

## VIVIENDAS SOCIALES SOSTENIBLES: EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS PASIVAS DE DISEÑO EN CLIMAS SEMIÁRIDOS

María P. Mateo<sup>1</sup>, Gustavo J. Barea Paci<sup>1</sup>, Carolina Ganem Karlen<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE) Centro Científico Tecnológico CONICET, Mendoza, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad de Artes y Diseño. Universidad Nacional de Cuyo. FAD-UNCUYO, Mendoza, Argentina.  
[mpmateo@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:mpmateo@mendoza-conicet.gob.ar); [gbarea@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:gbarea@mendoza-conicet.gob.ar); [cganem@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:cganem@mendoza-conicet.gob.ar)

**RESUMEN:** Este estudio revisa 42 investigaciones recientes (2017–2024) sobre Estrategias Pasivas de Diseño (EPD) aplicadas a viviendas sociales en climas secos semiáridos fríos (BSk, según la clasificación de Köppen-Geiger), integrando tres dimensiones clave: viabilidad económica, eficiencia energética y adaptabilidad climática. El análisis muestra que la ventilación natural y nocturna es la estrategia más estudiada (71%), seguida del sombreado (55%), aislamiento térmico (31%) y masa térmica (26%), con reducciones de demanda energética de hasta 62,5% en calefacción y 20,5 % en refrigeración. Sin embargo, solo el 17% de los estudios aborda de forma explícita el análisis económico, evidenciando una brecha crítica en la literatura. Se identifican ahorros energéticos de entre 35% y 50% en casos que combinan EPD con energías renovables, así como mejoras de confort térmico superiores al 39% en tipologías adaptadas. La principal aportación de esta revisión radica en la sistematización comparativa de estrategias aplicables a contextos de alta vulnerabilidad, considerando simultáneamente desempeño térmico, costes y resiliencia ante proyecciones de aumento térmico. Además, identifica tendencias en la literatura que sugieren la necesidad de políticas públicas integrales y financiamiento accesible para viabilizar la adopción de EPD en viviendas sociales. Estas estrategias podrían contribuir a mejorar la calidad habitacional y a enfrentar la pobreza energética.

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

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha crecido el interés por aplicar Estrategias Pasivas de Diseño (EPD) que permitan un uso más eficiente de los recursos naturales en el ámbito de la vivienda. Estas estrategias, entendidas como soluciones arquitectónicas bioclimáticas, constituyen una alternativa relevante para disminuir el consumo energético y mejorar el confort térmico sin recurrir de manera prioritaria a sistemas mecánicos (Givoni, 1998). Al basarse en el aprovechamiento de las condiciones climáticas locales, optimizan la respuesta del edificio al entorno y contribuyen a la eficiencia energética, a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y a la resiliencia climática. Sin embargo, diversos organismos internacionales advierten que los avances para reducir las emisiones de GEI y limitar los impactos ambientales aún resultan insuficientes (IPCC, 2023a). La temperatura media global ya ha aumentado 1,09 °C respecto de la era preindustrial, y alcanzar un incremento de 1,5 °C intensificaría la frecuencia y severidad de los eventos climáticos extremos. Estos fenómenos afectan de forma desproporcionada a poblaciones vulnerables, especialmente en países en desarrollo, donde el acceso a energía moderna sigue siendo limitado (IEA, 2024). Además, el aumento proyectado de la demanda de climatización activa, como el aire acondicionado, podría generar un incremento significativo de las emisiones globales (Chalmers, 2015).

Numerosos estudios han demostrado que las EPD pueden mejorar el desempeño térmico de los edificios, reduciendo la dependencia de sistemas activos y mitigando los efectos de climas extremos (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). También podrían contribuir a enfrentar la pobreza energética, definida por Boardman (1991) como la imposibilidad de cubrir necesidades energéticas básicas, y que persiste en múltiples regiones (Viñuela et al., 2021). En este sentido, la arquitectura bioclimática, que se fundamenta en la implementación de EPD, propone una vía para mejorar la calidad de vida y reducir el consumo energético (Jayalath et al., 2024; Okushima, 2016). A pesar de ello, la incorporación de EPD en viviendas sociales enfrenta barreras considerables. Entre ellas, la necesidad de conocimientos técnicos específicos, la escasa disponibilidad de materiales y tecnologías apropiadas, así como la debilidad de las políticas públicas y los mercados de financiamiento (Mejica et al., 2008; IPCC, 2023b). Estas limitaciones reducen la viabilidad de implementar soluciones que, aunque eficaces, resultan poco accesibles para sectores de bajos ingresos. Además, existe una subrepresentación de investigaciones centradas en climas semiáridos fríos, lo que limita la transferibilidad de soluciones a este contexto. Pocas revisiones consideran simultáneamente escenarios climáticos futuros, condiciones socioeconómicas locales y estrategias replicables de bajo costo, particularmente en entornos de alta vulnerabilidad. Esta ausencia de un enfoque multidimensional dificulta avanzar hacia la identificación de políticas y soluciones técnicas que podrían contribuir a reducir la pobreza energética y mejorar la calidad habitacional.

