



Estrategias pasivas frente al cambio climático en viviendas sociales: una revisión para climas templados

Recibido: 2025-01-23

Aceptado: 2025-07-17

Cómo citar este artículo:

Mateo, M. P., Barea-Paci, G. J., Ganem, C., y Molina, M. C. (2025). Estrategias pasivas frente al cambio climático en viviendas sociales: una revisión para climas templados. *Revista INVI*, 40(115), 436-461.

<https://doi.org/10.5354/0718-8358.2025.77580>

María Pía Mateo

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza, Argentina,

mpmateo@mendoza-conicet.gob.ar

 <https://orcid.org/0009-0002-9069-1150>

Gustavo Javier Barea-Paci

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza, Argentina,

gbarea@mendoza-conicet.gob.ar

 <https://orcid.org/0000-0002-5643-3206>

Carolina Ganem

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza, Argentina,

cganem@mendoza-conicet.gob.ar

 <https://orcid.org/0000-0002-1431-1219>

María Cecilia Molina

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza, Argentina,

mcmolina@mendoza-conicet.gob.ar

 <https://orcid.org/0009-0005-8847-5995>



Estrategias pasivas frente al cambio climático en viviendas sociales: una revisión para climas templados

Palabras clave: vivienda social, adaptabilidad climática, eficiencia energética, viabilidad económica.

Resumen

El cambio climático está transformando las demandas energéticas de los edificios, especialmente en viviendas sociales, posicionando a las estrategias pasivas de diseño como soluciones sostenibles y viables. Esta revisión sistemática analiza 42 publicaciones (2017–2024) con el objetivo de examinar y discutir el estado del arte sobre las estrategias pasivas de diseño aplicadas a viviendas sociales en climas templados semiáridos fríos, identificar estrategias efectivas y evaluar las barreras para su implementación. El estudio se estructura en torno a tres dimensiones clave: adaptabilidad climática, eficiencia energética y viabilidad económica. El análisis indica que, entre las estrategias más destacadas, la ventilación natural y nocturna (71 %) y el sombreado (55 %) son fundamentales para mitigar el sobrecalentamiento. Este trabajo ofrece una perspectiva integrada -pocas veces abordada en estudios previos- y propone líneas de investigación futuras para subsanar los vacíos existentes, como: la falta de análisis costo-beneficio a largo plazo frente a escenarios de cambio climático; la necesidad de evaluaciones del ciclo de vida; y el desarrollo de herramientas de financiamiento accesibles. En conclusión, esta revisión contribuye a la comprensión de soluciones habitacionales sostenibles y equitativas, integrando el confort térmico con estrategias para combatir la pobreza energética en contextos de alta vulnerabilidad climática.



Passive Strategies for Climate Change Mitigation in Social Housing: A Review for Temperate Climates

Abstract

Climate change is transforming the energy demands of buildings, with especially significant impacts on social housing, positioning passive design strategies as sustainable and viable solutions. This systematic review analyzes 42 publications (2017–2024) to examine and discuss the state of the art on passive design strategies applied to social housing in cold semi-arid temperate climates, identify effective strategies, and evaluate barriers to their implementation. The study is structured around three key dimensions: climate adaptability, energy efficiency, and economic viability. The analysis indicates that among the most prominent strategies, natural and night ventilation (71 %) and shading (55 %) are essential to mitigate overheating. This work offers an integrated perspective, rarely addressed in previous studies, and proposes future research directions to address existing gaps, such as the lack of long-term cost-benefit analyses under climate change scenarios, the need for life-cycle assessments, and the development of accessible financing tools. In conclusion, the review contributes to the understanding of sustainable and equitable housing solutions by integrating thermal comfort with strategies to combat energy poverty in climate-vulnerable contexts.

Keywords: Social housing, climate adaptability, energy efficiency, economic viability.



Estratégias passivas para a mitigação das mudanças climáticas em habitações de interesse social: uma revisão para climas temperados

Palavras-chave: habitação de interesse social, adaptabilidade climática, eficiência energética, viabilidade econômica.

Resumo

As mudanças climáticas estão transformando as demandas energéticas dos edifícios, especialmente em habitações de interesse social, posicionando as estratégias passivas de design como soluções sustentáveis e viáveis. Esta revisão sistemática analisa 42 publicações (2017 – 2024) com o objetivo de examinar e discutir o estado da arte sobre as estratégias passivas de design aplicadas a habitações de interesse social em climas temperados semiáridos frios, identificar estratégias eficazes e avaliar as barreiras para sua implementação. O estudo está estruturado em três dimensões principais: adaptabilidade climática, eficiência energética e viabilidade econômica. A análise indica que, entre as estratégias mais destacadas, a ventilação natural e noturna (71%) e o sombreamento (55%) são fundamentais para mitigar o superaquecimento. Este trabalho oferece uma perspectiva integrada, raramente abordada em estudos anteriores, e propõe linhas de pesquisa futuras para suprir lacunas existentes, como a falta de análises custo-benefício a longo prazo em cenários de mudanças climáticas, a necessidade de avaliações do ciclo de vida e o desenvolvimento de ferramentas de financiamento acessíveis. Em conclusão, esta revisão contribui para a compreensão de soluções habitacionais sustentáveis e equitativas, integrando o conforto térmico com estratégias para combater a pobreza energética em contextos de alta vulnerabilidade climática.

Introducción

El creciente interés por desarrollar estrategias bioclimáticas que optimicen el uso de recursos naturales se produce en un contexto global donde el cambio climático y la sostenibilidad son preocupaciones fundamentales. En este contexto, las *estrategias pasivas de diseño* (en adelante EPD) se presentan como soluciones para minimizar el consumo energético y mejorar el confort térmico sin depender de sistemas de climatización activos. Las EPD aprovechan recursos naturales como la radiación solar y las condiciones climáticas locales. Sin embargo, como advierte el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]), los esfuerzos para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero no han sido suficientes para prevenir cambios en el clima.

La implementación de estas estrategias conlleva desafíos significativos. Por un lado, las tendencias actuales muestran un aumento en las temperaturas globales y una frecuencia cada vez mayor de los fenómenos meteorológicos extremos (Dong *et al.*, 2024). El IPCC (2023a) informa que la temperatura media global ha aumentado 1,09 °C desde la era preindustrial y proyecta que un calentamiento de 1,5 °C intensificaría estos eventos, afectando desproporcionadamente a las poblaciones vulnerables en países en desarrollo. Según la International Energy Agency (2024), una gran parte de estas poblaciones aún carece de acceso a energía moderna. Además, el crecimiento de la demanda de sistemas activos -como aires acondicionados- podría incrementar significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (Chalmers, 2015).

Por otro lado, la adopción de EPD se enfrenta a barreras económicas y técnicas, especialmente en las viviendas sociales (Mejica *et al.*, 2008). El diseño e instalación de estas soluciones a menudo implican altos costos iniciales y requieren tecnologías avanzadas que, en contextos de bajos ingresos, son poco accesibles. A ello se suma la falta de políticas públicas que promuevan su implementación, así como la financiación insuficiente, la limitada transferencia tecnológica, las evaluaciones inadecuadas de riesgos climáticos y los mercados de capitales débiles (IPCC, 2023b).

La perspectiva de justicia climática, planteada por autores como Jan *et al.* (2023), subraya la necesidad de integrar las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático con políticas sociales que garanticen la equidad y la sostenibilidad. De manera similar, la *economía del donut* (“La economía del donut”, 2018) propuesta por Raworth (2018) ofrece un marco para equilibrar las necesidades humanas básicas con los límites planetarios, promoviendo soluciones habitacionales respetuosas con el medio ambiente (Huertas Angulo, 2019).

La literatura ha demostrado que las EPD son efectivas para mitigar los impactos del cambio climático en distintos contextos climáticos. Investigaciones recientes (Arcas-Abella *et al.*, 2011; Cantón *et al.*, 2014; Guo *et al.*, 2024; Hampo *et al.*, 2024; Piña Hernández, 2018; Shen y Lior, 2016; Tajuddeen y Sajjadian, 2024) resaltan la importancia de rediseñar estas estrategias para adaptarlas a escenarios climáticos futuros. Por ejemplo, en Mendoza (Argentina), se proyecta que el aumento de las temperaturas reducirá las horas anuales

de confort térmico en un 20 %, lo que incrementará la necesidad de enfriamiento pasivo en un 24 % (Barea *et al.*, 2023). Además de los beneficios ambientales, las EPD contribuyen a reducir la pobreza energética: Pobreza energética es un concepto introducido por Boardman (1991) que se refiere a la incapacidad de los hogares para acceder a servicios energéticos básicos (Viñuela *et al.*, 2021). En este sentido, la arquitectura bioclimática puede desempeñar un papel clave al proporcionar soluciones sostenibles que disminuyan el consumo energético y que, a su vez, supongan una mejora de la calidad de vida de sus habitantes (Felmer Plominsky *et al.*, 2023; Fernández *et al.*, 2023; Jayalath *et al.*, 2024; Okushima, 2016).

