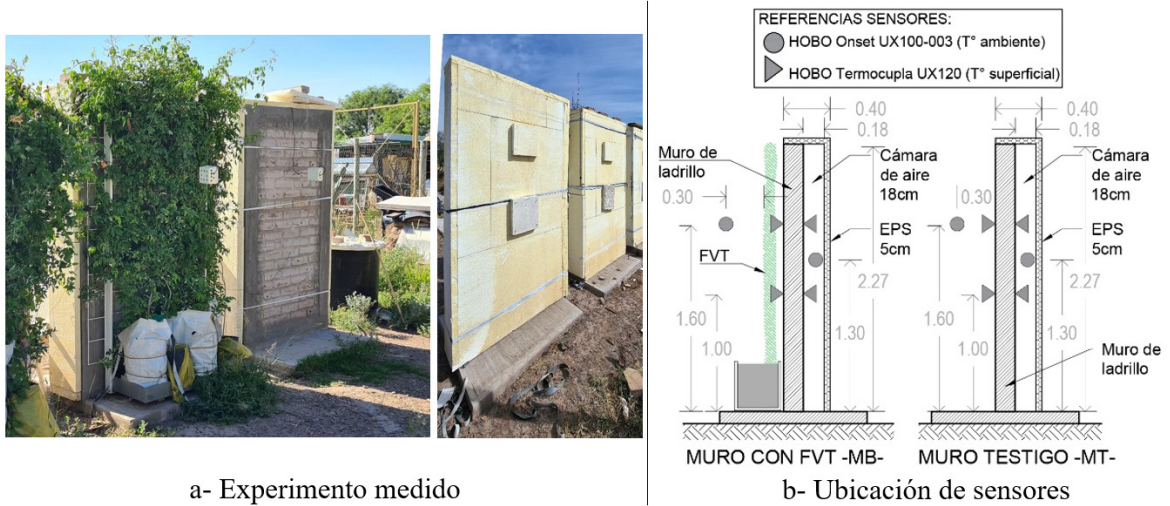


Figura 4: a-Ensayo experimental en condiciones controladas (frente y dorso). b-Ubicación de los sensores. Fuente: elaboración propia.

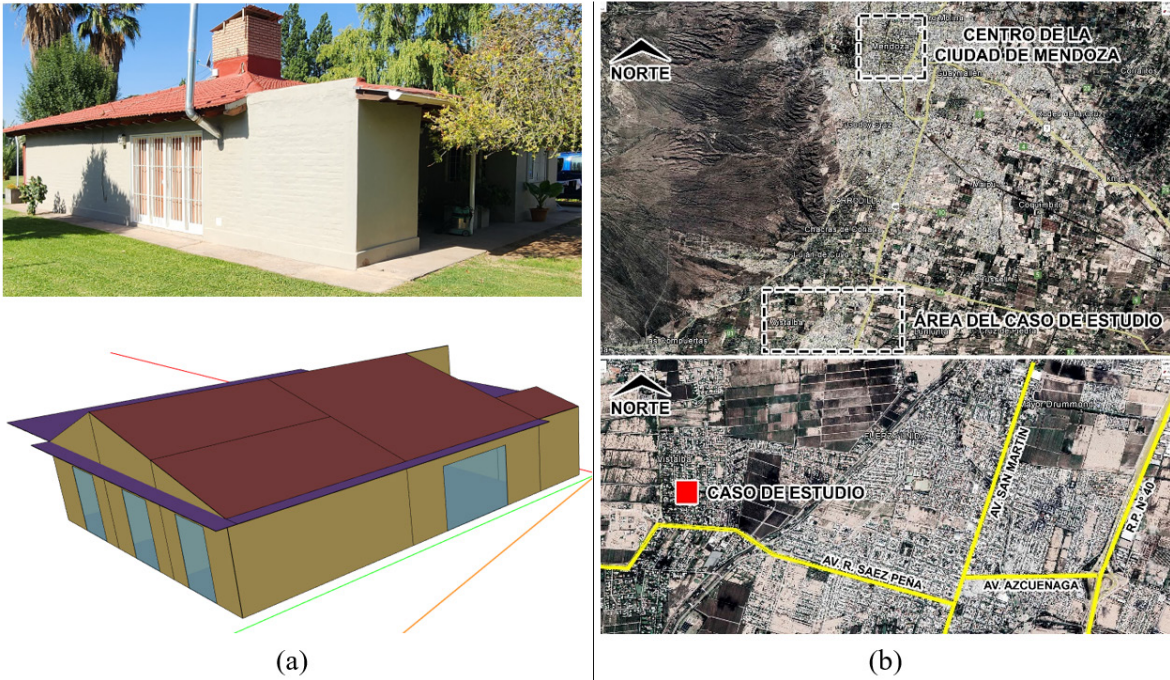


Figura 5: Tipología de vivienda unifamiliar másica de perímetro expuesto (a) y ubicación (b). Fuente: elaboración propia.

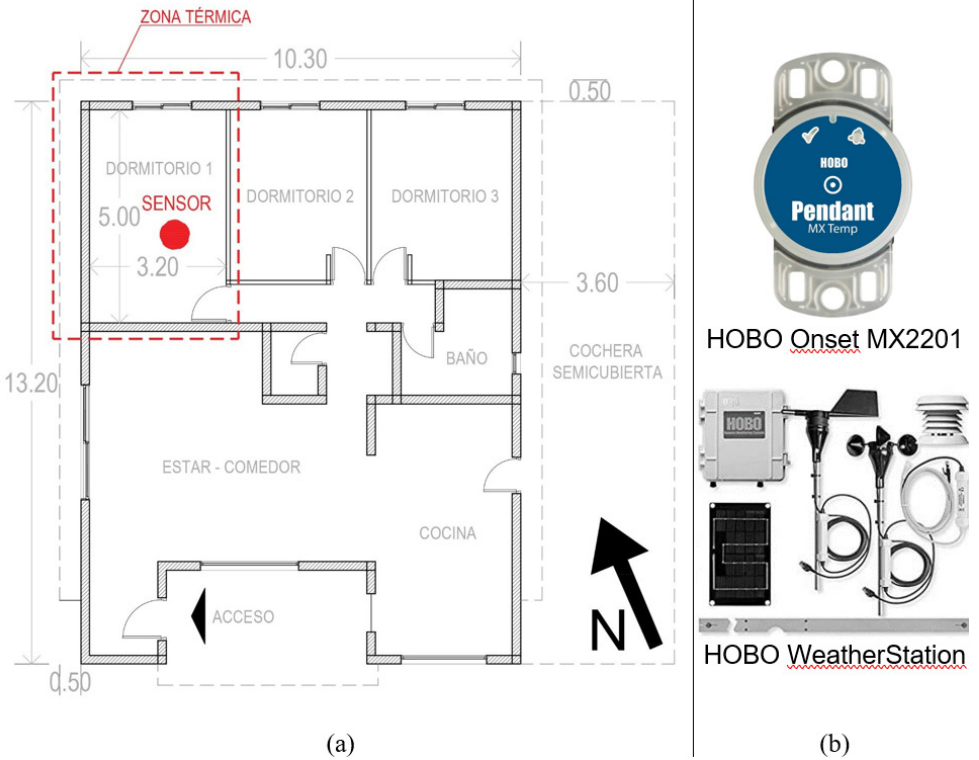


Figura 6: Zona térmica evaluada (a) y equipamiento utilizado (b). Fuente: elaboración propia.