Este artículo revisa investigaciones recientes sobre EPD aplicadas a viviendas sociales en climas semiáridos fríos, con el fin de identificar las estrategias más efectivas y las barreras que limitan su adopción. El análisis se organiza en tres ejes: i) viabilidad económica, examinando costos, beneficios y apoyos institucionales necesarios; ii) eficiencia energética, estimando la reducción del uso de climatización activa; y iii) adaptabilidad climática, evaluando la resiliencia térmica de las soluciones. El clima BSk, según la clasificación de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006), donde B indica clima seco, S semiárido de estepa y k temperaturas frías, constituye el foco de este estudio. Este clima se caracteriza por una alta heliofanía, temperaturas medias anuales inferiores a 18 °C, baja humedad relativa, precipitaciones escasas y una gran amplitud térmica diaria y estacional. Esta variabilidad implica demandas combinadas de calefacción y enfriamiento, a veces en una misma jornada. En viviendas sociales con envolventes simples, tales condiciones incrementan el consumo energético, reforzando la necesidad de estrategias pasivas versátiles y accesibles.

## METODOLOGÍA

Este estudio adopta un enfoque cualitativo y exploratorio, no exhaustivo, para examinar la aplicación de Estrategias Pasivas de Diseño (EPD) en viviendas sociales en climas semiáridos fríos. La búsqueda principal se llevó a cabo en agosto de 2024 en la base de datos *ScienceDirect*, empleando operadores booleanos con la cadena: "*passive solar systems*" OR "*passive strategies*" AND "*social housing*" AND ((("*temperate climate*" OR BSk) OR BSh) OR BWk) OR BWh). Se aplicaron filtros por tipo de documento (research y review) y periodo de publicación (2017–2024), lo que arrojó 168 registros iniciales. Se consideró que los estudios abordaran al menos uno de los tres ejes analíticos definidos: i) viabilidad económica, incluyendo un análisis detallado de costos, beneficios y políticas de apoyo; ii) eficiencia energética, con un enfoque en la reducción del uso de sistemas de climatización activa; y iii) adaptabilidad climática, evaluando la resiliencia térmica frente a condiciones climáticas extremas.

Se priorizaron investigaciones centradas en climas comparables con el tipo BSk, verificados mediante referencias explícitas o ubicación geográfica. También, se incorporaron algunos trabajos en climas áridos cálidos o desérticos, ya que analizan estrategias pasivas transferibles y adaptables al clima BSk, especialmente en lo referido a ventilación nocturna, control solar y masa térmica, lo que justifica su inclusión. Quedaron excluidos estudios sin evidencia empírica, realizados en climas ecuatoriales, enfocados exclusivamente en tecnologías activas o con estrategias económicamente inviables para el contexto de vivienda social.

Como ilustra la Figura 1, el proceso de selección siguió un protocolo PRISMA simplificado (Page et al., 2021). La lectura inicial de títulos permitió identificar 90 trabajos pertinentes. Posteriormente, tras examinar resúmenes y palabras clave, se descartaron 52 documentos. De los 28 artículos restantes, se sumaron 14 adicionales identificados a partir de las referencias citadas: cinco correspondían a 2017 y

2018, incluidos por su relevancia temática, y nueve fueron localizados en *Google Scholar* (Figuras 2a, 2b). La muestra final quedó conformada por 42 artículos.

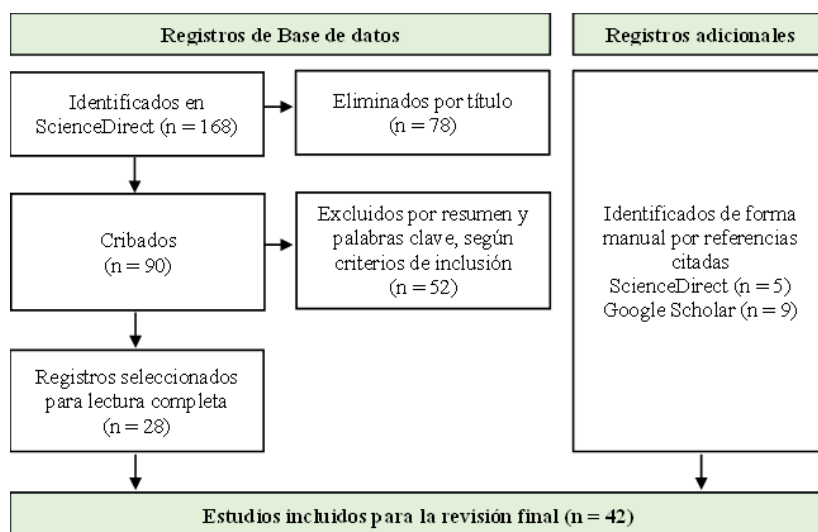


Figura 1 Esquema de flujo PRISMA. Fuente: Elaboración Autores basada en Page et al. (2021).

