

DISEÑO DE VIVIENDA AMBIENTALMENTE CONSCIENTE PARA CLIMA ÁRIDO

Ana C. Cano Jofré¹, M. Guillermina Ré¹, Gabriela Sendra¹, Matías Marcelo Segovia¹, Alción Alonso Frank¹

¹ Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPha-CONICET-UNSJ).
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan.
Av. José Ignacio de la Roza y Meglioli. Rivadavia. San Juan
Tel.: +54 (0) 264-4232395 / 3259 Int. 318 - <http://www.irpha.faud.unsj.ar>
e-mail: accjofre@gmail.com; guillerminare@faud.unsj.edu.ar

Recibido 06/2025; Aceptado 07/2025

RESUMEN.- Ante un contexto de cambio climático y crisis energética, resulta imperioso que el diseño arquitectónico asuma un rol activo incorporando conocimientos en materia de sustentabilidad y eficiencia energética como parte estructurante del proceso proyectual. En esta dirección, la formación de profesionales arquitectos en la temática se torna decisivo. El presente trabajo exhibe un proyecto de vivienda unifamiliar ambientalmente consciente localizado en el Área Metropolitana de San Juan, elaborado en el marco del trabajo final de la Diplomatura en Eficiencia Energética y Sustentabilidad. La metodología se estructura en tres fases orientadas al estudio del lugar de implantación y las características climáticas, a la evaluación de distintas soluciones tecnológicas para la envolvente y a la integración de sistemas activos de energía renovable. Del análisis de resultados se destaca la reducción del 59,3% de la carga térmica anual de calefacción respecto de una vivienda tradicional, junto con la capacidad del sistema fotovoltaico para cubrir el 46,6% de la demanda eléctrica por autoconsumo. Se concluye que la propuesta, fruto de una formación profesional orientada a la aplicación de soluciones contextualizadas, evidencia el impacto positivo obtenido al integrar estos criterios desde las etapas iniciales del diseño arquitectónico.

Palabras clave: Vivienda sustentable, Eficiencia energética, Diseño bioclimático, Evaluación termo-energética, Clima árido

ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS HOUSING DESIGN FOR ARID CLIMATES

ABSTRACT.- In a context of climate change and energy crisis, it is imperative for architectural design to assume an active role by incorporating knowledge on sustainability and energy efficiency as a structuring part of the design process. In this direction, the training of professional architects in this area becomes decisive. This paper presents an environmentally conscious single-family housing project located in the Metropolitan Area of San Juan, developed as part of the final work of the Diploma in Energy Efficiency and Sustainability. The methodology is structured in three phases oriented to the study of the site and climatic characteristics, the evaluation of different technological solutions for the envelope and the integration of active renewable energy systems. The analysis of the results shows a 59,3% reduction of the annual heating thermal load compared to a traditional house, together with the capacity of the photovoltaic system to cover 46.6% of the electricity demand for self-consumption. It is concluded that the proposal, the result of a professional training oriented to the application of contextualized solutions, evidences the positive impact obtained by integrating these criteria from the initial stages of the architectural design.

Keywords: Sustainable housing, Energy efficiency, Bioclimatic design, Thermo-energetic evaluation, Arid climate

1. INTRODUCCIÓN

La crisis climática global representa uno de los mayores desafíos contemporáneos, con implicancias profundas sobre el ambiente, la economía y la calidad de vida en los territorios urbanos. El cambio climático, impulsado por el incremento de las emisiones

de gases de efecto invernadero (GEI), ha generado un llamado urgente a repensar el modo en que habitamos, diseñamos y construimos. En este contexto, el sector de la edificación es identificado como un actor clave, tanto por su elevada demanda de recursos como por su potencial transformador. Según el Global Status Report for Buildings and Construction (United Nations, 2025), el



Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

parque edilicio es responsable del 34% del consumo mundial de energía y del 37% de las emisiones de CO₂ vinculadas a energía y procesos en el año 2022. A su vez, en Argentina, este sector es responsable del 37% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y del 40% del consumo energético de la matriz nacional. De este porcentaje, la climatización implica un importante valor, dada la alta demanda para refrigerar en verano y calefaccionar en invierno; es por ello que se convierte en un sector con un alto impacto ambiental (CONICET Noa Sur, 2023).