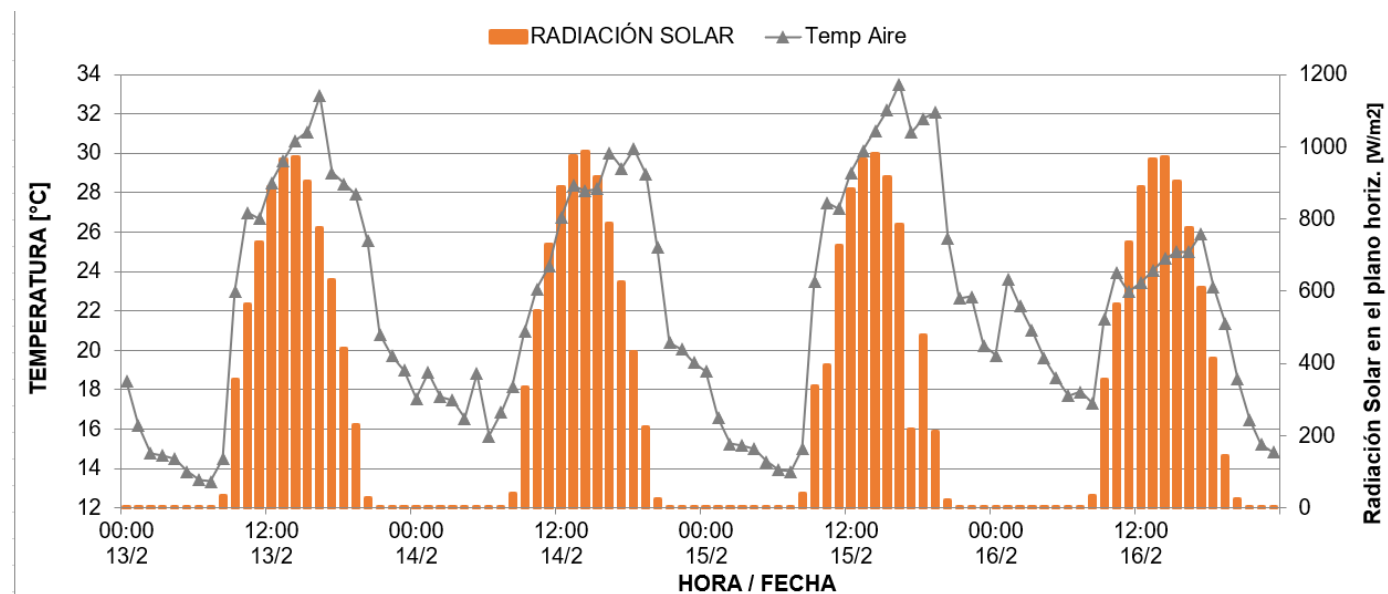


Figura 7: Curvas correspondiente a las variables medidas en el período monitoreado. Fuente: elaboración propia.

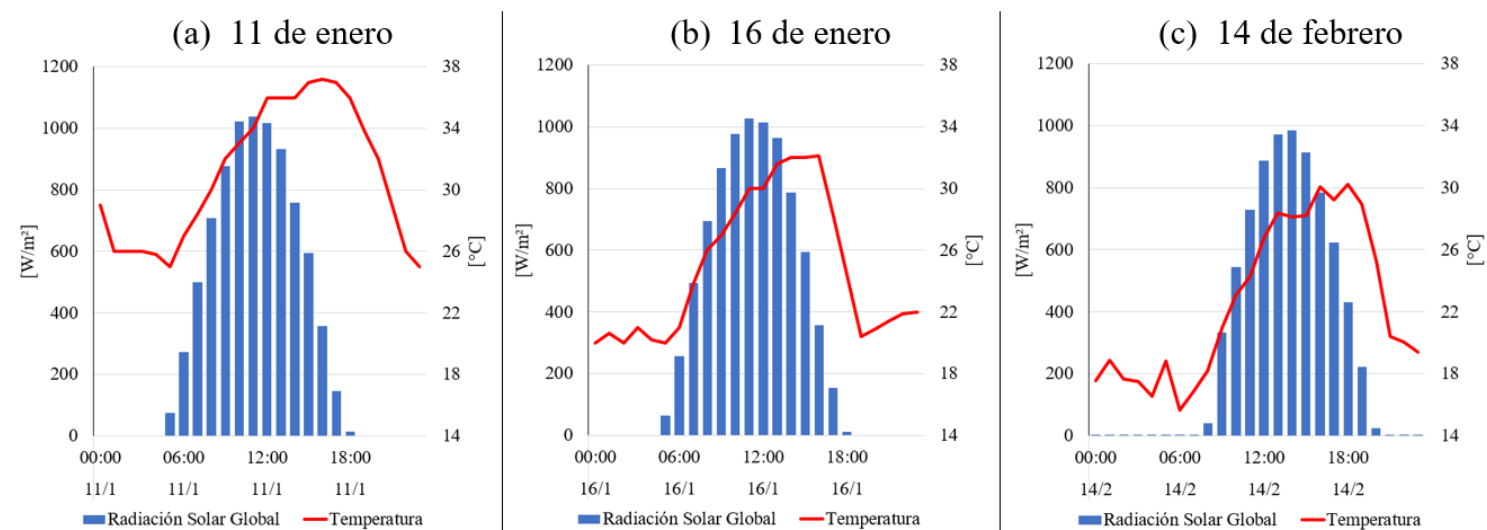


Figura 8: Desempeño de la temperatura y la radiación solar global durante los días de análisis. Fuente: elaboración propia

Los datos se registran cada 15 minutos. Los sensores utilizados son del tipo termistor -HOBO Onset, MX2201- (colocado a 1,60 m de altura en el interior de la vivienda) y estación meteorológica del tipo U30 USB Weather Station (ubicada en un espacio de plena exposición solar en el patio de la misma). (Figura 6b)

Como puede observarse a continuación, los días seleccionados y medidos en el entorno microclimático, son representativos de días cálidos y con cielo claro en verano para el AMM. (Figura 7)

Identificación de la máxima magnitud del impacto energético para enfriamiento asociado al uso de las fvt en verano

Para el análisis de los consumos energéticos, se programa el termostato del simulador en 24°C, temperatura de confort sugerida para el verano. Se ensaya la aplicación de

FVT y EPS en toda la envolvente edilicia con el objeto de identificar el máximo potencial de reducción de consumo energético.

Este análisis se realiza bajo tres configuraciones del archivo climático -epw-: a) un día que registra altas temperaturas de verano correspondiente al TMY 2003-2017, 11 de enero; b) un día que reporta temperaturas medias correspondientes a la estación de verano del TMY 2003-2017, 16 de enero; c) un día de verano configurado a partir de los datos microclimáticos monitoreados en los alrededores de la vivienda, 14 de febrero. La elección de estos días responde a tres criterios: uno que sea representativo de las temperaturas máximas registradas en el AMM; otro correspondiente a las temperaturas promedio históricas; y el tercero, representativo de las variables microclimáticas locales. De esta forma, los resultados obtenidos a partir de las simulaciones reflejan la respuesta en las condiciones del entorno microclimático actual y la que resulta representativa de los días de verano característicos de la última década,

con mayor demanda energética (más cálido) y mayor ocurrencia. (Figura 8)

Las características de los días analizados se muestran en la Tabla 1, en comparación con datos de temperaturas máxi-mas y promedio históricas dados por el SMN para el área de estudio (Estadísticas climatológicas 1991-2020).