Los objetivos de este trabajo son: 1) analizar el estado del arte sobre las EPD aplicadas a viviendas sociales en climas templados semiáridos y 2) identificar estrategias efectivas y evaluar las barreras que dificultan su implementación. A través de una revisión sistemática de la literatura, se busca proporcionar un marco conceptual que integre las siguientes tres áreas clave:

- 1.- **Adaptabilidad climática:** Examinar cómo las EPD pueden responder a las proyecciones de cambio climático y contribuir a la resiliencia térmica en climas templados semiáridos.
- 2.- **Eficiencia energética:** Evaluar estrategias pasivas que optimicen el desempeño térmico y reduzcan la dependencia de sistemas activos de climatización.
- 3.- **Viabilidad económica:** Investigar los costos iniciales, los beneficios a largo plazo y las políticas de apoyo necesarias para fomentar la adopción de las EPD en contextos de bajos recursos.

Este enfoque integral que articula dimensiones climáticas, técnicas y económicas, ha sido poco explorado de manera conjunta en revisiones anteriores, lo que representa una contribución original para abordar los desafíos relacionados a la pobreza energética, el confort térmico y la implementación de las EPD adaptadas al cambio climático en viviendas sociales. El clima templado (BSk, semiárido frío), objeto de estudio en este trabajo, presenta condiciones específicas que lo hacen especialmente pertinente para la aplicación de EPD. Se caracteriza por una alta heliofanía, temperaturas medias anuales inferiores a 18 °C y una marcada oscilación térmica tanto diaria como estacional. Estos factores inciden directamente en el desempeño energético y la estabilidad térmica interior y son condiciones que, aunque no extremas, exigen estrategias combinadas de calefacción y enfriamiento -a menudo dentro del mismo día- lo que los distingue de climas más estables y dificulta la extrapolación directa de los resultados. En viviendas de bajos recursos, donde se suelen presentar envolventes poco especializadas, estas fluctuaciones se traducen en mayores consumos energéticos auxiliares. En consecuencia, se vuelve imprescindible la adopción de soluciones pasivas versátiles y dispositivos practicables, lo que plantea desafíos técnicos y económicos significativos en escenarios marcados por la vulnerabilidad climática.

Metodología

El estudio utiliza un enfoque cualitativo de revisión sistemática para analizar la implementación de las EPD en viviendas sociales en climas templados. La búsqueda principal se realizó en agosto de 2024 en la base de datos *ScienceDirect*. Se emplearon operadores booleanos con la cadena de búsqueda: “*passive solar systems*” OR “*passive strategies*” AND “*social housing*” AND (((“*temperate climate*” OR BSk) OR BSh) OR BWk) OR BWh), y filtros: por tipo de documento (*research* y *review*) y por período de publicación (2019–2024). Esta estrategia arrojó un total de 168 resultados.

Posteriormente, se establecieron los criterios de inclusión que consideraron aquellos artículos que abordaran al menos uno de los tres ejes analíticos: eficiencia energética, adaptación climática y análisis costo-beneficio o aspectos socioeconómicos vinculados a la vivienda social. Se priorizaron investigaciones centradas en climas templados o similares, funcionales o adaptables al clima BSk según la clasificación *Köppen-Geiger* (Kottek *et al.*, 2006). Para validar esta correspondencia climática, se contemplaron referencias explícitas y ubicación geográfica referenciada o extrapolada de condiciones climáticas térmicas equivalentes. En contraposición, se excluyeron: los estudios enfocados en estrategias no accesibles económicamente para contextos de vivienda social; aquellos desarrollados en climas ecuatoriales, con condiciones diarias constantes o no representativos del análisis; estudios sin evidencia empírica o cuantitativa; y trabajos centrados exclusivamente en tecnologías activas.

Como se muestra en la Figura 1, se siguió un proceso de filtrado basado en el protocolo PRISMA simplificado (Page *et al.*, 2021). Mediante la lectura de títulos, se seleccionaron 90 artículos pertinentes y tras revisar los resúmenes y las palabras clave, se descartaron 52 documentos. De los 28 estudios restantes, se identificaron 14 artículos adicionales a partir de las referencias citadas: cinco de ellos, correspondientes a los años 2017 y 2018, fueron incorporados por su temática; los nueve restantes fueron localizados en *Google Scholar*. La revisión final incluyó un total de 42 artículos.

El análisis se estructuró en tres fases principales (Figura 2):

1. Organización de la literatura: Los estudios seleccionados se clasificaron utilizando un gestor bibliográfico. También se consultaron informes del IPCC y de la International Energy Agency, debido a su relevancia en políticas energéticas y climáticas.
2. Clasificación temática: Se agruparon según los ejes temáticos: adaptabilidad climática, eficiencia energética y barreras económicas, mediante la identificación de palabras clave (Figura 3). Se elaboraron tablas de referencia que incluyeron datos como los autores, el año de publicación, el tipo de literatura y los principales resultados (Anexo).

3. Discusión: Se identificaron estrategias prometedoras transferibles a la vivienda social en climas templados y se propusieron líneas de investigación futura. Esta metodología proporciona una base integral para evaluar el rol de las EPD, mediante un enfoque descriptivo que equilibra la profundidad del análisis cualitativo con el rigor en la selección, organización y sistematización de la evidencia.

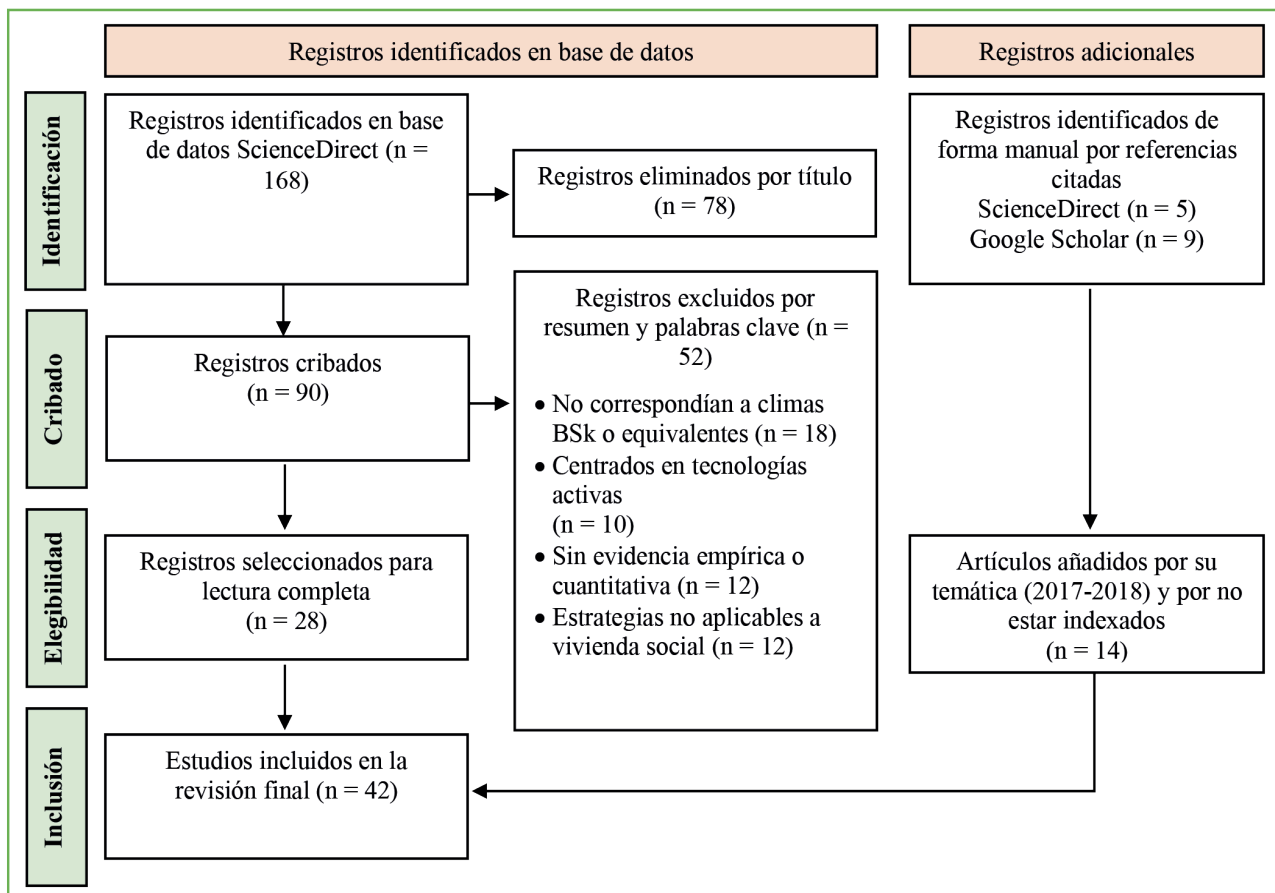
Resultados

La tabla de sistematización de los resultados incluida en el Anexo ofrece una síntesis estructurada de los hallazgos y organiza los estudios en torno a tres ejes centrales: adaptabilidad climática, eficiencia energética y viabilidad económica. Esta clasificación facilita la comparación transversal e identifica estrategias recurrentes, cuya coherencia resulta adecuada tanto a las particularidades del clima BSk como a las condiciones sociales de los contextos donde se implementan. Los datos cuantitativos que acompañan el análisis corresponden a frecuencias descriptivas obtenidas durante el proceso cualitativo y tienen como finalidad respaldar la discusión e interpretación de las tendencias que se desarrolla en las subsecciones siguientes.