La arquitectura, como disciplina configuradora del espacio habitable, debe ser capaz de integrar desde el origen del proyecto estrategias que reduzcan la demanda energética, favorezcan el aprovechamiento pasivo de los recursos naturales, minimicen los impactos ambientales y promuevan condiciones de bienestar duradero. Como lo demuestran diversos estudios (Bahramian y Yetilmezsoy, 2020; Asdrubali et al., 2013), la etapa de uso de un edificio puede representar hasta el 90% de su consumo energético total a lo largo de su ciclo de vida, lo cual refuerza la necesidad de intervenir desde el inicio del diseño para evitar decisiones costosas e ineficientes a futuro.

A nivel internacional, los modelos de certificación como BREEAM (Reino Unido), LEED (Estados Unidos), DGNV (Alemania) o VERDE (España) contribuyen a sistematizar criterios de evaluación de edificios sostenibles, con indicadores vinculados al uso de la energía, la calidad ambiental interior y la gestión responsable del agua y los materiales (Quesada Molina, 2014; Frade y Susumu, 2016; Ré y Michaux, 2019; Menna et al., 2021).

En el ámbito nacional, herramientas como la Etiqueta Nacional de Eficiencia Energética de Viviendas (PRONEV), las normas IRAM 11900 (2017) y 11931 (2016), representan avances normativos y técnicos para guiar tanto el diseño como la rehabilitación del parque edilicio existente. Sin embargo, estas metodologías se aplican en gran parte a edificios en fase de ejecución o ya construidos, lo que limita su capacidad transformadora si no son integradas desde el inicio del proceso proyectual (Czajkowski et al., 2017; Alonso Frank, 2020).

El diseño de viviendas adecuadas al ambiente, que respondan de manera eficiente en materia energética, se convierte en una necesidad cada día más imperante, especialmente en regiones con climas extremos y recursos limitados (Garavito Hormaza, 2024; Chávez Mosquera, 2024). Desde las disciplinas de la arquitectura y el urbanismo se deben proveer las herramientas para el desarrollo de proyectos de vivienda cualitativos, relacionados con el confort térmico, la iluminación y ventilación natural, y el uso racional de recursos (Valor Montero, 2023).

Frente a este panorama, se vuelve imperativo que el diseño arquitectónico asuma un rol activo, incorporando conocimientos en materia de sustentabilidad y eficiencia energética como parte estructurante del proceso proyectual, y no como un componente accesorio o una herramienta de corrección posterior. En esta línea, la formación de profesionales arquitectos en la temática se torna decisivo.

En este contexto, el presente artículo expone los principales resultados de un estudio desarrollado como Trabajo Final Integrador (TFI) en el marco de la Diplomatura en Eficiencia Energética y Sustentabilidad (DEEYS) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). El mismo toma como base el diseño de una vivien-

da unifamiliar ubicada en el Área Metropolitana de San Juan y compara dos propuestas constructivas: una tradicional en mampostería común y otra con soluciones bioclimáticas orientadas a alcanzar altos niveles de eficiencia energética y confort. A través de este estudio de caso, se busca aportar evidencia concreta sobre el impacto obtenido de incorporar criterios sustentables desde la etapa de diseño arquitectónico. A su vez, se evalúa la rentabilidad y viabilidad técnica del uso de energías renovables en contextos residenciales locales.

2. METODOLOGÍA

El abordaje metodológico se desarrolla en tres etapas integradas: *operativa*, *propositiva* y *de evaluación*, con el objetivo de alcanzar un proyecto de vivienda unifamiliar bioclimática y eficiente energéticamente.

En la *etapa operativa*, se caracteriza el lugar de implantación y se obtienen datos climáticos que guíen el proceso de Diseño Ambientalmente Consiente (DAC). En este momento se definen las pautas, los condicionantes y el programa de necesidades para una familia tipo compuesta por dos adultos y dos niños.