	Temp. máx.	Temp. mín.	Temp. máxima media (SMN)	Temp. mínima media (SMN)	Temp. máxima extre- ma (SMN)
Altas temperaturas: 11/01	37.2	25.0	30.7	18.3	40.2
Temperaturas promedio: 16/01	32.1	20.0			
Temperatura microclima: 14/02	30.2	15.7			

Tabla 1: característica de los días de análisis y datos del SMN. Fuente: elaboración propia

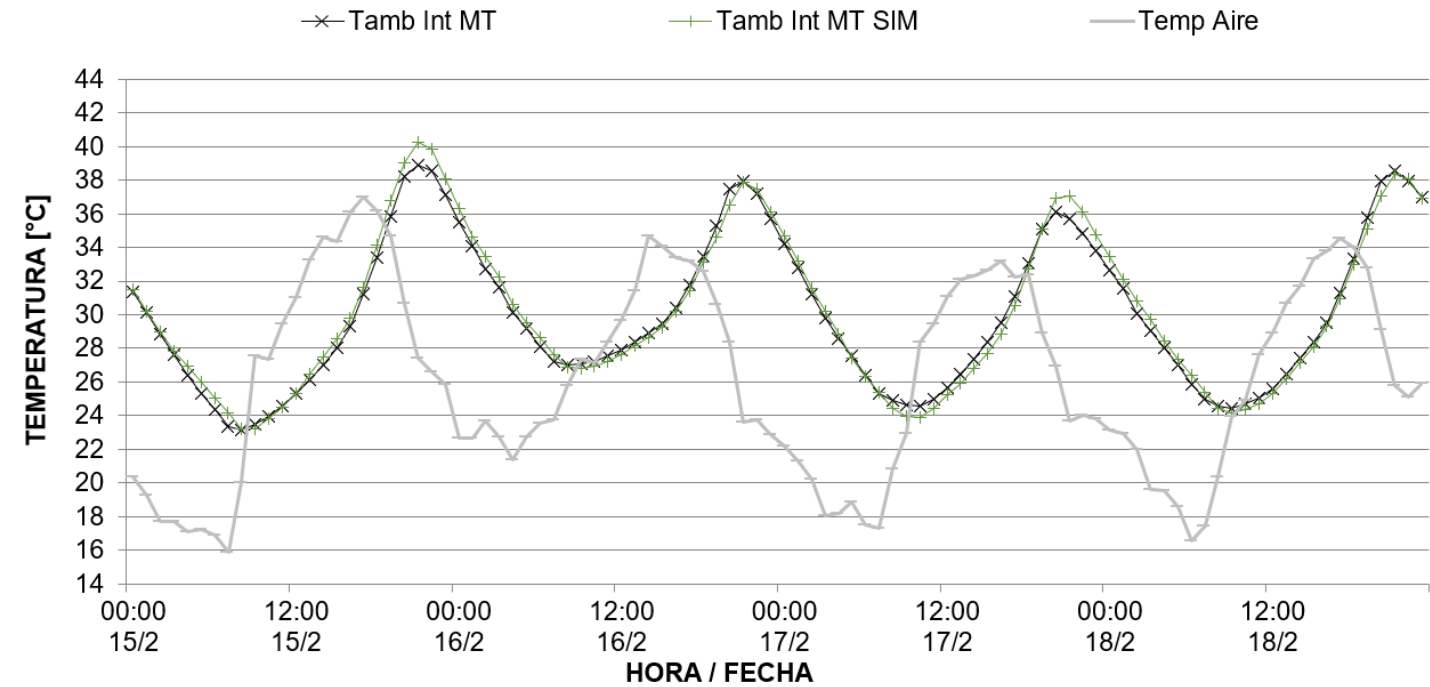


Figura 9: Desempeño de la temperatura ambiente interior simulada y contrastada con la medida en el ensayo experimental. Fuente: elaboración propia.

Resultados

Los resultados del ajuste y simulación de los muros de ensayo en condiciones controladas, y la medición, ajuste y simulación de la tipología edilicia residencial elegida, se organiza en tres etapas:

- Determinación de las propiedades ópticas y térmicas representativas del comportamiento de la FVT en el modelo experimental, simuladas en el software EnergyPlus™.
- Ajuste y validación del modelo térmico de vivienda unifamiliar másica en planta baja de perímetro expuesto.
- Análisis del ahorro energético estival derivado del uso de dos tecnologías en la envolvente; FVT y EPS.

Determinación de las propiedades opto-térmicas que caracterizan la fvt

Se elabora un modelo simplificado representativo de las características ópticas y térmicas de la FVT con la especie trepadora que reportó mejor desempeño térmico y vegetativo (espesor y cobertura) durante el verano 2022 (Pandorea jasminoides “bigonia blanca”) -MB-. Para ello se ajusta primero el muro de mampostería sin vegetación -MT-. (Figuras 9 y 10)

Posteriormente, el modelo ajustado indicado en forma previa se utiliza para caracterizar el funcionamiento de la FVT -MB- durante el verano y para los cuatro días analizados. Ver Fig. 11 y 12. En ambos ajustes, los resultados de la temperatura ambiente interior simulada contrastados con los medidos muestran un Coeficiente R2 de 0.98.