De acuerdo con el análisis de los 42 estudios seleccionados y su codificación temática, el eje de adaptabilidad de las EPD al cambio climático se abordó como tema principal en 23 estudios (55 %); el de eficiencia energética en 17 (40 %) y el de factibilidad económica en 2 (5 %), sin centrarse específicamente en estrategias de eficiencia energética (Figura 4a). Debido a que muchos artículos abordaron más de un eje a la vez, se calcularon porcentajes relativos para reflejar las interacciones entre estos temas. La eficiencia energética y la adaptabilidad fueron las áreas más investigadas, con un 95 % y un 67 %, respectivamente, mientras que la factibilidad económica ocupó el tercer lugar, con un 17 % (Figura 4b). Además, se analizaron las interrelaciones entre los temas abordados. Se encontró que el 59 % de los estudios examinó simultáneamente dos ejes, mientras que el 10 % analizó los tres ejes de manera integrada. En cuanto a los temas coinvestigados, la combinación más frecuente fue: “Eficiencia energética-Adaptabilidad”, que representó el 52 % de los estudios (Figura 4c). Los resultados que se detallan a continuación exploran estrategias específicas para climas BSk, caracterizados por condiciones semiáridas con marcadas variaciones térmicas diarias y estacionales.

El análisis se apoyó en herramientas de mapas geográficos para destacar la distribución regional de los estudios. En estos mapas se identificaron las siguientes limitaciones: 1) Restricción temporal (la exclusión de estudios previos a 2017 podría haber limitado el acceso a investigaciones con información aún relevante); 2) Sesgo geográfico (la mayoría de los estudios proceden de regiones con sistemas de financiación avanzados –como América del Norte– lo que podría limitar la aplicabilidad de los hallazgos en contextos con pocos recursos) (Figura 5).

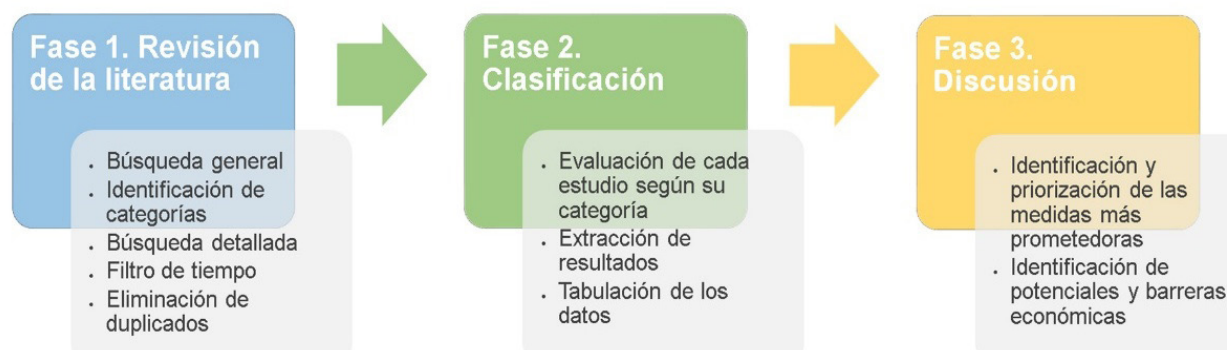
Figura 1.
Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles.



Fuente: Elaboración propia basada en Page *et al.* (2021).

Figura 2.

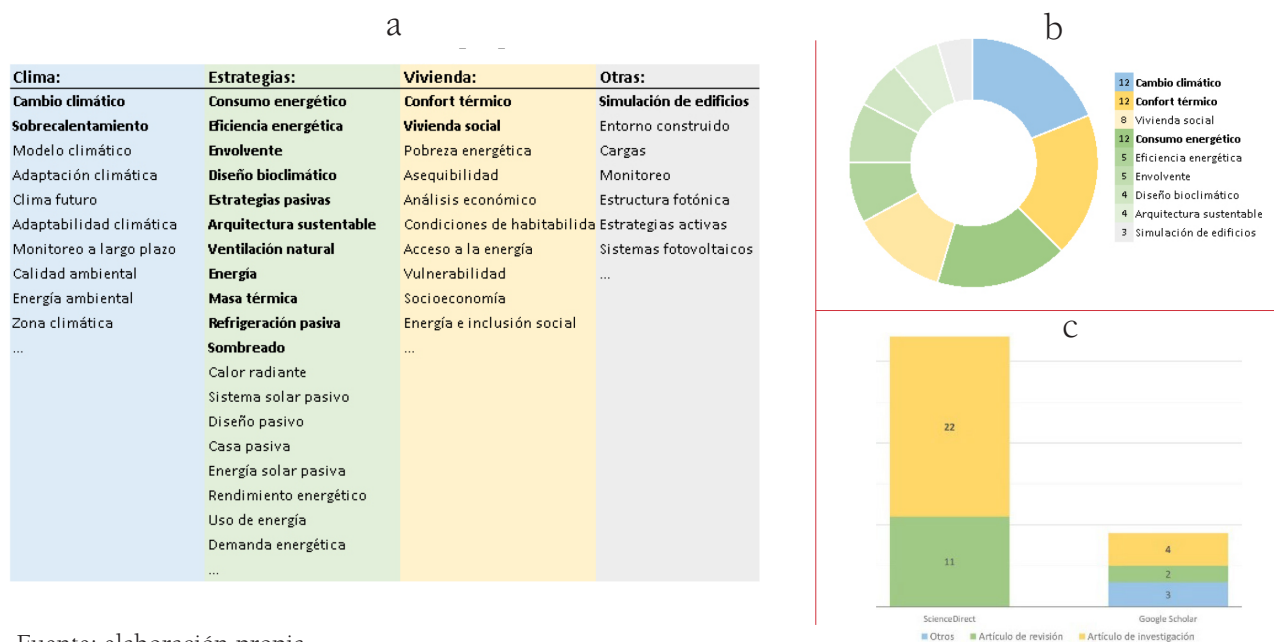
Estructura conceptual del análisis. Marco teórico para la evaluación de la implementación de las EPD.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.

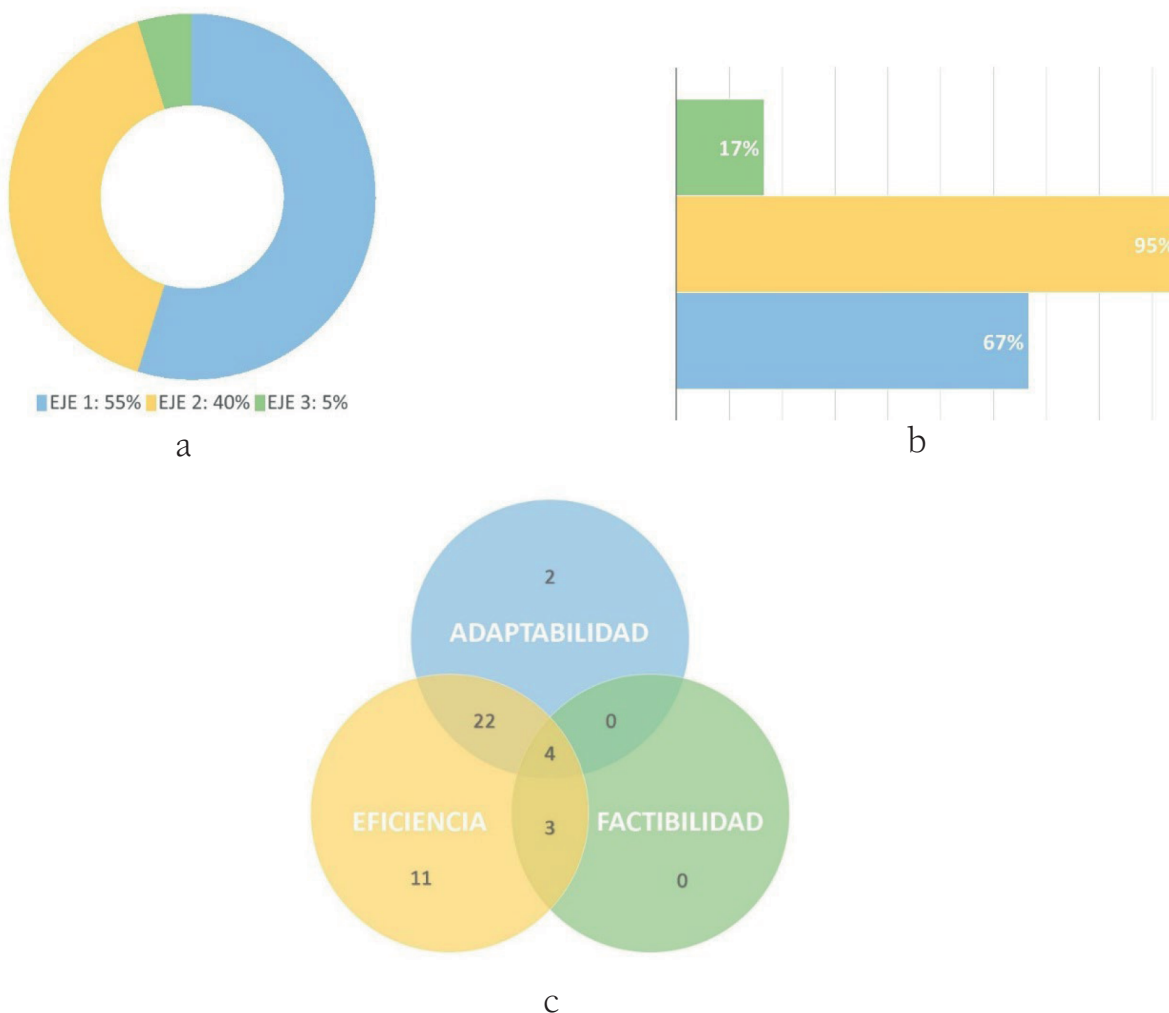
(a) Esquema de palabras clave por eje temático. (b) Frecuencia de palabras clave por repiten-
cia. Clasificación y análisis de términos relevantes según los objetivos del estudio. (c) Tipo de
literatura por fuente consultada.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.