Para la caracterización bioclimática del sitio se utiliza el software Climate Consultant 6.0 (2023), con la carga de datos climáticos en formato EPW (Energy Plus Weather Data). Esta herramienta permite identificar estrategias pasivas recomendadas como masa térmica alta con ventilación nocturna, control solar mediante sombreadamiento, uso de ventilación natural cruzada y aislamiento térmico optimizado. El análisis incluye trayectorias solares, velocidades y direcciones predominantes del viento, necesidades estacionales de calefacción y refrigeración y un desglose de horas de confort y condiciones climáticas extremas.

La *etapa propositiva* se estructura sobre un único modelo arquitectónico, para el cual se elaboran dos variantes constructivas: una propuesta tradicional, sin criterios específicos de eficiencia energética (caso base), y otra optimizada con estrategias bioclimáticas y soluciones sustentables orientadas al confort térmico pasivo (caso propuesto).

En la *etapa de evaluación*, ambas versiones son analizadas bajo iguales condiciones climáticas, funcionales y de uso, lo que permite una comparación directa de su comportamiento energético. En esta instancia del trabajo, se aplican cuatro procedimientos complementarios entre sí: evaluación en régimen estacionario (IRAM); evaluación en modelo estacionario con corrección dinámica (PRONEV) que, mediante ajustes globales logra, compensar y corregir el comportamiento del sistema para tener en cuenta los efectos dinámicos; integración de sistemas activos de energías renovables; y análisis económico enfocado en las propuestas de energías renovables. En lo específico, para la evaluación de régimen estacionario se utilizan las planillas CEEMA (Gonzalo et al., 2000) y los lineamientos de las normas IRAM 11601 (2002), 11603 (2012) y 11604 (2001) que determinan el comportamiento térmico de la envolvente edilicia. Se calculan las transmitancias térmicas (K) de cada componente (muros, techos, pisos y aberturas), el coeficiente global de pérdidas térmicas (G), los grados-día (G°D) de calefacción, y la carga térmica auxiliar (Q) requerida para alcanzar condiciones de confort.

El G se determina mediante la Ecuación 1, donde K_m es la transmitancia térmica de los cerramientos opacos, S_m es el área de los cerramientos opacos, K_v es la transmitancia térmica de

los cerramientos no opacos, S_V es el área de los cerramientos no opacos y V es el volumen calefaccionado del edificio. A su vez, se considera el perímetro del piso en contacto con el exterior (Per) y las pérdidas de calor (P_p), la capacidad específica del aire (0,35) y el número de renovaciones promedio por hora (n).

$$G = \frac{\sum K_m S_m + \sum K_V S_V + Per \cdot P_p}{V} + 0,35n \quad (1)$$

Luego, se estima la demanda energética teórica de calefacción con la expresión de la Ecuación 2, donde Q representa la energía anual requerida en kWh y $G^\circ D$ los grados-día de calefacción del lugar. Esta evaluación permite establecer una primera aproximación normativa del desempeño térmico de ambas propuestas.

$$Q = \frac{24 * G * V * G^\circ D}{1000} \quad (2)$$

Por otro lado, se lleva a cabo la evaluación del requerimiento energético con el aplicativo informático del Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas PRONEV (2024). Los resultados obtenidos permiten calificar la vivienda según el Índice de Prestaciones Energéticas (IPE) y obtener la etiqueta correspondiente para aquellas provincias cuyos valores se encuentran definidos. Para ello se estudia la documentación, se relevan los datos, se define el sistema de estudio (basado en la identificación de ambientes y espacios, la clasificación de ambientes y espacios, la definición de zonas térmicas, el reconocimiento de la envolvente térmica, la identificación de los elementos de la envolvente térmica, la identificación de los elementos internos a la zona térmica y la identificación de los elementos de la envolvente de los ambientes no climatizados y espacios no habitables), se cargan y procesan los datos, se evalúan los resultados y se emite la etiqueta. A efectos de la presente propuesta, se configuran dos prototipos idénticos en términos de morfología y superficie, diferenciados exclusivamente por sus componentes constructivos. Se analizan variables como la energía útil, secundaria y primaria para calefacción y refrigeración, el coeficiente global de intercambio térmico y las constantes de tiempo, entre otros, lo que permite obtener resultados detallados de, por ejemplo, ganancias y pérdidas de energía (calor) por cada elemento de la envolvente que, a su vez, validan los obtenidos durante la evaluación de régimen estacionario mediante la comparación del valor correspondiente al Requerimiento de energía útil en invierno con el cociente entre el Q obtenido con la Ecuación 2 (IRAM 11604, 2017) y la eficiencia del equipo de calefacción a utilizar, cuyo valor se obtiene de la IRAM 11900 (2017).