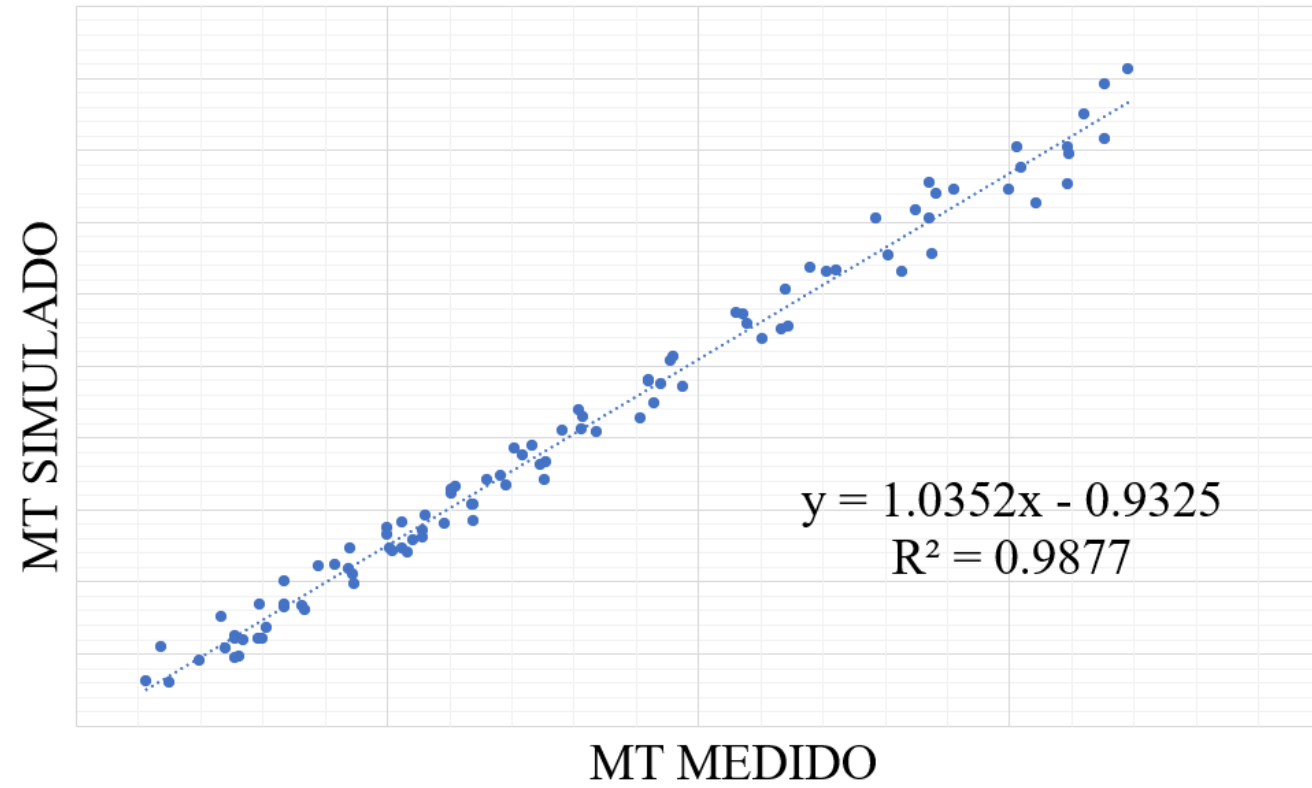


Figura 10: Análisis de regresión de temperatura ambiente interior en MT. Fuente: elaboración propia.

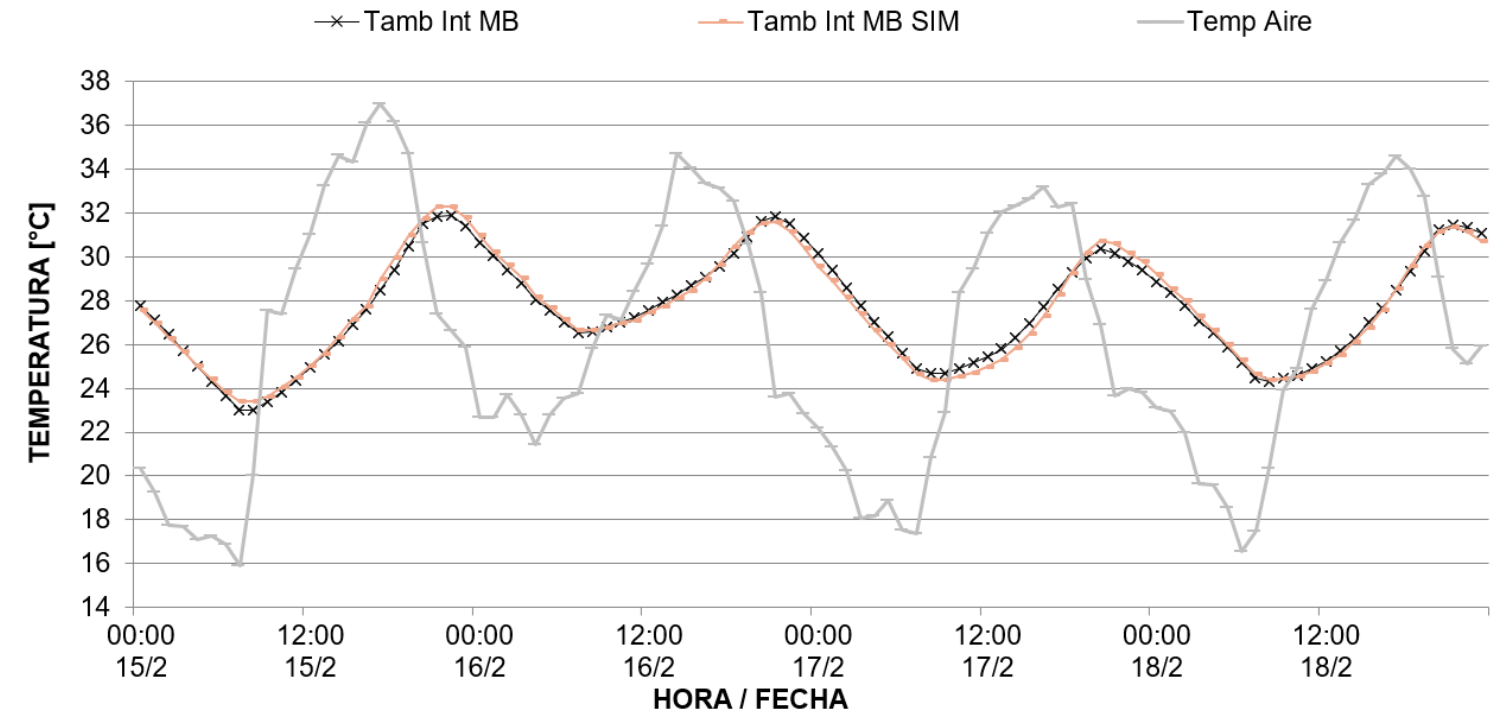


Figura 11: temperatura ambiente interior simulada contrastada con la medida. Fuente: elaboración propia.