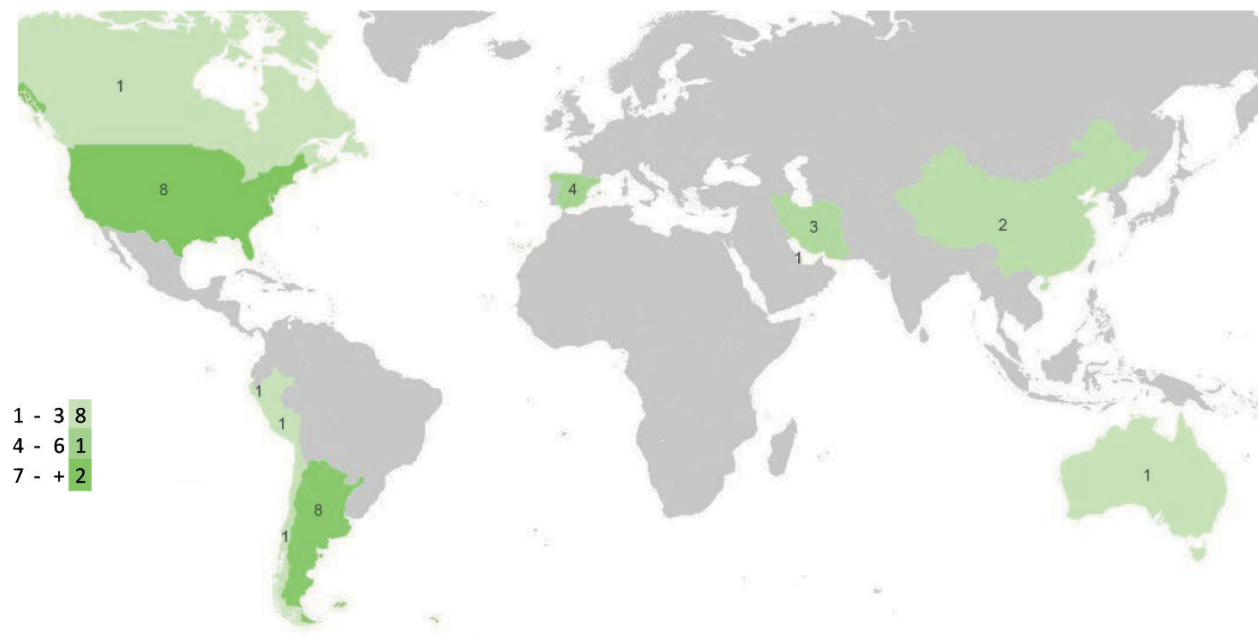
(a) Clasificación de estudios por eje temático principal. Porcentajes de estudios centrados en adaptabilidad, eficiencia energética y factibilidad económica. (b) Simultaneidad de ejes temáticos en los estudios revisados. Análisis de las interacciones entre los ejes principales del estudio. (c) Coinvestigación de ejes temáticos. Relaciones y combinaciones más frecuentes entre los ejes de análisis.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.

Mapa con frecuencia de estudios por países. Distribución geográfica de las investigaciones seleccionadas según frecuencia por país.



Fuente: elaboración propia.

ADAPTABILIDAD DE LAS EPD AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático plantea desafíos críticos en el diseño de las EPD. La investigación sobre adaptabilidad se ha centrado en evaluar estrategias para mitigar el sobrecalentamiento en distintos contextos climáticos, aplicadas de forma independiente o en combinación entre sí, arrojando resultados clave que destacan la efectividad de tecnologías específicas y enfoques regionales. (Duan *et al.*, 2024; Flores-Larsen *et al.*, 2023; Gupta y Deb, 2023; Hampo *et al.*, 2024; Tajuddeen y Sajjadian, 2024).

La ventilación natural y nocturna es una estrategia recurrente y altamente efectiva para reducir el sobrecalentamiento en climas cálidos y templados. Tajuddeen y Sajjadian (2024) señalan la importancia de los techos ventilados en la disminución del consumo energético, mientras que Hampo *et al.* (2024) resaltan su efectividad en Phoenix (Estados Unidos) para estabilizar temperaturas interiores extremas. Similarmente, Flores-Larsen *et al.* (2023) confirman que, en climas templados semiáridos de Argentina, la ventilación cruzada combinada con masa térmica permite reducir la temperatura interior hasta 29 °C.

Por su parte, Cavka y Ek (2018) observaron que la ventilación natural junto al sombreado y la relación ventana-pared, en Canadá, permiten afrontar escenarios de sobrecalentamiento. Este vínculo entre estrategias se replica en regiones áridas como Irán, donde Roshan *et al.* (2019) comprueban la eficacia de la ventilación nocturna combinada con masa térmica. En contextos extremos como Arizona y Texas, Ben-Alon y Rempel (2023) destacan la estabilidad térmica alcanzada en muros de tierra cuando se optimiza la ventilación, así como su capacidad higroscópica (que regula tanto la temperatura como la humedad interior). Wei *et al.* (2024) refuerzan estos hallazgos, mostrando que la ventilación natural en áreas de calor extremo mejora considerablemente el confort térmico.

El sombreado emerge como una solución fundamental, especialmente en combinación con sistemas de ventilación y aislamiento térmico. En Mendoza (Argentina), Barea *et al.* (2017) estudian ventanas multiacimutales y subrayan el uso de dispositivos de sombreado en verano, mientras que Flores-Larsen *et al.* (2019) informan que su integración con ventilación cruzada mejora la eficiencia energética. En climas áridos como el de Dubái, Gupta y Deb (2023) reportan una reducción de hasta el 50 % de las cargas de enfriamiento gracias al uso de fachadas ventiladas y elementos de sombreado, junto con el diseño eficiente de la envolvente de los edificios.

En cuanto a las áreas urbanas, se han evaluado estrategias como el sombreado natural mediante árboles y el diseño adaptativo. Por ejemplo, Ganem y Barea (2021) señalan la importancia de hibridar la lógica de los sistemas naturales con la de los sistemas técnicos en la arquitectura contemporánea sostenible, especialmente en climas templados variables. Caldas *et al.* (2019) destacan su aplicación en Piura, Perú, para mitigar las islas de calor urbanas. En Europa, Sánchez *et al.* (2020) señalan cómo el sombreado contribuye a reducir la demanda de refrigeración en proyecciones climáticas futuras. Por otro lado, Harkouss *et al.* (2018) añaden que en climas áridos como los de Esfahan y Abu Dhabi, el sombreado combinado con vidrios de baja emisividad y la ventilación natural optimizan el rendimiento térmico.

La masa térmica juega un papel clave en la estabilidad térmica interior de la vivienda, especialmente cuando se complementa con ventilación natural o nocturna. Piña Hernández (2018) y Roshan *et al.* (2019) coinciden en señalar la efectividad de esta estrategia en climas templados y áridos. En esta línea, Sánchez *et al.* (2020) en Almería, y Ascione *et al.* (2024) en Turpan, confirman que la masa térmica combinada con sombreado permite amortiguar las fluctuaciones térmicas diarias, mientras que Pajek *et al.* (2022) demuestran que el diseño compacto con alta capacidad de almacenamiento térmico será cada vez más relevante en escenarios climáticos futuros.

Las superficies reflectantes y los vidrios de baja emisividad son eficaces en contextos áridos y con alta radiación solar. Tajuddeen y Sajjadian (2024) demuestran que la combinación de techos reflectantes con otras soluciones reduce las cargas térmicas hasta un 42 % en escenarios futuros. Por su parte, Gupta y Deb (2023) destacan el rol de los vidrios de baja emisividad en Dubái, ya que reducen las ganancias solares y la demanda energética. Otra solución prometedora es el enfriamiento radiativo, Carlosena *et al.* (2023) evaluaron en su investigación la capacidad de evacuación de calor de diferentes materiales en climas críticos, informando aplicaciones de enfriamiento energéticamente eficientes.