Finalmente, se realiza un análisis económico para evaluar la viabilidad de la implementación de energías renovables. Para su alcance, se dimensiona un sistema fotovoltaico acorde al requerimiento energético del caso propuesto y se evalúan los costos de inversión inicial, mantenimiento, vida útil estimada y la posibilidad de inyectar excedentes a red de distribución. La evaluación de la rentabilidad se realiza mediante el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), incluyendo variables como la proyección tarifaria, la tasa de descuento, la inflación y la vida útil del sistema. Este abordaje permite analizar la conveniencia económica de incorporar estrategias de sustentabilidad desde la etapa de diseño, considerando no sólo sus beneficios técnicos y ambientales, sino también su impacto a largo plazo en términos de ahorro energético y retorno de inversión.

3. CASO DE ESTUDIO

3.1. Caracterización climática y localización

La vivienda unifamiliar de nueva construcción se encuentra ubicada en el Área Metropolitana de San Juan, Argentina, concretamente en el departamento de Santa Lucía. Esta zona presenta un clima árido, de tipo templado-cálido con alta amplitud térmica, Zona IIIa según la norma IRAM 11603 (Figura 1), los veranos son relativamente calurosos y presentan temperaturas medias que oscilan entre 20°C y 26°C, con máximas medias que superan los 30°C. Los inviernos registran valores medios de temperatura entre 8°C y 12°C, con mínimas que rara vez son menores que 0°C.

Con el programa Climate Consultant, se generan una serie de gráficos que permiten comprender las características climáticas del lugar, a la vez que brindan recomendaciones de diseño bioclimático tomando como base el estándar ASHRAE 55 (2017). En la Figura 2 se observan los rangos de temperatura de bulbo seco



Fig. 1: Clasificación bioambiental según norma IRAM 11603
Fuente: ENARGAS (Ente Nacional de Regulación de Gas)

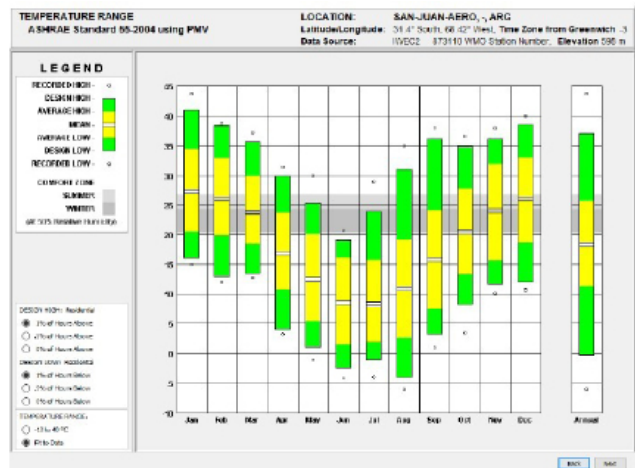


Fig. 2: Rangos de Temperatura (Temperature Range) San Juan, Argentina. Fuente: Climate Consultant (2023)

para la ciudad de San Juan. En él se indica la temperatura máxima y mínima registrada, las temperaturas de diseño (con barras verdes), las temperaturas promedio (con barras amarillas) y la temperatura media (con una línea blanca al centro). En la imagen se puede ver que las temperaturas de confort varían para invierno y verano, siendo de 21°C a 24°C y de 24°C a 26°C respectivamente.