El análisis se desarrolló en tres etapas principales (Figura 3). Primero, la organización de la literatura: se clasificaron los estudios seleccionados en un gestor bibliográfico y se incorporaron reportes del IPCC y la IEA, debido a su relevancia en materia de políticas energéticas y climáticas. Segundo, la clasificación temática: los documentos se agruparon según los tres ejes analíticos mencionados, identificando palabras clave asociadas (Figura 2c) y elaborando tablas que incluyeron autores, año de publicación, tipo de literatura y hallazgos principales. Tercero, la discusión: se seleccionaron estrategias con potencial de ser transferidas a la vivienda social en climas semiáridos, evaluando sus barreras y proponiendo líneas de investigación futura. Esta metodología combina la amplitud de una revisión sistemática con la profundidad de un análisis cualitativo, permitiendo organizar y sintetizar la evidencia disponible desde una perspectiva económica, energética y climática.

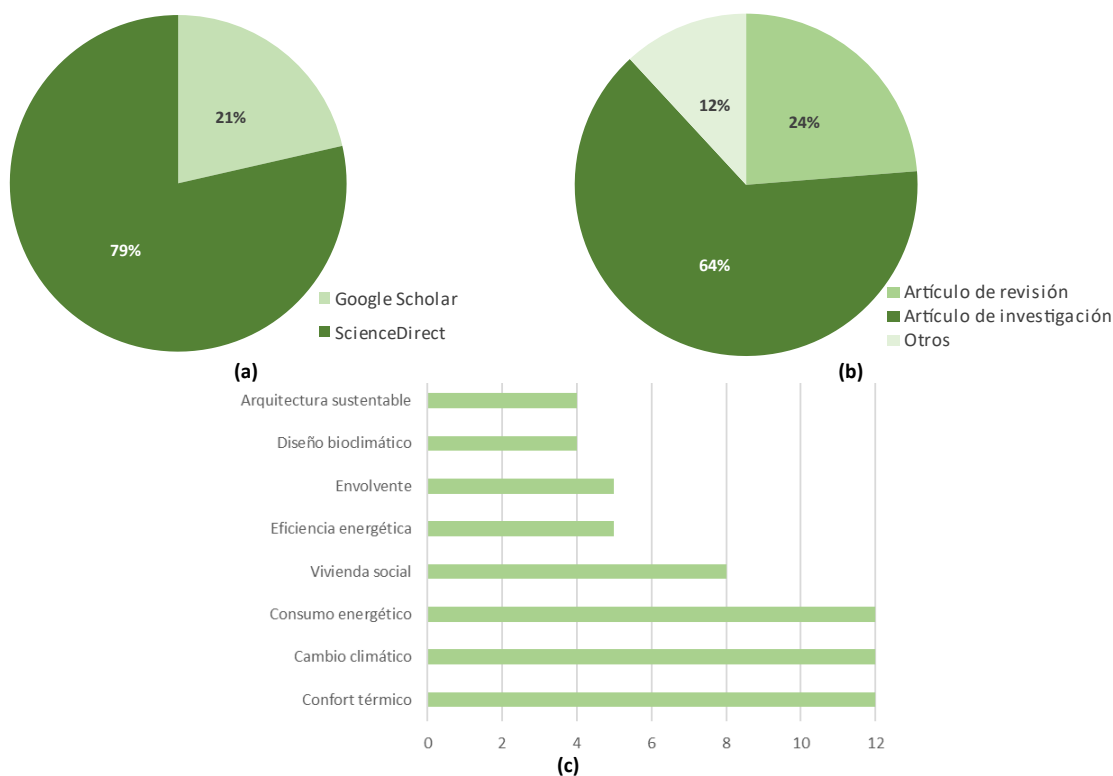


Figura 2. (a) Frecuencia de repetición de palabras clave en los artículos. (b) Porcentaje de artículos según fuente consultada. (c) Tipo de literatura incluida. Fuente: Elaboración Autores.

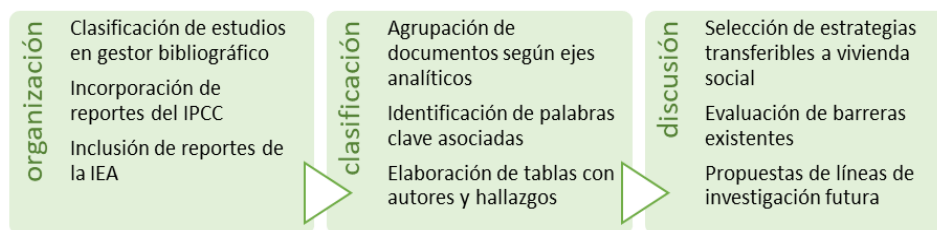


Figura 3. - Esquema metodológico del análisis: marco para evaluar la implementación de estrategias pasivas de diseño. Fuente: Elaboración autores.

Entre las limitaciones, se identificó una restricción temporal: la exclusión de investigaciones anteriores a 2017 pudo dejar fuera estudios con información aún vigente y aplicable. También se reconoció una limitación en el alcance de la búsqueda bibliográfica, por lo que se recomienda incorporar otras bases de datos (p. ej., *Scopus*, *Web of Science*) y utilizar sinónimos o términos alternativos. No obstante, los trabajos incluidos ofrecen un panorama representativo de la producción más reciente, que permite identificar estrategias pasivas con potencial de adaptación al clima BSk, caracterizado por su marcada amplitud térmica diaria y estacional, y por las demandas combinadas de calefacción y enfriamiento. Además, se observó una concentración de investigaciones en regiones con sistemas de financiamiento consolidados (23 estudios en América del Norte y Europa) y una menor representación de contextos con recursos limitados, incluyendo 8 trabajos realizados en Argentina. Este sesgo geográfico podría limitar la aplicabilidad de los resultados en áreas con menores capacidades institucionales y técnicas.