En Abu Dhabi e Isfahan, Harkouss *et al.* (2018) comprueban la eficacia de combinar vidrios de baja emisividad con sombreado y ventilación natural. Por otro lado, Azimi Fereidani *et al.* (2021) destacan que el uso de superficies de colores claros puede reducir las cargas de enfriamiento en un 12 %, mientras que los sistemas verdes, generan ahorros energéticos del 3 % en Doha, Qatar, para los años 2020, 2050 y 2080.

El aislamiento térmico se perfila como una medida indispensable frente al cambio climático, especialmente en regiones con proyecciones de aumento de las temperaturas medias. Shen *et al.* (2019) destacan su efectividad en edificios de San Francisco, donde se combina con ventilación natural. Rodrigues *et al.* (2023) resaltan la necesidad de ajustar los niveles de aislamiento y comparan los valores ideales de transmitancia térmica (U-valor) de las envolventes en Irán, para el período actual y dos marcos temporales futuros, en los que se espera un aumento de hasta 7,9 °C para 2080.

Finalmente, la refrigeración evaporativa aparece como una alternativa eficiente en climas áridos. Barea *et al.* (2023) estudian su potencial en Mendoza (Argentina), ante un aumento proyectado de 5 °C en la temperatura media anual para el año 2100. De manera similar, Roshan *et al.* (2019) comprueban su eficacia en Irán, al combinarla con masa térmica y ventilación nocturna.

La revisión demuestra que las EPD favorecen la adaptabilidad climática y resultan especialmente pertinentes para la vivienda social, pues permiten responder a condiciones térmicas variables. Su adecuada integración en el diseño arquitectónico mejora el confort interior, reduciendo la vulnerabilidad energética y contribuyendo a soluciones habitacionales sostenibles en escenarios de cambio climático.

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS EPD

La eficiencia energética de las EPD ha sido objeto de numerosos estudios, que evidencian su capacidad para reducir el consumo energético en edificaciones al implementar estrategias pasivas adaptadas a diferentes climas y contextos constructivos. Estos sistemas se basan en principios bioclimáticos y diseño sostenible, demostrando especialmente su eficacia en regiones cálidas y áridas, así como en climas templados semiáridos.

Diversos estudios han informado reducciones en la demanda de energía para calefacción y refrigeración mediante el uso de estos sistemas. Zhai y Helman (2019) destacan que, en escenarios de cambio climático, estrategias pasivas (como el aislamiento térmico y los sistemas de ventilación eficientes) pueden mitigar los aumentos en la demanda de refrigeración, compensando parcialmente las disminuciones en los requerimientos de calefacción. Filippín *et al.* (2017) señalan que incorporar aislamiento en techos y paredes llega a reducir la demanda de calefacción hasta un 62,5 % en climas templados-fríos de Argentina, mientras que estrategias como ventilación nocturna y sombreado disminuyen significativamente el sobrecalentamiento en verano.

Asimismo, Rempel *et al.* (2022) enfatizan la importancia de integrar estrategias efectivas de sombreado y ventilación para mitigar los riesgos de sobrecalentamiento, ya que estas proporcionaron de 130 a 150 horas de alivio térmico durante las horas de calor extremo. En Australia, coincidiendo con la investigación, Jayalath *et al.* (2024) señalan que las viviendas sociales en climas áridos son más vulnerables durante las olas de calor.

Estrategias como techos aislados y sombreado adecuado son esenciales para mitigar estos efectos, mientras que materiales avanzados como fachadas reflectantes y ventilación nocturna ofrecen soluciones de bajo costo y alta eficiencia.

En climas cálidos y áridos, Soflaei *et al.* (2017, 2020) analizan diseños de viviendas con patios tradicionales en Irán y Phoenix, respectivamente, demostrando que es posible mejorar el confort térmico hasta en un 39,3 % con configuraciones óptimas. Además, los patios funcionan como reguladores microclimáticos y reducen la dependencia de sistemas activos; de hecho, Diz-Mellado *et al.* (2023) corroboran estos hallazgos al evidenciar que pueden reducir hasta un 20,5 % la demanda de energía para enfriar viviendas, dependiendo de su geometría. A su vez, funcionan como amortiguadores térmicos eficaces, que favorecen la ventilación natural.

Bhamare *et al.* (2019) clasifican las técnicas de enfriamiento pasivo en tres categorías: protección contra la ganancia térmica, módulos de almacenamiento térmico como los PCM (por sus siglas en inglés, Materiales de Cambio de Fase) y sistemas de disipación de calor, como la ventilación nocturna. Estas estrategias permiten mantener las temperaturas interiores dentro de rangos de confort, y logran ahorros energéticos de hasta un 35 % en climas áridos y cálidos. En este sentido, los PCM han sido evaluados como elementos complementarios en EPD. Liu *et al.* (2022) identifican que su incorporación en techos y paredes mejora la inercia térmica y regula las temperaturas interiores, mientras que Seo *et al.* (2023) destacan el diseño optimizado de estructuras de refrigeración radiativa para maximizar la eficiencia energética y la importancia de ajustar el grosor de la película de PDMS (polidimetilsiloxano) según el clima local.

La mejora del confort térmico es otro aspecto clave de las EPD. Chen *et al.* (2023) desarrollaron un modelo de control predictivo que incrementa las horas de ventilación natural en edificios pasivos en un 56,3 %, lo que permite mantener temperaturas interiores estables sin recurrir a sistemas mecánicos. Park *et al.* (2023) exploran estrategias avanzadas de control basadas en algoritmos de aprendizaje automático para el sombreado y la ventilación natural, estrategias que resultaron en ahorros de energía de hasta el 90 %, lo que subraya su potencial para descarbonizar los edificios residenciales.

Avendaño-Vera *et al.* (2020) destacan la relevancia de optimizar la inercia térmica de los materiales de construcción en Chile, identificando la madera maciza y el hormigón liviano como materiales ideales para reducir fluctuaciones térmicas y mejorar el confort interior. Estos hallazgos refuerzan la importancia de diseños adaptados a las variaciones climáticas locales. Aunque estas soluciones implican costos iniciales elevados, los beneficios a largo plazo en confort y calidad de vida justifican su implementación. Fernández y Pesantez (2018) examinaron viviendas en climas tropicales y destacaron que el aumento en la altura de las paredes, combinado con el aislamiento térmico, puede reducir significativamente el malestar térmico.

La eficiencia energética de las EPD no solo se traduce en menores consumos, sino también en una mayor sostenibilidad. Soutullo *et al.* (2017) compararon edificios bioclimáticos con convencionales en Madrid, e informan en los primeros, una reducción del 35 % en el consumo de energía primaria, además de mayores porcentajes de confort térmico en verano. La implementación de estrategias como la ventilación mecánica

con recuperación de calor y las fachadas ventiladas fue clave en el mejoramiento de la eficiencia energética. D'Amanzo *et al.* (2020) subrayan que la integración de estrategias pasivas y de las energías renovables en edificios de energía cero (ZEB) puede reducir el consumo de energía en el sector de la construcción en hasta un 50 % en comparación con construcciones convencionales.

Por su parte, Adua *et al.* (2024) destacan el potencial de las tecnologías de energía ambiental para mejorar la resiliencia de los edificios ante eventos climáticos extremos, y promover una transición hacia edificaciones sostenibles. La investigación destaca modernizaciones tales como ventanas con bajas pérdidas térmicas, el uso de la cubierta del edificio para el almacenamiento térmico, sistemas alternativos de almacenamiento térmico liviano, sistemas de enfriamiento por radiación, entre otras.

La eficiencia energética en la vivienda social requiere de una planificación que articule diseño, materiales y tecnología. La incorporación de EPD adecuadas puede reducir el consumo energético en contextos de bajos recursos, mientras que el uso de modelos de simulación permite optimizar el desempeño y orientar soluciones habitacionales accesibles.

APLICABILIDAD EN EL SECTOR DE LA VIVIENDA SOCIAL (RELACIÓN COSTO-BENEFICIO)

La implementación de las EPD en viviendas sociales plantea retos económicos significativos. Aunque estas estrategias han demostrado ser efectivas para mejorar el confort térmico y reducir el consumo energético, los altos costos iniciales y las limitaciones presupuestarias de las comunidades vulnerables siguen siendo barreras importantes para su adopción masiva (Bhamare *et al.*, 2019; Wei *et al.*, 2024). Sin embargo, se identifican áreas de vacancia en la literatura sobre la factibilidad económica y la relación costo-beneficio de estas estrategias.