3.2. Anteproyecto de Vivienda

El terreno cuenta con orientación principal norte-sur, acceso desde calle al norte y una superficie de 2000 m². La vivienda es proyectada con una superficie cubierta de 152 m² y responde a un programa funcional destinado a una familia tipo (Tabla 1), con espacios sociales y de servicio en el sector frontal y área privada hacia el contrafrente.

Tabla 1: Programa de necesidades.

ESPACIOS	CANTIDAD	SUPERFICIE ÚTIL
		(m ²)
Estar	1	27.80
Comedor	1	12.24
Dormitorio 1	1	9.71
Dormitorio 2	1	9.94
Dormitorio 3	1	22.32
Cocina	1	12.92
Baño Principal	1	4.83
Baño de Servicio	1	4.83
Galería	1	16.33
Lavadero	1	3.65
Cochera Privada	1	19.38
Estudio	1	8.10
TOTAL SUPERFICIE		152.05

A partir de los resultados de la caracterización climática y del diagnóstico ambiental, se definen las estrategias bioclimáticas activas y pasivas orientadas a la reducción del consumo energético, mejora del confort higrotérmico y del desempeño sustentable de la vivienda. Éstas se traducen en decisiones proyectuales concretas en el marco del DAC. Desde lo tipológico, la vivienda se organiza en una planta única con esquema funcional compacto (Figuras 3 y 4), lo que favorece la eficiencia térmica y constructiva.

Una de las estrategias pasivas incorporadas es la orientación de los ambientes principales. En este sentido, se decide ubicar las áreas de mayor permanencia (estar-comedor y dormitorios) hacia el norte, logrando maximizar la captación solar durante el invierno y minimizar la incidencia directa en verano, reduciendo la carga térmica y la necesidad de climatización artificial. La misma, se acompaña con el diseño de aleros calculados según la trayectoria solar, que actúan como barrera en los meses cálidos y permiten el ingreso solar en invierno. También se proyecta como parte del diseño la vegetación de hoja caduca hacia el norte y una barrera de árboles hacia el sur oeste, para evitar la incidencia solar no deseada en verano.

La ventilación cruzada natural es otra estrategia priorizada en el diseño. Para ello se tienen en consideración los vientos predominantes del sur-este, de manera que se ubican las aberturas estratégicamente en las fachadas opuestas dentro de zonas sociales y dormitorios. Este recurso promueve la circulación eficiente del aire, lo que reduce la dependencia de sistemas mecánicos de enfriamiento durante gran parte de la temporada estival.

Asimismo, con el análisis de las dimensiones y ubicación de las aberturas, se aprovecha el potencial de iluminación natural. En la etapa de proyecto se disponen estratégicamente vanos en fachadas norte y este, permitiendo una alta penetración de luz diurna que favorece la reducción del uso de iluminación artificial.

Otro recurso en términos de eficiencia energética utilizado es la mejora de las envolventes de acuerdo con las propiedades térmicas de los componentes. La tecnología constructiva de los cerramientos opacos y de las aberturas se define, inicialmente, con un sistema tradicional conformado por muros simples de ladrillo cerámico hueco con revoque, losas de hormigón armado con cubierta de hormigón alivianado y membrana asfáltica. Para el caso base, las carpinterías son de marco de aluminio con vidrio simple.

Posteriormente, se desarrolla una segunda versión del mismo proyecto con ajustes que incorporan aislaciones y mejoras. Para los cerramientos verticales se opta por muros dobles de ladrillo cerámico hueco separados por aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) de alta densidad en formato de planchas de 5 cm de espesor. En los techos se emplea losa de viguetas pretensadas con bloques EPS de 12cm y cubierta conformada por una capa de compresión, planchas de EPS de 5cm y membrana reflectiva para minimizar la carga térmica. A nivel de piso también se incorpora una capa de