## RESULTADOS

La revisión permitió organizar el material en tres ejes principales: viabilidad económica, eficiencia energética y adaptabilidad climática. Esta clasificación facilita la comparación transversal entre estudios y permite identificar estrategias recurrentes que muestran coherencia con las condiciones climáticas y socioeconómicas de cada contexto, más allá de su frecuencia de aparición. Los datos cuantitativos se emplean como apoyo descriptivo para interpretar tendencias, sin que ello implique una generalización sobre la efectividad de cada estrategia.

Según la codificación temática, el eje de viabilidad económica fue el foco principal en 2 estudios (5%), aunque en otros se abordó de manera parcial (Figura 4a). La eficiencia energética fue tratada en 17 estudios (40%), mientras que la adaptabilidad climática ocupó el primer lugar, con 23 investigaciones (55%). Dado que muchos artículos trataron más de un eje simultáneamente, se calcularon porcentajes relativos para reflejar estas interacciones: la eficiencia energética estuvo presente en el 95% del total, la adaptabilidad en el 67%, y la viabilidad económica en el 17% (Figura 4b). El análisis de coincidencias mostró que el 59% examinó dos ejes a la vez, mientras que solo el 10% integró los tres. La combinación más frecuente fue “Eficiencia energética y Adaptabilidad climática” (52%), mientras que la dimensión económica resultó la menos explorada en la literatura revisada, aun cuando su análisis podría favorecer la incorporación real de EPD en viviendas sociales.

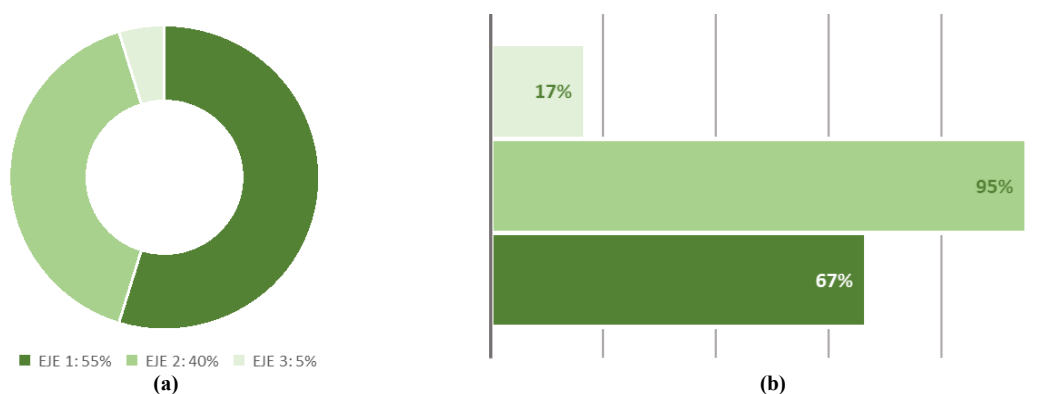


Figura 4. (a) Porcentajes por ejes temáticos. (b) Porcentajes relativos de interacciones temáticas. Fuente: Elaboración Autores.

### ***Viabilidad económica en vivienda social (costos y beneficios)***

La implementación de EPD en viviendas sociales implica desafíos económicos relevantes. Aunque estas estrategias mejoran el confort térmico y reducen el consumo energético, los altos costos iniciales y las limitaciones presupuestarias de las comunidades vulnerables siguen siendo barreras significativas (Bhamare et al., 2019; Wei et al., 2024). A pesar de su efectividad, existe una vacancia en la literatura sobre su factibilidad económica y la relación costo-beneficio.

Gran parte de las investigaciones abordan esta problemática de manera general, sin un enfoque específico en el análisis económico. Si bien las soluciones pasivas son eficaces, su integración debe adaptarse a las condiciones locales para optimizar costos y eficiencia (Tajuddeen y Sajjadian, 2024). Hampo et al. (2024) destacan los elevados costos de enfriamiento en sectores vulnerables y la necesidad de diseños más eficientes, aunque no profundizan en los aspectos económicos. Además, subrayan la relación entre sobrecalentamiento, salud pública e impactos socioeconómicos. En esta línea, Zhai y Helman (2019) señalan la importancia de considerar las condiciones climáticas futuras al evaluar mejoras destinadas a reducir costos de enfriamiento.

Entre las medidas con incidencia económica se destacan aquellas para reducir las fluctuaciones térmicas y mejorar el confort, como la optimización de la inercia térmica mediante madera maciza, hormigón liviano y soluciones constructivas adaptadas al clima, como el aumento de altura de muros con aislamiento térmico (Avendaño-Vera et al., 2020; Fernández y Pesantez, 2019). Aunque estas estrategias pueden implicar una inversión inicial más elevada, sus beneficios en eficiencia energética y calidad de vida justifican plenamente su adopción.