La mayoría de las investigaciones abordan este eje de forma general y no como un foco de análisis específico. Si bien las soluciones pasivas son altamente efectivas, su integración requiere adaptarse a las características locales para maximizar la eficiencia y minimizar los costos (Tajuddeen y Sajjadian, 2024). Por ejemplo, Hampo *et al.* (2024) destacan los elevados costos de enfriamiento en comunidades vulnerables y la importancia de desarrollar diseños más eficientes, aunque sin profundizar de forma suficiente en el tema. Por otro lado, subrayan la urgencia de abordar el sobrecalentamiento interior como una faceta crítica de la salud pública y reconocen las repercusiones socioeconómicas directas. En este contexto, es necesario contemplar las mejoras para reducir los costos de enfriamiento teniendo en cuenta las condiciones climáticas futuras (Zhai y Helman, 2019).

Por su parte, Fernández y Pesantez (2018) evalúan la viabilidad económica de implementar medidas de mejora en viviendas multifamiliares, enfocándose en el bienestar y confort de los residentes. Los autores destacan -como único costo adicional- el incremento asociado al aislamiento térmico para la mejora de la cubierta, con una vida útil de 25 años, lo que representa una inversión destinada a mejorar la calidad de vida de las familias con bajos recursos. De manera complementaria, Jayalath *et al.* (2024) sugieren que la

modelización energética, la optimización de costes y el análisis del ciclo de vida son las áreas emergentes para abordar la pobreza energética en viviendas asequibles.

Ascione *et al.* (2024) analizan el impacto económico de la implementación de estrategias pasivas y su rentabilidad a largo plazo. Asimismo, subrayan la importancia de desarrollar códigos de construcción adaptativos que prioricen soluciones sostenibles y asequibles. Estas investigaciones coinciden en que las barreras económicas limitan la adopción de estas estrategias, lo que subraya la necesidad de intervenciones políticas. Las soluciones autoconstruidas por los residentes muestran potencial, pero requieren apoyo técnico e institucional para garantizar su sostenibilidad (Caldas *et al.*, 2019; Jayalath *et al.*, 2024).

En Argentina, Durán y Condorí (2019) abordan la pobreza energética señalando que las tarifas energéticas actuales excluyen a muchos hogares vulnerables, particularmente en regiones áridas con altas demandas de calefacción y refrigeración. Aunque las energías renovables ofrecen costos operativos más bajos a largo plazo, la falta de acceso inicial y la ausencia de diseños bioclimáticos limitan su aplicación. La investigación de Sharbaf y Schneider-Marín (2025) propone una revisión en el análisis de costo-beneficio de las mejoras sostenibles en edificios existentes. Los autores afirman que estas requieren de un enfoque integral que considere costos directos e indirectos, así como beneficios económicos, sociales y ambientales. Asimismo, enfatizan la necesidad de contar con metodologías más robustas que integren análisis de sensibilidad e incertidumbre para guiar decisiones de inversión.

Discusión

La literatura revisada señala el potencial de las EPD para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico en viviendas sociales y los resultados obtenidos permiten establecer vínculos significativos entre los ejes temáticos analizados. Se observa, en particular, la centralidad de las estrategias de enfriamiento pasivo, como el sombreado y la ventilación natural, para mitigar el sobrecalentamiento estival y optimizar el confort térmico en contextos de clima BSk (Ascione *et al.*, 2024; Barea *et al.*, 2023; Ben-Alon y Rempel, 2023; Flores-Larsen *et al.*, 2023; Pajek *et al.*, 2022; Sánchez *et al.*, 2020).

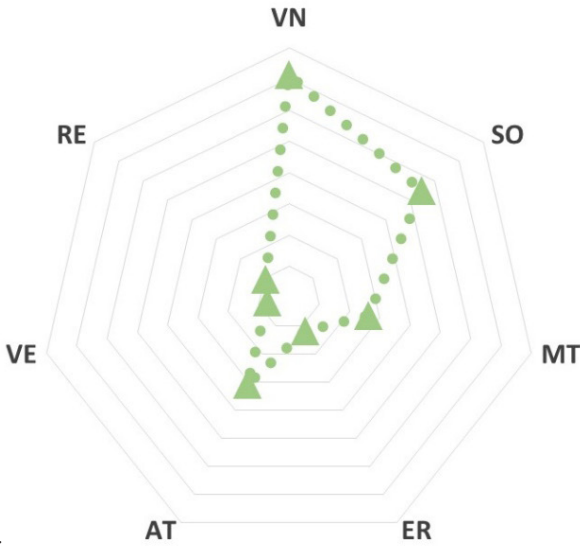
Estas estrategias adquieren aún mayor relevancia frente al aumento proyectado de las temperaturas globales hacia finales del siglo XXI, lo que demanda una planificación proactiva respaldada por herramientas de simulación y modelado energético. Dichas herramientas permiten evaluar escenarios futuros (Duan *et al.*, 2024; Ganem y Barea, 2021), optimizar el desempeño térmico (Chen *et al.*, 2023) y orientar decisiones de diseño fundamentadas (Park *et al.*, 2023). A su vez, el aislamiento térmico (Filippín *et al.*, 2017; Zhai y Helman, 2019) y la incorporación de materiales con elevada inercia térmica (Avendaño-Vera *et al.*, 2020) emergen como componentes clave para mejorar la eficiencia energética y fortalecer la resiliencia climática de las viviendas, particularmente en entornos vulnerables.

En resumen, se presenta el análisis de las estrategias pasivas implementadas en climas templados semiáridos, destacando su efectividad según la frecuencia con la que son mencionadas en los estudios revisados, como resultado de un enfoque cualitativo de tipo descriptivo (Tabla 1). La ventilación natural y nocturna lidera las intervenciones reportadas, con un 71 % de efectividad, seguida por el sombreado de ventanas y fachadas (55 %), el aislamiento térmico (31 %), la masa térmica (26 %) y estrategias como techos y paredes reflectantes (12 %). La refrigeración evaporativa (10 %) y los vidrios de baja emisividad (7 %) muestran una menor implementación, aunque son efectivos en contextos específicos. Estos porcentajes reflejan la diversidad y el enfoque regional que caracteriza la aplicación de las EPD en función de los desafíos climáticos locales (Figura 6).

Finalmente, la síntesis presenta evidencia de que las EPD son más efectivas cuando integran soluciones resilientes y económicamente accesibles (Sharbaf y Schneider-Marin, 2025). A diferencia de otras revisiones centradas exclusivamente en el desempeño térmico o energético (Liu *et al.*, 2022; Seo *et al.*, 2023; Soflaei *et al.*, 2017, 2020), este estudio adopta un enfoque integral orientado a la vivienda social, de una manera que articula tres dimensiones fundamentales: adaptabilidad climática, eficiencia energética y viabilidad económica.

Esta perspectiva tridimensional permite identificar vacíos temáticos poco abordados, como la ausencia de evaluaciones de costo-beneficio a largo plazo (frente a escenarios proyectados de cambio climático) y la escasa incorporación de criterios de accesibilidad económica en contextos de alta vulnerabilidad (Hampo *et al.*, 2024; Jayalath *et al.*, 2024). La originalidad del estudio reside en la interrelación de estas dimensiones dentro de un contexto climático específico, lo que permite visibilizar estrategias pertinentes y replicables en zonas climáticas BSk, zonas caracterizadas por su marcada exposición a la pobreza energética.

Figura 6.
Distribución en porcentajes por estrategias pasivas más reportadas.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1.
Eficiencia y beneficios de las estrategias pasivas. Resumen de estrategias pasivas y sus beneficios principales según los estudios revisados.

NC:	Estrategia/ Sistema	Beneficio principal	FA:	%
VN	Ventilación natural y nocturna	Reducción de temperatura interior	30	71 %
SO	Sombreado (ventanas, fachadas)	Mitigación del sobrecalentamiento	23	55 %
MT	Masa térmica	Regulación de fluctuaciones térmicas	11	26 %
ER	Envoltentes reflectantes	Reducción de carga térmica	5	12 %
AT	Aislamiento térmico	Mejora de eficiencia energética	13	31 %
VE	Vidrios de baja emisividad	Mejora de aislamiento térmico	3	7 %
RE	Refrigeración evaporativa	Reducción de temperatura interior	4	10 %

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El cambio climático afecta de manera desigual a las distintas regiones del mundo, dependiendo de sus características geográficas, económicas y sociales. Así, vemos que las comunidades más vulnerables (especialmente las que sufren pobreza energética, escasez hídrica y dependen de climas estables para actividades agrícolas) serán las más afectadas por este. En este contexto, se analizaron 42 estudios recientes sobre EPD aplicables a viviendas sociales en climas templados semiáridos fríos. A diferencia de revisiones previas, se propone un enfoque integral que articula tres ejes complementarios: adaptabilidad climática, eficiencia energética y viabilidad económica. La convergencia de estas dimensiones permite una comprensión holística del desempeño de las EPD y proporciona una base robusta para orientar intervenciones que mejoren la calidad habitacional en contextos marcados por el cambio climático y la vulnerabilidad social.