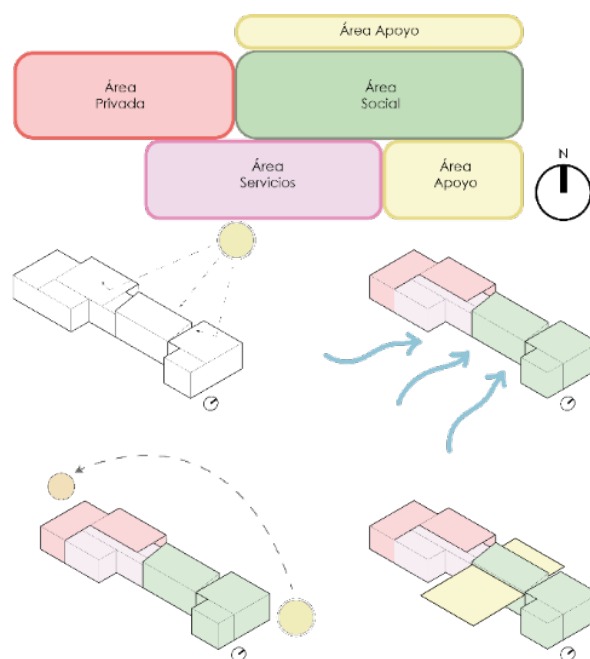


Fig. 3: Esquema de organización de la vivienda en respuesta al diseño bioclimático. Fuente: TFI, Diplomatura EES (2024).

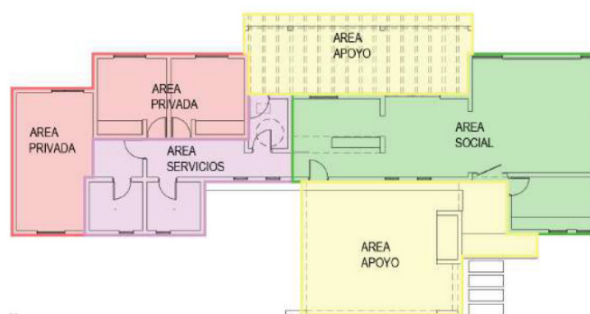


Fig. 4: Planta con identificación de áreas funcionales. TFI, Diplomatura EES (2024).

aislamiento térmico debajo del contrapiso, que contribuye a reducir las pérdidas de calor en invierno. Para la carpintería se instalan aberturas con doble vidriado hermético (DVH), acompañadas de ruptura de puente térmico, permitiendo una notable mejora en los valores de K y disminuyendo la infiltración de aire no deseada (Figura 5). Este conjunto de mejoras reduce significativamente los valores de K respecto al caso base.



Fig. 5: Detalles constructivos del caso propuesto.
Fuente: elaboración propia (2024).

Las estrategias pasivas aplicadas en el caso propuesto tienen un impacto directo en la mejora del desempeño térmico y energético de la vivienda, siendo crucial considerarlas desde la fase de diseño proyectual a fin de asegurar un buen rendimiento higrotérmico.

Además, se incorporan sistemas renovables de energía, como un colector solar térmico para agua caliente sanitaria y un sistema de generación fotovoltaica para contribuir a la disminución del requerimiento de energía eléctrica.

Complementariamente, se esbozan estrategias de uso racional del agua, que den respuesta a las necesidades de la vivienda en relación con la aridez y la crisis hídrica propias del lugar de implantación. Al respecto, se propone instalar dispositivos que limiten el flujo de agua en grifos y duchas y que detecten fugas en tiempo real. A su vez, queda previsto el diseño de un sistema que permita recoger y reutilizar aguas grises y pluviales para ser utilizadas en el riego de espacios verdes. Para ello, se sugiere abastecerlo mediante sistemas eficientes, como el de goteo y aspersores, evitando el riego a manto. Por último, se propone realizar el monitoreo del consumo de agua potable.

4. RESULTADOS

4.1 Evaluación en Régimen Estacionario

El análisis de las propiedades térmicas de los componentes de las envolventes permite establecer una primera comparación entre las condiciones térmico-energéticas que presentan ambas versiones del proyecto de vivienda (Tablas 2 y 3).