En estudios de casos, Fernández y Pesantez (2019) muestran que el aislamiento térmico constituye el único costo adicional significativo en viviendas multifamiliares, inversión con 25 años de vida útil que mejora la calidad de vida en familias de bajos recursos. Por su parte, Jayalath et al. (2024) proponen incorporar modelización energética, optimización de costes y análisis de ciclo de vida como herramientas para abordar la pobreza energética en viviendas asequibles. En Argentina Durán y Condorí (2019) abordan la pobreza energética, donde las tarifas excluyen a hogares vulnerables y que, aunque las energías renovables ofrecen menores costos operativos, la falta de diseño bioclimático limita su alcance. Asimismo, Ascione et al. (2024) analizan la rentabilidad de las estrategias pasivas a largo plazo y la necesidad de códigos de edificación adaptativos que prioricen soluciones sostenibles y accesibles. Las autoconstrucciones muestran potencial, pero requieren apoyo técnico e institucional para garantizar su eficacia (Caldas et al., 2019; Jayalath et al., 2024).

Finalmente, algunas estrategias combinan eficacia y bajo desembolso, con un peso económico reducido respecto del costo total de la obra. Rempel et al. (2022) subrayan que la combinación de ventilación y sombreado efectivo proporciona entre 130 y 150 horas de alivio térmico durante olas de calor, mientras que Jayalath et al. (2024) advierten que soluciones de bajo costo como techos aislados y fachadas reflectantes resultan altamente eficaces. La viabilidad económica de las EPD mejora con soluciones asequibles y análisis costo-beneficio integral que contemplen ahorros a largo plazo, retornos favorables y beneficios sociales y ambientales, mientras que herramientas como el costo del ciclo de vida y metodologías con análisis de sensibilidad e incertidumbre permiten orientar decisiones sostenibles en vivienda social (Alba Gómez et al., 2021; Sharbaf y Schneider-Marin, 2025).

### ***Desempeño energético de las EPD***

La eficiencia energética de las EPD ha sido ampliamente estudiada, evidenciando su capacidad para reducir el consumo energético mediante estrategias pasivas adaptadas a distintos climas y contextos constructivos. Basados en principios bioclimáticos y diseño sostenible, estos sistemas son particularmente eficaces en regiones cálidas áridas, así como semiáridas. Numerosos estudios informan reducciones en la demanda de energía para calefacción y refrigeración. Zhai y Helman (2019) destacan que, ante escenarios futuros, estrategias como el aislamiento térmico y la ventilación eficiente mitigan los aumentos en la demanda de refrigeración, compensando parcialmente la menor necesidad de calefacción. Filippín et al. (2017) indican que incorporar aislamiento en techos y paredes reduce la

demanda de calefacción hasta un 62,5 % en climas templados-fríos de Argentina, mientras que la ventilación nocturna y el sombreado disminuyen significativamente el sobrecalentamiento estival.

Las estrategias de enfriamiento pasivo pueden clasificarse en tres categorías principales: protección contra la ganancia térmica, almacenamiento térmico mediante materiales de cambio de fase (PCM, por sus siglas en inglés) y disipación de calor como la ventilación nocturna (Bhamare et al., 2019). En particular, Liu et al. (2022) identifican que los PCM, integrados en techos y paredes, aumentan la inercia térmica y estabilizan las temperaturas interiores. Asimismo, Seo et al. (2023) destacan el diseño optimizado de estructuras de refrigeración radiativa, señalando la importancia de ajustar el grosor de la película de PDMS según el clima local.

De forma complementaria, los patios tradicionales emergen como dispositivos arquitectónicos clave, ya que actúan como reguladores microclimáticos y reducen la dependencia de sistemas activos. Diversos estudios evidencian mejoras significativas: por un lado, se reportan incrementos de hasta un 39,3 % en el confort térmico; por otro, se destaca que la geometría del patio influye directamente en su desempeño térmico, permitiendo reducir hasta un 20,5 % la demanda energética para refrigeración, al funcionar como amortiguadores térmicos que favorecen la ventilación natural (Diz-Mellado et al., 2023; Soflaei et al., 2017, 2020).

Por su parte, Soutullo et al. (2017) comparan edificios bioclimáticos y convencionales en Madrid, observando una reducción del 35% en consumo de energía primaria en los primeros, además de mayor confort térmico en verano. La ventilación mecánica con recuperación de calor y fachadas ventiladas fueron claves. D’Amanzo et al. (2020) afirman que la integración de estrategias pasivas y energías renovables en edificios de energía casi nula puede reducir el consumo energético hasta un 50%. A su vez, Adua et al. (2024) destacan tecnologías ambientales como ventanas de bajas pérdidas, almacenamiento térmico en cubiertas y enfriamiento radiativo, que mejoran la resiliencia ante eventos extremos y promueven edificios sostenibles.

La mejora del confort térmico es otro beneficio clave. Por ejemplo, Chen et al. (2023) desarrollaron un modelo predictivo que incrementa un 56,3 % las horas de ventilación natural en edificios pasivos, sin necesidad de sistemas mecánicos. Park et al. (2023) exploran algoritmos de aprendizaje automático para sombreado y ventilación natural, logrando ahorros de energía de hasta el 90 % y destacando su potencial para descarbonizar viviendas.