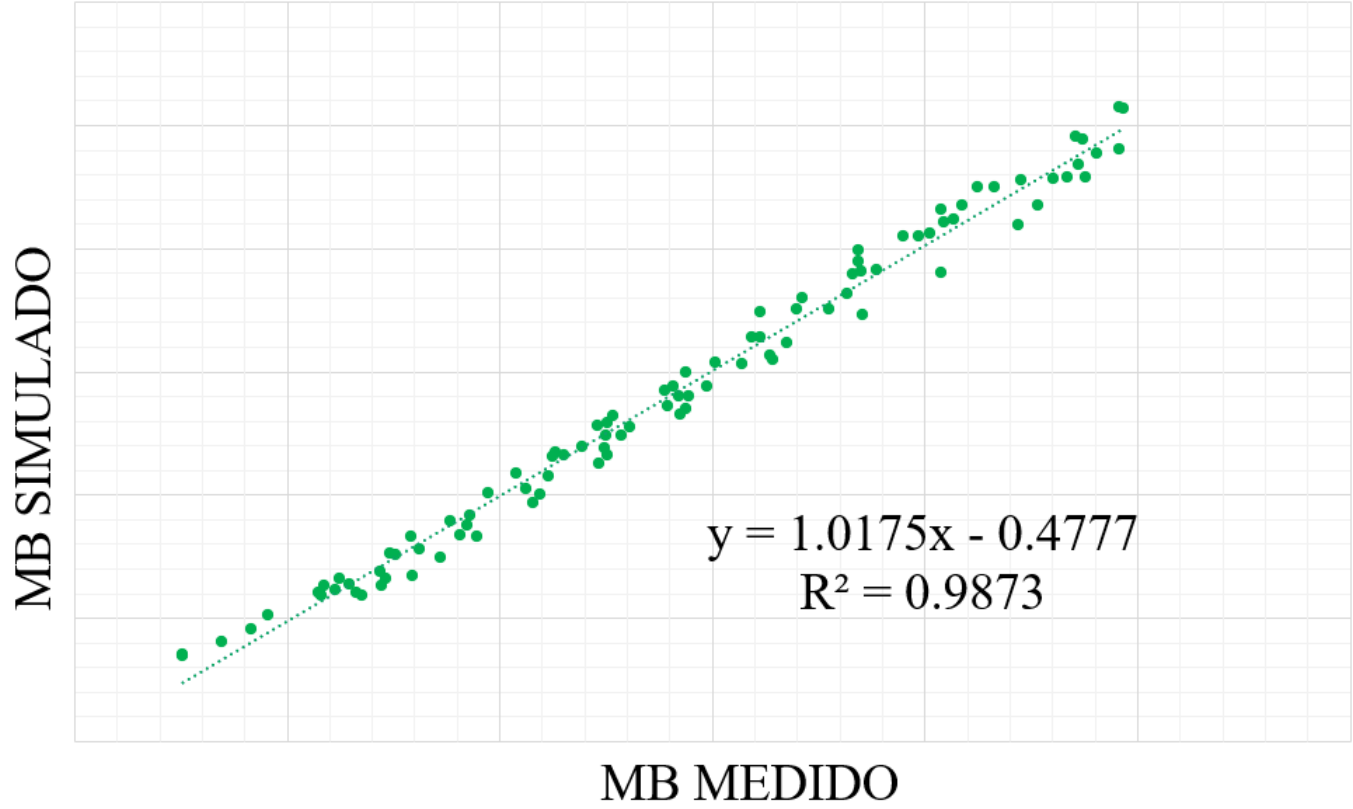


Figura 12: análisis de regresión de temperatura ambiente interior en MB. Fuente: elaboración propia

Posteriormente, las propiedades opto-térmicas de la FVT ajustadas mediante simulación se extrapolan a la tipología de vivienda en estudio.

Ajuste y validación del modelo térmico de vivienda unifamiliar másica en planta baja de perímetro expuesto.

La validación de este modelo comprende mediciones higo-térmicas in situ en el interior de la vivienda, específicamente en un dormitorio inhabitado con orientación Norte y Oeste. Los resultados del ajuste muestran un R2 de 0.97. (Figuras 13 y 14)

Las características de los materiales de construcción empleados en el modelo se encuentran detalladas en la Tabla 2. La vivienda es del tipo másico con muros de ladrillo, que es la tecnología constructiva de mayor difusión en el país. La tecnología es adecuada al clima de localización de la vivienda dado que ofrece la ventaja de la masa térmica cuya inercia permite

amortiguar las oscilaciones de temperatura día/ noche características de la región.

Esto contribuye a disminuir la amplitud térmica interior de la vivienda y mejora las condiciones de confort interior aprovechando los beneficios de la acumulación térmica como mecanismo de acondicionamiento bioclimático de la misma. Sumado, esta tecnología ofrece posibilidades de mejorar su desempeño térmico mediante aislación exterior, ya sea mediante la aplicación de los aislantes tradicionales o las nuevas tecnologías de enverdecimiento vertical, oportunidad que no ofrecen las tecnologías livianas de construcción de viviendas. Por todo lo expuesto se considera que el caso es representativo y su elección es oportuna para verificar los beneficios que ofrecen los sistemas de enverdecimiento vertical.

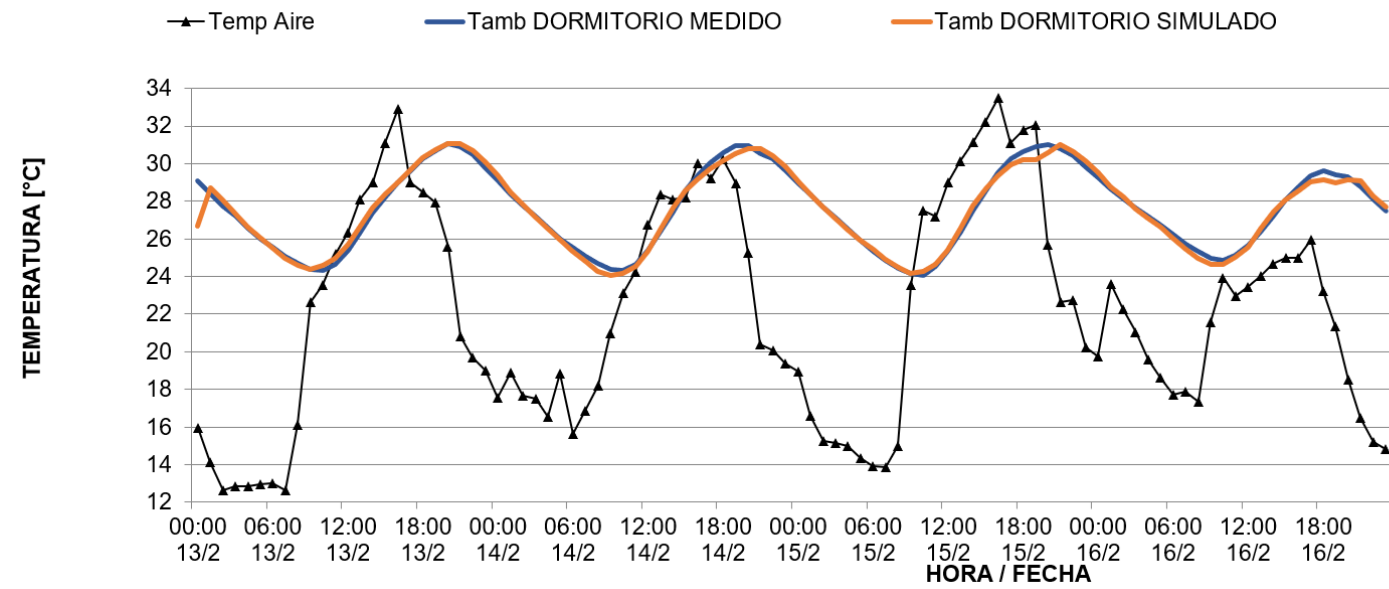


Figura 13: temperatura ambiente interior simulada contrastada con la medida. Fuente: elaboración propia