Tabla 2: Síntesis de propiedades térmicas. Cálculos en estado estacionario. Caso base.

PROYECTO VIVIENDA CASO MEJORADO					
ENVOLVENTE					
SUPERFICIE CALEFACCIONADA m2	Altura m	Plantas	Volumen m3		
145,61	2,8	1	407,71		
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios abiertos)					
ELEMENTO	S m2	Km	W/m2K	S * Km	W/K
1- MUROS	169,25		0,39		66,6845
2- TECHO	133,42		0,16		21,61404
		Sumatoria			88,29854
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES					
ELEMENTO	S m2	Km	W/m2K	S * Km	W/K
1- VENTANAS	36,27		2,81		101,9187
		Sumatoria			101,9187
OTROS CERRAMIENTOS					
PISOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	Perimetro ml	Pp	W/mK	Perdida p	W/K
	75,07		0,93		69,8151
PERDIDAS VOLUMÉTRICAS POR	n		Perdida n	W/m3K	
	1,5			0,53	
COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS (G)					1,16

Tabla 3: Síntesis de propiedades térmicas. Cálculos en estado estacionario. Caso propuesto.

PROYECTO VIVIENDA CASO BASE					
ENVOLVENTE					
SUPERFICIE CALEFACCIONADA m2		Altura m	Plantas	Volumen m3	
145,61		2,8	1	407,71	
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios abiertos)					
ELEMENTO	S m2	Km	W7m2K	S * Km	W/K
1- MUROS	169,25		2,41		407,8925
2- TECHO	133,42		1,41		188,1222
		Sumatoria			596,0147
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES					
ELEMENTO	S m2	Km	W7m2K	S * Km	W/K
1- VENTANAS	36,27		5,82		211,0914
		Sumatoria			211,0914
OTROS CERRAMIENTOS					
PISOS EN CONTACTO CON EL TERRENO		Perimetro ml	Pp	W/mK	Perdida p W/K
		75,07		0,93	69,8151
PERDIDAS VOLUMETRICAS POR INFILTRACION DE AIRE		n	Perdida n W/m3K		
		2	0,7		
COEFICIENTE GLOBAL DE PERDIDAS (G)		2,85			

Las transmitancias térmicas (K) evidencian mejoras notables: las paredes exteriores pasan de 2,41 W/m²K a 0,39 W/m²K, las cubiertas de 1,41 W/m²K a 0,16 W/m²K y las carpinterías de 5,82 W/m²K a 2,81 W/m²K, logrando una optimización superior al 50 % en todos los componentes evaluados. En el caso mejorado, los K alcanzados para muros verifican los valores recomendados por la IRAM 11605 (2002) en el nivel B para invierno (0,82 W/m²K), y en el nivel A para verano (0,50 W/m²K). Por su parte, el techo verifica el nivel A en ambas estaciones, cuyos valores máximos sugeridos son de 0,26 W/m²K y de 0,19 W/m²K respectivamente.

El coeficiente global de pérdidas de calor (G), principal indicador del comportamiento térmico de la vivienda resulta de 2,85 W/m³K en el caso base (no verifica), mientras que en el caso propuesto disminuye a 1,16 W/m³K, cumpliendo con el valor de referencia para viviendas eficientes establecido en la IRAM 11604 (2001).

La carga térmica anual de calefacción (Q), calculada de acuerdo con la Ecuación 2, resulta de 52.735 kWh para el caso base y de 21.464 kWh para el caso propuesto, representando una reducción del 59,3% en la energía térmica necesaria para alcanzar condiciones de confort durante la temporada invernal.

La energía útil requerida, obtenida del cociente entre Q y el rendimiento del equipo de calefacción (IRAM 11900, 2017), es de 14.648 kWh para el caso base y de 5.962 kWh para la versión mejorada, considerando que en ambos casos se utiliza el aire acondicionado clase A tipo split frío/calor.