La eficiencia energética en la vivienda social requiere 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.

### ***Resiliencia térmica y adaptación de las EPD***

Las transformaciones ambientales globales plantean desafíos significativos al diseño de las EPD. La investigación sobre su adaptabilidad se ha centrado en estrategias para mitigar el sobrecalentamiento en diversos contextos climáticos, aplicadas de forma individual o combinada, y ha arrojado resultados 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 literatura coincide en que la ventilación natural y nocturna, combinada con masa térmica, es clave para mitigar el sobrecalentamiento en contextos áridos y semiáridos (Flores-Larsen et al., 2023; Roshan et al., 2019). Su efectividad varía según el entorno: en Phoenix, Arizona y Texas mejora el confort térmico cuando se combina con otras soluciones pasivas o incluso en muros de tierra (Hampo et al., 2024; Ben-Alon y Rempel, 2023; Wei et al., 2024), mientras que en Canadá depende del sombreado y de una adecuada proporción entre ventana–pared (Cavka y Ek, 2018). Tajuddeen y Sajjadian (2024) subrayan la relevancia de los techos ventilados como recurso para disminuir el consumo energético en climas cálidos.

El sombreado se consolida como una solución esencial, especialmente cuando se combina con ventilación y aislamiento térmico. En Mendoza, Barea et al. (2017) destacan su uso estacional en ventanas multiacimutales, mientras que Flores-Larsen et al. (2019) evidencian mejoras al integrarlo con ventilación cruzada. Gupta y Deb (2023), en Dubái, reportan reducciones del 50 % en cargas de enfriamiento mediante fachadas ventiladas y diseño eficiente de la envolvente. Harkouss et al. (2018) confirman su efectividad en Esfahan y Abu Dhabi al combinarlo con vidrios de baja emisividad. En Europa, Sánchez et al. (2020) proyecta su utilidad ante escenarios de calentamiento. En contextos urbanos, Ganem y Barea (2021) proponen hibridar lógicas naturales y técnicas en arquitectura sostenible, y Caldas et al. (2019) destacan su aplicación en Piura para mitigar islas de calor.

La masa térmica desempeña un papel fundamental en la estabilidad térmica interior, especialmente cuando se combina con ventilación natural o nocturna. Su efectividad ha sido validada en climas templados y áridos por Piña Hernández (2018) y Roshan et al. (2019), mientras que Sánchez et al. (2020) y Ascione et al. (2024) destacan su capacidad para amortiguar las fluctuaciones térmicas diarias en condiciones ambientales variables. En esta línea, Pajek et al. (2022) subrayan la creciente relevancia del diseño compacto con alta inercia térmica ante proyecciones de aumento térmico. Por otro lado, el aislamiento térmico se consolida como una estrategia indispensable en escenarios de incremento de temperaturas. Su eficacia se potencia al combinarlo con ventilación natural y al ajustar los valores de transmitancia térmica (U-valores) de las envolventes, adaptándolos a distintos contextos proyectados (Rodrigues et al., 2023; Shen et al., 2019).

Superficies reflectantes y vidrios de baja emisividad son eficaces en climas con alta radiación (Gupta y Deb, 2023; Harkouss et al., 2018). Tajuddeen y Sajjadian (2024) muestran reducciones del 42 % en cargas térmicas mediante techos reflectantes, mientras que Azimi Fereidani et al. (2021) destacan reducciones del 12 % con superficies claras y 3 % con sistemas verdes en Doha para escenarios futuros. A su vez, el enfriamiento radiativo se presenta como una alternativa eficiente para evacuar el calor acumulado (Carlosena et al., 2023). Finalmente, la refrigeración evaporativa se perfila como otra alternativa para climas áridos. Barea et al. (2023) destacan su potencial en Mendoza, mientras que Roshan et al. (2019) la validan en Irán al combinarla con masa térmica y ventilación nocturna.

La revisión demuestra que las EPD favorecen la resiliencia térmica y resultan especialmente pertinentes para la vivienda social, ya que permiten responder a condiciones ambientales cambiantes. Su adecuada integración en el diseño arquitectónico podría mejorar el confort interior, reducir la vulnerabilidad energética y contribuir a soluciones habitacionales sostenibles en contextos diversos.

## **DISCUSIÓN**

A diferencia de análisis previos centrados únicamente en el desempeño térmico o energético (Liu et al., 2022; Seo et al., 2023; Soflaei et al., 2017, 2020), esta revisión propone un enfoque integral orientado a la vivienda social, que articula tres dimensiones clave: viabilidad económica, eficiencia energética y adaptabilidad climática. Esta perspectiva multidimensional puede validar vacíos temáticos poco abordados, como la ausencia de evaluaciones de costo-beneficio a largo plazo frente a escenarios proyectados de aumento térmico, y la limitada consideración de criterios de accesibilidad económica en contextos de alta vulnerabilidad (Hampo et al., 2024; Jayalath et al., 2024).