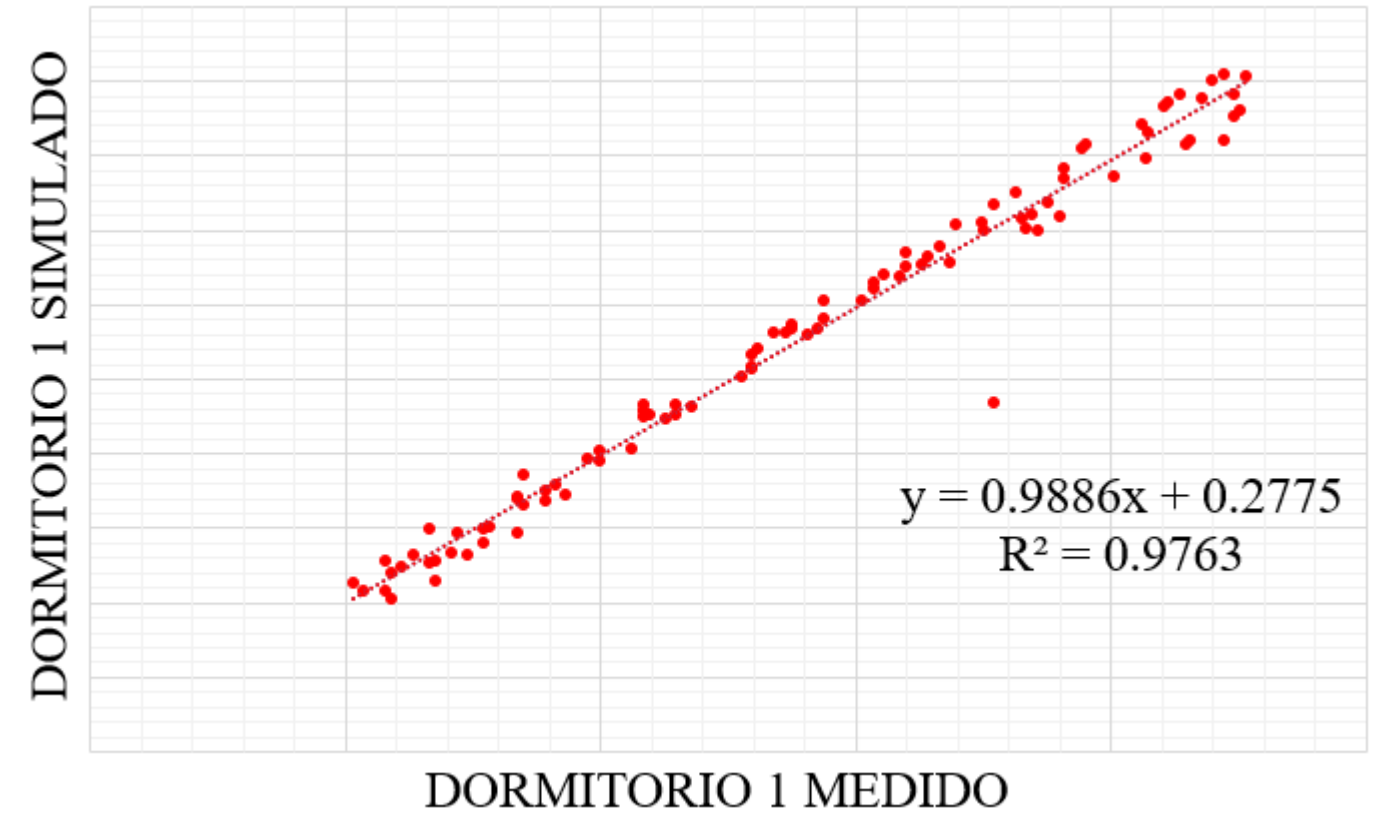


Figura 14: análisis de regresión de temperatura ambiente interior en DORMITORIO. Fuente: elaboración propia

Capa	Rugosidad	Espesor [m]	Conductividad [W/m²K]	Densidad [kg/m³]	Calor específico [J/Kg°K]	Absortancia solar
MURO -EXT-						
Revoque ext.	Liso	0.02	1.16	1900	1000	0.8
Ladrillón	Liso	0.18	1.5	1800	800	0.85
Revoque int.	Liso	0.02	1.16	1900	1000	0.8
MURO -INT-						
Revoque	Liso	0.02	1.16	1900	1000	0.8
Ladrillón	Liso	0.18	1.5	1800	800	0.85
Revoque	Liso	0.02	1.16	1900	1000	0.8
TECHO						
Teja cerámica	Rugoso	0.02	0.7	1650	920	0.8
Lana vidrio	Liso	0.01	0.041	100	750	0.7
Machimbre	Liso	0.025	0.13	600	1380	0.7
PISO						
Contrapiso	Rugoso	0.12	1.63	2400	1050	0.6

Tabla 2: Propiedades de los materiales utilizados en las envolventes del modelo ajustado

	Período de alta temperatura -11 de enero-		Período de temperatura media -16 de enero-	
	Consumo enfriam. [kW/día]	Reducción respecto caso base [%]	Consumo enfriam. [kW/día]	Reducción respecto caso base [%]
Caso base	17.6	---	8.7	---
Caso con FVT -toda la envolvente-	14.4	18.2	6.2	28.7
Caso con EPS -toda la envolvente-	8.2	53.4	3.6	58.6

Tabla 3: Caso Vivienda Individual - Aplicación FVT y EPS en todas las fachadas.

Ahorro energético asociado a la aplicación de fvt en toda la envolvente. Contrastación con los resultados obtenidos de aplicar un aislante tradicional -eps-.

Los resultados obtenidos indican que, para el día correspondiente a las temperaturas máximas de verano, la aplicación de la FVT de 27 cm de espesor en toda la envolvente permite alcanzar reducciones del consumo energético del orden de 18.0 % mientras que la aplicación de EPS de 5 cm de espesor posibilita un ahorro del 53.7 %. Ver Tabla 3.

Para el día correspondiente a las temperaturas promedio de verano; la aplicación de la FVT de 27 cm de espesor en toda la envolvente permite alcanzar reducciones del consumo energético del orden de 28.5 % mientras que la aplicación de EPS de 5 cm de espesor posibilita un ahorro del 58.6 %. Ver Tabla 3.

Las diferencias observadas muestran que la aislación con EPS ofrece mejor desempeño que la aplicación de FVT. Sin embargo, la tipología de vivienda analizada presenta características que benefician las prestaciones del aislante por sobre las del FVT. Entre ellas, se identifican: presencia de grandes aberturas acristaladas de vidrio simple y baja estanqueidad. Esto favorece el enfriamiento nocturno del espacio, lo que beneficia la prestación del aislante en el análisis global.

Se conoce que durante el enfriamiento la aplicación del aislante retarda el enfriamiento del espacio. Esto no puede apreciarse en el caso analizado dado sus características constructivas. Por otro lado, la presencia de aleros sombrea los muros limitando la intercepción de la radiación solar de la FVT. De esta forma las ganancias por calor conductivo a través de los muros toman mayor relevancia en el balance energético que las ganancias por calor radiante, beneficiando a la estrategia de aplicación de EPS.

	Período de alta temperatura -11 de enero-		Período de temperatura media -16 de enero-	
	Consumo enfriam. [kW/día]	Reducción respecto caso base [%]	Consumo enfriam. [kW/día]	Reducción respecto caso base [%]
Caso base con envolvente mejorada	11.9	---	4.5	---
Caso con FVT -toda la envolvente-	8.7	26.4	2.2	49.3
Caso con EPS -toda la envolvente-	2.2	81.8	0.3	93.8

Tabla 4: Caso Vivienda Individual - Aplicación FVT y EPS en todas las fachadas.

Dado que la envolvente original horizontal -techo- presenta baja calidad energética, perjudicando el potencial de reducción de consumo de energía de la incorporación de estrategias en envolventes verticales, se decide mejorarla para los próximos análisis con 5 cm de EPS. De esta forma, la aplicación de FVT o EPS en la totalidad de los muros verticales expuestos eleva los valores de ahorro, los cuales ascienden a 26.4 % para la implementación de la FVT, mientras que se registra un valor de 81.8 % para el caso de EPS durante el día de temperaturas elevadas. Mientras que los valores registrados durante el día de temperaturas promedio son de 49.3 % para la FVT y de 93.8 % para el caso de EPS . Ver Tabla 4.

En términos de calidad energética, la construcción presenta aislación térmica insuficiente en toda la envolvente, con su consecuente impacto en el confort interior. Puntualmente, la aislación térmica en la envolvente horizontal -lana de vidrio- muestra un deterioro avanzado, producto de la reiterada infiltración de agua de lluvia. Esto impacta negativamente en el potencial de mejora en el ahorro de

energía que puedan generar aquellas estrategias que se aplican sobre las envolventes verticales, como son las FVT.