No obstante, la adopción de las EPD enfrenta barreras estructurales significativas, entre las que se destacan los altos costos iniciales, la ausencia de financiamiento específico, el escaso acompañamiento institucional y la limitada transferencia tecnológica en contextos vulnerables. Estas restricciones demandan el diseño de políticas públicas integrales que articulen soluciones técnicas con medidas sociales, especialmente orientadas a sectores socioeconómicamente desfavorecidos. En este sentido, resulta fundamental impulsar mecanismos de financiación accesibles, como subsidios, incentivos fiscales y esquemas innovadores de apoyo, que favorezcan la implementación de estas estrategias. La colaboración coordinada entre gobiernos, instituciones académicas y el sector privado se presenta como un factor clave para viabilizar su adopción efectiva en el ámbito de la vivienda social.

En cuanto a las oportunidades de investigación futura, los hallazgos sugieren nuevas líneas de investigación orientadas a: (1) el desarrollo de materiales y tecnologías de bajo costo que incrementen la accesibilidad de las EPD; (2) la evaluación de la interacción entre estrategias pasivas y las necesidades culturales y sociales de las comunidades locales; y (3) el diseño de políticas públicas que integren la sostenibilidad energética con la equidad social. Además, se recomienda ampliar el análisis de la relación costo-beneficio, incorporando modelos que evalúen el ciclo de vida completo de las soluciones propuestas.

En conclusión, las EPD tienen el potencial de transformar el sector de la vivienda social, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y mejorando la calidad de vida de las comunidades más vulnerables. Pero, para maximizar este potencial, es necesario adoptar un enfoque holístico que favorezca la adaptación contextual, aborde los desafíos técnicos y económicos y promueva su implementación con criterios de sostenibilidad ambiental y justicia social.

Anexo de datos

Disponibles en <https://doi.org/10.34691/UCHILE/ZQARCD>

Financiamiento

Este trabajo se desarrolla en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) y se financia mediante una beca interna doctoral de CONICET (2024-2029) y los siguientes proyectos de I+D: ANPCYT FONCYT PICT 2019-02752 (2021-2025) “Desarrollo de un protocolo normalizado de auditoría térmica y energética puntual aplicable para climas cálidos como herramienta confiable, no invasiva, de alta replicabilidad y bajo costo, que contribuya a la certificación energética de viviendas”; CONICET PIP 11220200101711CO (2021-2025) “Hábitat sustentable y resiliencia al cambio climático” y PUE INAHE 2017-0096 (2018-2025) “I+D+i en Eficiencia Energética y Ambiental del Hábitat Humano”.

Declaración de autoría

María Pía Mateo: conceptualización; curación de datos; análisis formal; software; validación; visualización; escritura – borrador original.

Gustavo Javier Barea Paci: conceptualización; adquisición de financiación; investigación; metodología; administración de proyecto; recursos; supervisión; escritura – revisión y edición.

Carolina Ganem Karlen: conceptualización; adquisición de financiación; investigación; metodología; administración de proyecto; recursos; supervisión; escritura – revisión y edición.

María Cecilia Molina: conceptualización; software; validación; visualización.

Referencias

- Adua, L., Asamoah, A., Barrows, J., Brookstein, P., Chen, B., Coleman, D. R., Denzer, A., Desjarlais, A. O., Falconer, W., Fernandes, L., Fisler, D., Foley, C., Gaillard, C., Gladen, A., Guzowski, M., Hill, T., Hun, D., Kishore, R., Klingenberg, K., ... Walker, A. (2024). Ambient energy for buildings: Beyond energy efficiency. *Solar Compass*, 11, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2024.100076>
- Arcas-Abella, J., Pagès-Ramon, A., y Casals-Tres, M. (2011). El futuro del hábitat: repensando la habitabilidad desde la sostenibilidad. El caso español. *Revista INVIN* 26, 26(72), 65–93. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582011000200003>
- Ascione, F., de Rossi, F., Iovane, T., Manniti, G., y Mastellone, M. (2024). Energy demand and air quality in social housing buildings: A novel critical review. *Energy and Buildings*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114542>
- Avendaño-Vera, C., Martínez-Soto, A., y Marincioni, V. (2020). Determination of optimal thermal inertia of building materials for housing in different Chilean climate zones. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110031>
- Azimi Fereidani, N., Rodrigues, E., y Gaspar, A. R. (2021). A review of the energy implications of passive building design and active measures under climate change in the Middle East. *Journal of Cleaner Production*, 305, 127152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127152>
- Barea, G., Ganem, C., y Esteves, A. (2017). The multi-azimuthal window as a passive solar system: A study of heat gain for the rational use of energy. *Energy and Buildings*, 144, 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.059>
- Barea, G., Karlen, C. G., Molina, M. C., y Mateo, P. (2023). Efectividad a futuro de las estrategias de diseño pasivas en viviendas. *Habitat Sustentable*, 13(1), 30–41. <https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.03>
- Ben-Alon, L. y Rempel, A. R. (2023). Thermal comfort and passive survivability in earthen buildings. *Building and Environment*, 238, 110339. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110339>
- Bhamare, D. K., Rathod, M. K., y Banerjee, J. (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. En *Energy and Buildings*, 198, 467–490. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023>
- Boardman, B. (1991). Fuel poverty is different. *Policy Studies*, 12(4), 30–41. <https://doi.org/10.1080/01442879108423600>
- Caldas, P., Aranda, E., y Dongo, C. (2019). Adaptación climática de barrios de vivienda social en una ciudad árida Piura. *TECNIA*, 29(1). <https://doi.org/10.21754/tecnia.v29i1.328>
- Cantón, M. A., Ganem, C., Barea, G., y Llano, J. F. (2014). Courtyards as a passive strategy in semi dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building. *Renewable Energy*, 69, 437–446. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.065>
- Carlosena, L., Ruiz-Pardo, Á., Rodríguez-Jara, E. Á., y Santamouris, M. (2023). Worldwide potential of emissive materials based radiative cooling technologies to mitigate urban overheating. *Building and Environment*, 243, 110694. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110694>

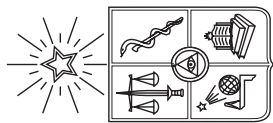
- Cavka, B. T. y Ek, M. (2018). *Future weather files to support climate resilient building design in Vancouver*. University of British Columbia. <https://doi.org/10.14288/1.0374203>
- Chalmers, P. (2015). *Cambio climático implicaciones para los edificios. Hallazgos claves del quinto informe de evaluación del IPCC*. University of Cambridge.
- Chen, Y., Gao, J., Yang, J., Berardi, U., y Cui, G. (2023). An hour-ahead predictive control strategy for maximizing natural ventilation in passive buildings based on weather forecasting. *Applied Energy*, 333, 120613. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120613>
- D'Amanzo, M., Mercado, M. V., y Karlen, C. G. (2020). 10 preguntas de los edificios energía cero: revisión del estado del arte. *Habitat Sustentable*, 10(2), 24–41. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.02>
- Diz-Mellado, E., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., y Galán-Marín, C. (2023). Performance evaluation and users' perception of courtyards role in indoor areas of mediterranean social housing. *Journal of Environmental Management*, 345, 118788. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118788>
- Dong, W. S., Ismailluddin, A., Yun, L. S., Ariffin, E. H., Saengsupavanich, C., Abdul Maulud, K. N., Ramli, M. Z., Mis-kon, M. F., Jeofry, M. H., Mohamed, J., Mohd, F. A., Hamzah, S. B., y Yunus, K. (2024). The impact of climate change on coastal erosion in Southeast Asia and the compelling need to establish robust adaptation strategies. *Heliyon*, 10(4), e25609. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25609>
- Duan, Z., de Wilde, P., Attia, S., y Zuo, J. (2024). Prospect of energy conservation measures (ECMs) in buildings subject to climate change: A systematic review. *Energy and Buildings*, 322, 114739. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114739>
- Durán, R. y Condorí, M. (2019). Evolución de la pobreza energética en Argentina durante el período 2002 - 2018. Oportunidades para las energías renovables. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 430–437. <https://doi.org/10.30972/eitt.503780>
- Felmer Plominsky, G., Martínez Arias, A., Rivera, M. I., y Zepeda-Gil, C. (2023). Pobreza energética en contextos de exclusión urbana: nuevos enfoques para la acción desde América Latina. *Revista INVI*, 38(109), 1–16. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2023.72446>
- Fernández, J. D. y Pesantez, B. X. (2018). *Diseño térmico de edificaciones resilientes al cambio climático* [tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/4699_2
- Fernández, K., Lezcano, L., y González, A. (2023). Medición de la pobreza energética con enfoque multidimensional: revisión sistemática de la literatura. *Revista INVI*, 38(109), 172–208. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2023.70574>
- Filippín, C., Ricard, F., Flores Larsen, S., y Santamouris, M. (2017). Retrospective analysis of the energy consumption of single-family dwellings in central Argentina. Retrofitting and adaptation to the climate change. *Renewable Energy*, 101, 1226–1241. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.064>
- Flores-Larsen, S., Filippín, C., y Barea, G. (2019). Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina. *Energy and Buildings*, 184, 216–229. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.015>