La literatura destaca el papel central de estrategias pasivas de enfriamiento, como el sombreado y la ventilación natural, para mitigar el sobrecalentamiento estival y optimizar el confort térmico en climas BSk (Barea et al., 2023; Ben-Alon y Rempel, 2023; Flores-Larsen et al., 2023; Pajek et al., 2022; Sánchez et al., 2020). Estas soluciones adquieren mayor relevancia ante las proyecciones de incremento de temperaturas globales hacia finales de siglo, que exigen una planificación anticipada respaldada por herramientas de simulación y modelado energético. Estas herramientas permiten evaluar escenarios futuros (Duan et al., 2024; Ganem y Barea, 2021), optimizar el desempeño térmico (Chen et al., 2023) y fundamentar decisiones de diseño (Park et al., 2023). Además, 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) se posicionan como elementos clave para fortalecer la eficiencia energética y la resiliencia térmica de las viviendas, especialmente en entornos vulnerables.

La frecuencia con que estas intervenciones aparecen en los estudios revisados no implica necesariamente mayor efectividad ni aplicabilidad (Tabla 1). Si bien algunas soluciones aparecen con mayor frecuencia en la literatura, dicha recurrencia puede estar condicionada por variables como la disponibilidad de datos, las prioridades institucionales y editoriales, o la facilidad de implementación. La ventilación natural y nocturna lidera con un 71% de frecuencia, seguida del sombreado en ventanas y fachadas (55%), el aislamiento térmico (31%), la masa térmica (26%) y las envolventes reflectantes (12%). La refrigeración evaporativa (10%) y los vidrios de baja emisividad (7%) tienen menor presencia, aunque se muestran efectivos en contextos particulares. Estos porcentajes evidencian la diversidad de enfoques y la importancia de adaptar las EPD a las condiciones locales, aunque no representan criterios de selección directa, sino tendencias observadas en el marco de un análisis cualitativo y exploratorio. (Figura 5).

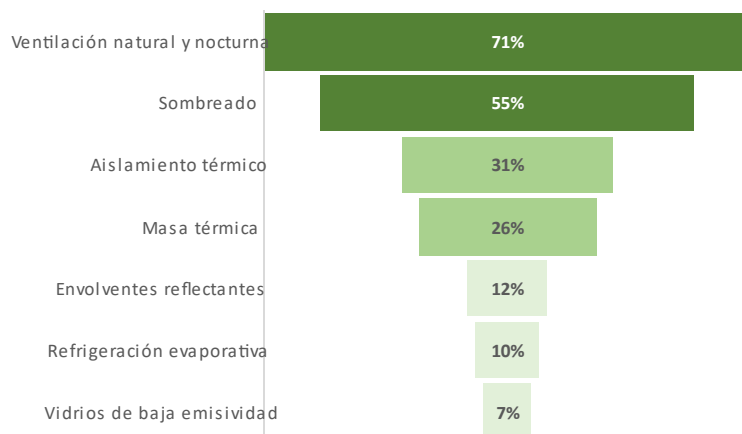


Figura 5. Porcentajes de las estrategias más reportadas. Fuente: Elaboración Autores.

Tabla 1. Síntesis de las estrategias y sus beneficios principales por frecuencia absolutas en los artículos analizados. Fuente: Elaboración Autores

Estrategia	Beneficio	FA:
Ventilación natural y nocturna	Reducción de temperatura interior	30
Sombreado (ventanas, fachadas)	Mitigación del sobrecalentamiento	23
Masa térmica	Regulación de fluctuaciones térmicas	11
Envolventes reflectantes	Reducción de carga térmica	5
Aislamiento térmico	Mejora de eficiencia energética	13
Vidrios de baja emisividad	Mejora de aislamiento térmico	3
Refrigeración evaporativa	Reducción de temperatura interior	4

El estudio sugiere la importancia de un abordaje integral que considere simultáneamente la viabilidad económica, la eficiencia energética y la capacidad de adaptación térmica para el diseño de viviendas sociales en climas semiáridos. La originalidad del estudio reside en la interrelación de estas dimensiones en un contexto climático específico, lo que permite identificar estrategias pertinentes y replicables en zonas BSk, caracterizadas por una alta vulnerabilidad. Este enfoque aporta una base conceptual útil para futuras investigaciones aplicadas, con el posible potencial de reducir la pobreza energética y mejorar la calidad habitacional en contextos vulnerables.

## CONCLUSIONES

El estudio confirma que la incorporación de criterios de viabilidad económica, eficiencia energética y adaptabilidad climática permite evaluar de manera más completa las Estrategias Pasivas de Diseño (EPD) para viviendas sociales en climas BSk. El análisis de 42 investigaciones recientes indica que la ventilación natural y nocturna, el sombreado, el aislamiento y la masa térmica son las estrategias más frecuentes y efectivas, con reducciones energéticas de hasta un 62,5 % en calefacción y un 20,5 % en refrigeración, así como mejoras de confort térmico superiores al 39 %.

La limitada inclusión de evaluaciones económicas y de escenarios climáticos futuros en la literatura revisada evidencia la necesidad de enfoques más integrales que combinen desempeño técnico y viabilidad de implementación, en especial en contextos de vulnerabilidad.