La última evaluación de ahorro energético se realiza bajo un escenario climático construido a partir de los datos microclimáticos monitoreados en febrero de 2023, y sobre el caso de la vivienda con envolvente horizontal optimizada. Dentro de este período, se elige un día con temperaturas promedio representativas del área de estudio: 14 de febrero. Cuando se contrastan estos resultados de simulación a los obtenidos en un día de temperaturas promedio con el EPW correspondiente al TMY Aeropuerto (2003-2017), se observa que la eficiencia de la implementación de la FVT aumenta alrededor de un 20 % para la condición microclimática real del sitio de implantación. Ver Tabla 5. Esto evidencia la importancia de considerar el impacto del microclima local.

Finalmente, para contribuir a una valoración integral de ambas estrategias evaluadas, se comparan datos de inversión económica requerida en el medio local para la ejecución de un metro cuadrado de cada estrategia. Se

	Período de temperatura media (EPW local) -14 de febrero-	
	Consumo enfriam. [kW/día]	Reducción respecto caso base [%]
Caso base con envolvente mejorada	6.7	---
Caso con FVT -toda la envolvente-	2.7	59.8
Caso con EPS -toda la envolvente-	0.6	92.2

Tabla 5: Caso Vivienda Individual - Aplicación FVT y EPS en todas las fachadas medido en un día típico del microclima local.

observa que la construcción de FVT demanda costos que representan un 75% de la inversión necesaria para aislar un muro con EPS. Ver Tabla 6. Esta aproximación al análisis de factibilidad económica refuerza el aporte diferencial de la implementación de estrategias basadas en la naturaleza a las envolventes edilicias, con beneficios adicionales a la salud y al ambiente como la captura de CO2.

Discusión

El desarrollo de la investigación evidencia ahorros de energía cuyas magnitudes son semejantes o superiores a las reportadas en la bibliografía internacional simuladas con EnergyPlusTM (Dong, 2025). Esto se debe mayormente a que el efecto de sombra de las FVT impacta en mayor medida en climas caracterizados por elevadas temperaturas en verano, con predominancia de días claros y alta intensidad de radiación solar, ámbito en el cual se ha desarrollado el estudio. Respecto de la reducción de

consumo en energía por el uso de FV, Zhang, Zhang, & Meng (2022) muestran valores que oscilan entre 6.6 % y 15.8 % para un box de ensayo en orientación Oeste, con envolvente másica y aislación en el resto de las caras y termostato seteado a 26 °C, en clima templado húmedo (Csa). Karimi, Farrokhzad, Roshan, & Aghdasi (2022) encuentran un ahorro energético de 26 % para un edificio educacional con todas las fachadas expuestas protegidas con FVT en clima templado húmedo (Csa). Djedjig, Bozonnet, & Belarbi (2015) informan magnitudes de ahorro entre 37.3 % y 50.6 % para un edificio educacional de tres pisos con las fachadas Este y Oeste protegidas con FVT para dos tipos de clima: oceánico (Cfb) y semiárido cálido (Bsh). En este sentido, los resultados obtenidos en este trabajo, aportan valores de ahorro energético de la implementación de FVT para el clima árido-desértico (BWk). Del análisis del consumo energético necesario para alcanzar condiciones de confort interior (24.0 °C) en la etapa estival, considerando la totalidad de las envolventes expuestas protegidas con FVT -27 cm- y EPS -5 cm- se desprende que: para días de temperaturas elevadas, el ahorro oscila entre el 26.4 %

y 81.8 % para FVT y EPS respectivamente. Y para días de temperaturas promedio, los ahorros energéticos son del orden de 49.3 % y 93.8 % para FVT y EPS.

Dentro de las limitaciones encontradas en el presente estudio se pueden mencionar la baja calidad constructiva en términos de estanqueidad de aire y de aislación térmica, lo cual dificulta alcanzar mayores magnitudes de ahorro energético de estrategias benéficas como las FVT en los ensayos experimentales. Por otra parte, los resultados de ahorro energético reportados corresponden al monitoreo de una vivienda representativa durante un período de tiempo correspondiente a una semana de la estación verano. A futuro se propone analizar períodos de monitoreo de mayor duración y en distintas estaciones del año. Por otra parte presenta la limitación de que al momento de evaluar otras especies trepadoras, es necesario el ajuste y validación experimental del comportamiento de las mismas para su caracterización y posterior inclusión en la simulación termoenergética de la vivienda.

En relación al uso de EPS como material aislante, Blanco, Vox, Schettini & Russo, 2021 observaron para la ciudad de Bari-Italia que la instalación del sistema EPS tuvo mayor costo económico que el sistema con FV Doble Piel (que además es también más costoso que FVT). Además la resistencia térmica total del EPS de 3cm y la FV Doble Piel es similar: 1.54 vs 1.52 -m2 K W-, ambos adosados a muro de mampostería. Los autores encontraron también que el Análisis de Ciclo de Vida dio semejante debido a la estructura metálica que soporta la FV. Si se reemplaza por madera o si se apoya directamente en el muro, como es el caso analizado, el impacto ambiental de la FV se reduce en un 58%. En el caso estudiado en el AMM, se observa que la aislación con EPS ofrece mejor desempeño que la aplicación de FVT para el ahorro energético en verano. Sin embargo el estudio no cuantifica los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos que aporta el enverdecimiento vertical, y que se relacionan con la mejora del microclima, la disminución de la temperatura exterior mediata, la oxigenación y la captura de CO2, entre otros. Teniendo

en cuenta los resultados obtenidos, que demuestran que el ahorro energético de la implementación de FVT es mayor a medida que disminuye la temperatura exterior, la implementación masiva de la estrategia ofrece en sí un potencial de ahorro energético mayor, que la hace más competitiva frente a un material aislante derivado del petróleo como es el EPS.

Por otro lado, cabe aclarar que la vivienda analizada presenta características beneficiosas a las prestaciones del aislante: grandes aberturas con vidrio simple y baja estanqueidad, esto contrarresta el retardo de enfriamiento nocturno que presenta el EPS, lo que mejora sus prestaciones energéticas en términos de ahorro. Además, la presencia de aleros que sombream los muros, limita el efecto de interceptación de la radiación solar de la FVT.

En futuras etapas se propone analizar el ahorro energético neto de la aplicación de ambas estrategias considerando el ciclo de vida de las tecnologías, lo que incorporaría a la fase de uso, la fase de producción. En este sentido, se

infiere que los beneficios asociados a las FVT en viviendas individuales puedan mejorar en forma considerable.

Conclusiones

El trabajo identifica el impacto del uso de FVT sobre la demanda estival de energía para climatización de una tipología de vivienda unifamiliar representativa del área de estudio, y compara sus prestaciones con el uso de un aislante tradicional (EPS). Para ello se elabora un modelo simplificado en EnergyPlus™ que representa las características ópticas y térmicas de una FVT con *Pandorea jazminoides*. Posteriormente, estas propiedades opto-térmicas se incorporaron a la simulación del caso de estudio.