- Flores-Larsen, S., Filippín, C., y Bre, F. (2023). New metrics for thermal resilience of passive buildings during heat events. *Building and Environment*, 230, 109990. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.109990>
- Ganem, C. K. y Barea, G. J. P. (2021). A methodology for assessing the impact of climate change on building energy consumption. En M. Palme y A. Salvati (Eds.), *Urban microclimate modelling for comfort and energy studies*, (pp. 363–381). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_17
- Guo, Z., Zhang, W., Deng, G., y Guan, Y. (2024). The impact of window opening behavior on the indoor thermal environment and coping strategies in passive houses. *Energy and Built Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2024.04.003>
- Gupta, V. y Deb, C. (2023). Envelope design for low-energy buildings in the tropics: A review. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186, 113650. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113650>
- Hampo, C. C., Schinasi, L. H., y Hoque, S. (2024). Surviving indoor heat stress in United States: A comprehensive review exploring the impact of overheating on the thermal comfort, health, and social economic factors of occupants. *Heliyon*, 10(3), e25801. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25801>
- Harkouss, F., Fardoun, F., y Biwolé, P. H. (2018). Passive design optimization of low energy buildings in different climates. *Energy*, 165, 591–613. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.019>
- Huertas Angulo, L. E. (2019). *Estudio del microclima en espacios de transición como recurso pasivo de acondicionamiento. Aplicación a casos de vivienda social* [Trabajo máster]. Universidad de Sevilla, Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/105609>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023a). *Climate change 2022 – impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023b). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- International Energy Agency. (2024). *World energy outlook 2024*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- Jan, K. A., Rather, A. A., y Balaji, R. (2023). The path to climate sustainability: A review of IPCC 2022. *Global Sustainability Research*, 2(1), 38–45. <https://doi.org/10.56556/gssr.v2i1.429>
- Jayalath, A., Vaz-Serra, P., Hui, F. K. P., y Aye, L. (2024). Thermally comfortable energy efficient affordable houses: A review. *Building and Environment*, 256, 111495. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111495>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., y Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- La economía del donut* [infografía]. (2018, 28 de agosto). Caja Rural Central. <https://blog.ruralcentral.es/economia-donut/>
- Liu, L., Hammami, N., Trovalet, L., Bigot, D., Habas, J.-P., y Malet-Damour, B. (2022). Description of phase change materials (PCMs) used in buildings under various climates: a review. *Journal of Energy Storage*, 56(A), 105760. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105760>

- Mejica, M. S. A., Gil, M. L., Mendoza, M., y Zapata, M. C. (2008). Córdoba y Mendoza: Dos casos para pensar la producción social del hábitat. *Revista INVI*, 23(62), 21–73.
- Okushima, S. (2016). Measuring energy poverty in Japan, 2004–2013. *Energy Policy*, 98, 557–564. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.005>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/BMJ.N71>
- Pajek, L., Potočnik, J., y Košir, M. (2022). The effect of a warming climate on the relevance of passive design measures for heating and cooling of European single-family detached buildings. *Energy and Buildings*, 261, 111947. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111947>
- Park, B., Rempel, A. R., y Mishra, S. (2023). Performance, robustness, and portability of imitation-assisted reinforcement learning policies for shading and natural ventilation control. *Applied Energy*, 347, 121364. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121364>
- Piña Hernández, E. H. (2018). Prototipo de vivienda vertical social sustentable, enfoque en resistencia al cambio climático. *Revista INVI*, 33(92); 213-237. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582018000100213>
- Raworth, K. (2018). *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st century economist*. Chelsea Green Publishing.
- Rempel, A. R., Danis, J., Rempel, A. W., Fowler, M., y Mishra, S. (2022). Improving the passive survivability of residential buildings during extreme heat events in the Pacific Northwest. *Applied Energy*, 321, 119323. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119323>
- Rodrigues, E., Fereidani, N. A., Fernandes, M. S., y Gaspar, A. R. (2023). Climate change and ideal thermal transmittance of residential buildings in Iran. *Journal of Building Engineering*, 74, 106919. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.106919>
- Roshan, G. R., Oji, R., y Attia, S. (2019). Projecting the impact of climate change on design recommendations for residential buildings in Iran. *Building and Environment*, 155, 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.053>
- Sánchez, M. N., Soutullo, S., Olmedo, R., Bravo, D., Castaño, S., y Jiménez, M. J. (2020). An experimental methodology to assess the climate impact on the energy performance of buildings: A ten-year evaluation in temperate and cold desert areas. *Applied Energy*, 264, 114730. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114730>
- Seo, J., Choi, M., Yoon, S., y Lee, B. J. (2023). Climate-dependent optimization of radiative cooling structures for year-round cold energy harvesting. *Renewable Energy*, 217, 119166. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119166>
- Sharbaf, S. A. y Schneider-Marin, P. (2025). Cost-benefit analysis of sustainable upgrades in existing buildings: A critical review. *Energy and Buildings*, 328, 115142. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115142>
- Shen, P., Braham, W., y Yi, Y. (2019). The feasibility and importance of considering climate change impacts in building retrofit analysis. *Applied Energy*, 233–234, 254–270. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.041>
- Shen, P. y Lior, N. (2016). Vulnerability to climate change impacts of present renewable energy systems designed for achieving net-zero energy buildings. *Energy*, 114, 1288–1305. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.078>

- Soflaei, F., Shokouhian, M., y Soflaei, A. (2017). Traditional courtyard houses as a model for sustainable design: A case study on BWhs mesoclimate of Iran. *Frontiers of Architectural Research*, 6(3), 329–345. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.04.004>
- Soflaei, F., Shokouhian, M., Tabadkani, A., Moslehi, H., y Berardi, U. (2020). A simulation-based model for courtyard housing design based on adaptive thermal comfort. *Journal of Building Engineering*, 31, 101335. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101335>
- Soutullo, S., Sánchez, M. N., Enríquez, R., Olmedo, R., y Jimenez, M. J. (2017). Bioclimatic vs conventional building: Experimental quantification of the thermal improvements. *Energy Procedia*, 122, 823–828. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.413>
- Tajuddeen, I. y Sajjadian, S. M. (2024). Climate change and the built environment - a systematic review. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04962-2>
- Viñuela, J., Chévez, P., Martini, I., y San Juan, G. (2021). Fundamentos y metodología de encuesta para análisis y evaluación de hogares en condiciones de pobreza energética. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente - AVERMA*, 25, 315–326. <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/2427>
- Wei, J., Li, H. X., Sadick, A. M., y Noguchi, M. (2024). A systematic review of key issues influencing the environmental performance of social housing. *Energy and Buildings*, 319, 114566. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114566>
- Zhai, Z. J. y Helman, J. M. (2019). Implications of climate changes to building energy and design. *Sustainable Cities and Society*, 44, 511–519. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.043>

revista invi



Revista INVI es una publicación periódica, editada por el Instituto de la Vivienda de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, creada en 1986 con el nombre de Boletín INVI. Es una revista académica con cobertura internacional que difunde los avances en el conocimiento sobre la vivienda, el hábitat residencial, los modos de vida y los estudios territoriales. Revista INVI publica contribuciones originales en español, inglés y portugués, privilegiando aquellas que proponen enfoques inter y multidisciplinares y que son resultado de investigaciones con financiamiento y patrocinio institucional. Se busca, con ello, contribuir al desarrollo del conocimiento científico sobre la vivienda, el hábitat y el territorio y aportar al debate público con publicaciones del más alto nivel académico.

Director: Dr. Jorge Larenas Salas, Universidad de Chile, Chile.

Editor: Dr. Pablo Navarrete-Hernández, Universidad de Chile, Chile.

Editores asociados: Dra. Mónica Aubán Borrell, Universidad de Chile, Chile

Dr. Gabriel Felmer, Universidad de Chile, Chile

Dr. Carlos Lange Valdés, Universidad de Chile, Chile

Dr. Daniel Muñoz Zech, Universidad de Chile, Chile

Dra. Rebeca Silva Roquefort, Universidad de Chile, Chile

Coordinadora editorial: Sandra Rivera Mena, Universidad de Chile, Chile.

Asistente editorial: Katia Venegas Foncea, Universidad de Chile, Chile.

Traductor: Jose Molina Kock, Chile.

Diagramación: Ingrid Rivas, Chile.

Corrección de estilo: Leonardo Reyes Verdugo, Chile.

COMITÉ EDITORIAL:

Dra. Julie-Anne Boudreau, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Victor Delgadillo, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, México.

Dra. María Mercedes Di Virgilio, CONICET/ IIGG, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Dr. Ricardo Hurtubia González, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Dra. Irene Molina, Uppsala Universitet, Suecia.

Dr. Gonzalo Lautaro Ojeda Ledesma, Universidad de Valparaíso, Chile.

Dra. Suzana Pasternak, Universidade de São Paulo, Brasil.

Dr. Javier Ruiz Sánchez, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Dra. Elke Schlack Fuhrmann, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Dr. Carlos Alberto Torres Tovar, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Dr. José Francisco Vergara-Perucich, Universidad de Las Américas, Chile

Sitio web: <http://www.revistainvi.uchile.cl/>

Correo electrónico: revistainvi@uchilefau.cl

Licencia de este artículo: Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0)