Los resultados obtenidos sugieren elementos útiles para orientar el desarrollo de políticas públicas, instrumentos de financiamiento y guías técnicas que impulsen soluciones pasivas de bajo costo y alto impacto. Además, ofrecen una base metodológica que podría adaptarse a otros contextos climáticos, favoreciendo la transferencia de conocimiento hacia la práctica profesional. Futuras investigaciones deberían avanzar en la cuantificación de beneficios económicos a largo plazo y en el análisis de resiliencia habitacional frente a escenarios de cambio climático.

Entre las líneas futuras de investigación, se propone explorar: (1) el desarrollo de materiales y tecnologías de bajo costo para aumentar la accesibilidad de las EPD; (2) el análisis de la interacción entre estas estrategias y las particularidades culturales y sociales de las comunidades locales; y (3) el diseño de políticas públicas que integren sostenibilidad energética con equidad social. Asimismo, sería pertinente profundizar en evaluaciones costo-beneficio que contemplen el ciclo de vida completo de las soluciones, incluyendo impactos económicos, sociales y ambientales.

## 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>
- Alba Gómez, L. K., Herrera Sosa, L. C., & Esparza López, C. J. (2021). Análisis de costo-beneficio de estrategias de climatización pasiva en vivienda social en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Vivienda Y Comunidades Sustentables*, (10), 81–91. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.165>
- 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 INVI N°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, 114542. <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. En *Journal of Cleaner Production* (Vol. 305). Elsevier Ltd. <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). Future effectiveness of passive house design strategies. *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. <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* (Vol. 198, pp. 467–490). Elsevier Ltd. <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*. <https://doi.org/10.15460/tecnica.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. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110694>
- Cavka, B. T., & Ek, M. (2018). Future weather files to support climate resilient building design in Vancouver (Student Research Report, UBC SEEDS Sustainability Program). University of British Columbia, Vancouver, Canadá. Presentado en 1st International Conference on New Horizons in Green Civil Engineering (NHICE-01), Victoria, Canadá, 25–27 abril 2018. <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. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120613>
- D'Amanzo, M., Mercado, M. V., y Karlen, C. G. (2020). 10 questions about zero energy buildings: A state-of-the-art review. *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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118788>
- 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. <https://doi.org/10.30972/eitt.503780>
- Fernández Morocho, J. D., & Pesantez Rivadeneira, B. X. (2019). Diseño térmico de edificaciones resilientes al cambio climático (Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Repositorio Institucional de la ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/46992>
- 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. <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. *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*, 363–381. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_17)
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons. [http://books.google.com/books?id=MGkArZ\\_berAC&pgis=1](http://books.google.com/books?id=MGkArZ_berAC&pgis=1)
- 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* (Vol. 186). Elsevier Ltd. <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 Biwole, 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>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023a). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (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 (Core Writing Team, H. Lee, y J. Romero, Eds.). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- International Energy Agency (IEA). (2024). World Energy Outlook 2024 IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- Jayalath, A., Vaz-Serra, P., Hui, F. K. P., y Aye, L. (2024). Thermally comfortable energy efficient affordable houses: A review. *En Building and Environment* (Vol. 256). Elsevier Ltd. <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>
- 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. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X22017480>
- 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 No23*, 62, 21–73. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2008.62191>
- 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. <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. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121364>
- Piña Hernández, E. H. (2018). Prototype for sustainable social high-rise housing, an approach to climate change resilience. *Revista INVI*; Vol. 33 Núm. 92 (2018); 213-237. <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62744>
- 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. <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. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.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. <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. <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. <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. En *Environment, Development and Sustainability*. Springer Science and Business Media B.V. <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*, 25, 315–326. <http://hdl.handle.net/11336/173754>
- 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. En *Energy and Buildings* (Vol. 319). Elsevier Ltd. <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>

## FUENTES DE 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) y CONICET PIP 11220200101711CO (2021-2025).

## SUSTAINABLE SOCIAL HOUSING: EVALUATION OF PASSIVE DESIGN STRATEGIES IN SEMIARID CLIMATES.

**ABSTRACT** This study reviews 42 recent investigations (2017–2024) on Passive Design Strategies (PDS) applied to social housing in cold semi-arid climates (BSk, according to the Köppen–Geiger classification), integrating three key dimensions: economic viability, energy efficiency, and climate adaptability. The analysis shows that natural and nocturnal ventilation is the most frequent studied strategy (71%), followed by shading (55%), thermal insulation (31%), and thermal mass (26%), with energy demand reductions of up to 62.5% for heating and 20.5% for cooling. However, only 17% of the studies explicitly address economic analysis, highlighting a critical gap in the literature. Energy savings between 35% and 50% are identified in cases combining PDS with renewable energies, as well as thermal comfort improvements exceeding 39% in adapted typologies. The main contribution of this review lies in the comparative systematization of applicable strategies for highly vulnerable contexts, simultaneously considering thermal performance, costs, and resilience to projected temperature increases. The literature also points to the importance of comprehensive public policies and accessible financing to support the adoption of PDS in social housing, which could help improve housing quality and address energy poverty.

**Keywords:** social housing, economic viability, energy efficiency, climate adaptability.