Cuando se contrastan los resultados de simulación obtenidos con el EPW correspondiente al TMY Aeropuerto (2003-2017) versus el EPW construido con los datos

EPS	
MATERIAL	\$ARS/1m²
Poliestireno 5cm	10000
Árido	3750
Cemento	2500
Hidrófugo	1000
Malla metálica	19000
Pintura	16000
Insumos varios	15000
MANO DE OBRA	50000
TOTAL \$ARS	117250
U\$D	85.58

FVT	
MATERIAL	\$ARS/1m²
Plantas	30000
Sustrato	10000
Malla metálica	12500
Insumos varios	10000
MANO DE OBRA	25000
TOTAL \$ARS	87500
U\$D	63.87

Tabla 6: Inversión económica requerida para implementar FVT y EPS en un metro cuadrado de pared

microclimáticos monitoreados en el entorno de la vivienda evaluada, se observa que la eficiencia de la implementación de la FVT aumenta aproximadamente 20 %. Esto pone de manifiesto la importancia de trabajar considerando el impacto del microclima local.

El ahorro energético del uso de FVT representa el 35% del que ofrece usar EPS en verano y con altas temperaturas; y representa el 50% para el caso de temperaturas promedio. Si los datos climáticos utilizados en el simulador provienen de mediciones in-situ, este porcentaje asciende al 65%. Sin embargo, cabe señalar que el enverdecimiento genera beneficios ecosistémicos y disminuye la huella de carbono en relación al uso de EPS.

Se verifica que la prestación de la tecnología respecto del ahorro energético para verano es mayor en días cálidos de temperatura promedio y desciende para los días cálidos con temperaturas extremas. Sin embargo, importa aclarar que los días cálidos de temperatura media son más representativos de la condición de verano, es decir,

aquella para la que el desempeño de la FVT muestra su mejor desempeño. Se demuestra la importancia de implementar FVT en viviendas cuya envolvente horizontal esté correctamente aislada. Bajo esta condición, la estrategia mejora su performance hasta 69% para el día de altas temperaturas y hasta 58% para el día de temperatura promedio en verano.

Finalmente, se puede establecer una serie de recomendaciones de aplicación masiva en proyectos a escala urbana de vivienda social en un nivel. La implementación de FVT, de aplicación simple y bajo costo de mantenimiento, es factible principalmente en orientaciones Este y Oeste, por ser las más demandantes térmicamente en climas áridos o templados cálidos. Para potenciar sus efectos benéficos sobre los consumos de energía, se recomienda verificar la aplicación efectiva de aislación en cubierta y la estanqueidad de los espacios interiores a partir de una buena calidad de aberturas y su correcta instalación.

Aprobación final del artículo

Ma. Arq. Andrea Castro Marcucci, editora en jefe aprobó la publicación de este artículo.

Contribución de autoría

Pablo Suárez: El autor ha participado en los procesos de conceptualización, responsable del proyecto de investigación, elaboración del manuscrito, revisión y edición del manuscrito.

Claudia Martínez: La autora ha participado en los procesos de conceptualización, responsable del proyecto de investigación, elaboración del manuscrito, revisión y edición del manuscrito., preparación del manuscrito, elaboración del manuscrito, revisión y edición del manuscrito.

Érica Correa: La autora ha participado en los procesos de conceptualización, responsable del proyecto de investigación, elaboración del manuscrito, revisión y edición del manuscrito.

Referencias

Blanco, I., Vox, G., Schettini, E., & Russo, G. (2021). Assessment of the environmental loads of green façades in buildings: a comparison with un-vegetated exterior walls. *Journal of Environmental Management*, 294, 112927. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112927>

Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J., & Beecham, S. (2018). Vertical greenery systems : A systematic review of research trends. *Building and Environment*, 146(August), 226-237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.045>

Caballero Montes, J. L., Ríos Ventura, F. G., & Alavéz Ramírez, R. (2024). Mejoramiento de la habitabilidad de la vivienda construida con fondos de remesas mediante estrategias bioclimáticas pasivas Habitability improvement of remittance funds built housing through passive bioclimatic strategies Melhoria da habitabilidade da cas. *Anales de Investigación En Arquitectura*, 14(1). <https://doi.org/10.18861/ania.2024.14.1.3427>

Coma, J., Pérez, G., de Gracia, A., Burés, S., Urrestarazu, M., & Cabeza, L. F. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, 111, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014>

Correa, E., Ruiz, M. A., Canton, A., & Lesino, G. (2012). Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza, Argentina. *Building and Environment*, 58, 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.06.007>

Djedjig, R., Bozonnet, E., & Belarbi, R. (2015). Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 86, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.057>

Dong, Q. (2025). Energy Simulation-Based Design Optimization for Residential Buildings Using EnergyPlus. 9th International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA), Singapore, Singapore, 2025, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICGEA64602.2025.11009325>

EnergyPlus, Copyright (c) 1996-2021, The Board of Trustees of the University of Illinois, The Regents of the University of California, through Lawrence Berkeley National Laboratory (subject to receipt of any required approvals from the U.S. Dept. of Energy), Oak Ridge National Laboratory, managed by UT-Battelle, Alliance for Sustainable Energy, LLC, and other contributors.

Esteves Miramont, A., Gelardi, D., & Balter, J. (2009). Vivienda unifamiliar solar pasiva en el centro-oeste de Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/98570>

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>

Karimi, K., Farrokhzad, M., Roshan, G., & Aghdasi, M. (2022). Evaluation of effects of a green wall as a sustainable approach on reducing energy use in temperate and humid areas. *Energy and Buildings*, 262, 112014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112014>

Mazzocco, M. P., Filippín, C., Sulaiman, H., & Larsen, S. F. (2018). Performance energética de una vivienda social en Argentina y su rehabilitación basada en simulación térmica. *Ambiente Construído*, 18(4), 215-235. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400302>

Pérez, G., Coma, J., Sol, S., & Cabeza, L. F. (2017). Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Applied Energy*, 187, 424–437. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.055>

Pujol, M. O., & Bisbal-grandal, I. (2019). DIVERSIDAD EN LA DISPERSIÓN: MORFOLOGÍA DE LAS ÁREAS RESIDENCIALES EN EL PERIURBANO DEL GRAN MENDOZA. *Revista Urbano*, 20, 46–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.22320/07183607.2019.22.40.03>

Suárez, P., Cantón, M. A., & Correa, É. (2023). Comportamiento térmico estacional de fachadas verdes conformadas por especies trepadoras perennes en muros másticos orientados al oeste. Estudio de casos en zonas áridas. *Cuaderno Urbano*, 35(35), 83–105. <https://doi.org/10.30972/crn.35356773>

Suárez-Gómez, P. A., Cantón-Ivanissevich, M. A., & Correa-Cantaloube, Érica N. . (2024). Evaluación de estrategias de enverdecimiento vertical en clima árido: el caso de las fachadas verdes. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 26(2), 75-90. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.5014>

Vargas-Hernández JG, J Zdunek-Wielgołaska. 2021. Urban green infrastructure as a tool for controlling the resilience of urban sprawl. *Environment, Development and Sustainability* 23: 1335-1354. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00623-2>

Vox, G., Blanco, I., & Schettini, E. (2018). Green façades to control wall surface temperature in buildings. *Building and Environment*, 129(September 2017), 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.002>

Zhang, Y., Yang, Y., Zhang, L., Zhao, C., Yan, J., Liu, M., & Zhao, L. (2022). Seasonal variation in leaf area index and its impact on the shading effects of vertical green facades in subtropical areas. *Building and Environment*, 225(May), 109629. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109629>

Zhang, Y.,Zhang, L.,&Meng, Q. (2022). Dynamic heat transfer model of vertical green façades and its co-simulation with a building energy modelling program in hot-summer/warm-winter zones. *Journal of Building Engineering*, 58(March), 105008. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105008>