4.2. Evaluación en modelo estacionario con corrección dinámica

Los cálculos realizados con el aplicativo informático nacional de etiquetado de viviendas (PRONEV) respaldan los resultados obtenidos en régimen estacionario y permiten analizar en detalle el comportamiento térmico del edificio durante todo el año. El requerimiento de energía útil para calefacción es de 17.467 kWh en el caso base, mientras que en la versión mejorada se reduce a 4.913 kWh (Figuras 6 y 7), lo cual implica una disminución del 71,9 %. En términos de energía secundaria el requerimiento pasa de 12.889 kWh a 1.678 kWh, mientras que, en primaria, de 42.535 kWh a 5.537 kWh.

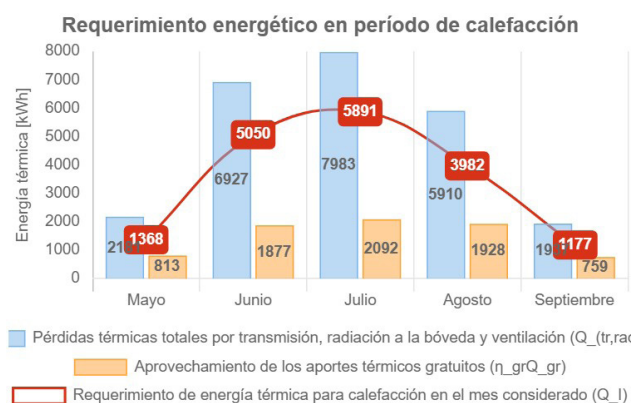


Fig. 6: Requerimiento energético calefacción Caso base.
Fuente: Elaboración propia en aplicativo PRONEV (2024).

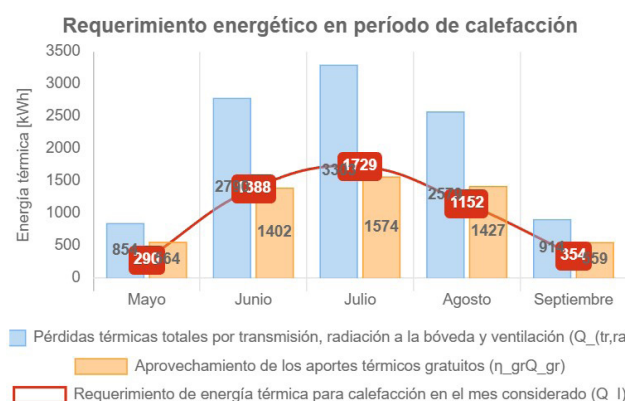


Fig. 7: Requerimiento energético calefacción Caso propuesto.
Fuente: Elaboración propia en aplicativo PRONEV (2024).

Durante el verano, se observa una reducción del 27,7 % en la energía útil para refrigeración pasando de 7.239 kWh en el caso base a 5.233 kWh con las propuestas de mejora aplicadas (Figuras 8 y 9). Respecto de la energía secundaria se pasa de 2.728 kWh a 1.636 kWh respectivamente y en primaria, de 9.001 kWh a 5.400 kWh. Vale destacar que, con la implementación de energías renovables, el IPE ya mejorado pasa de 125 kWh/m²año a 0 kWh/m²año, traduciéndose a una clasificación A de eficiencia energética.

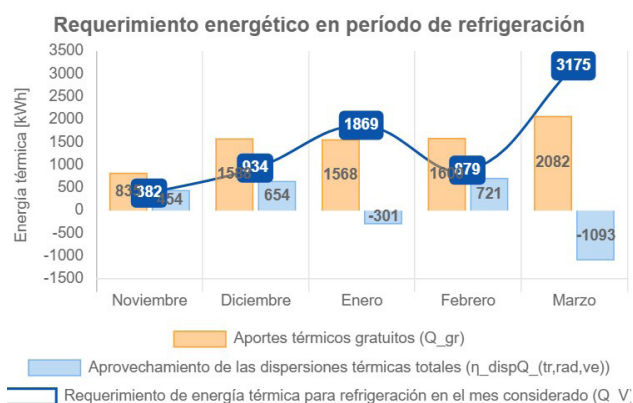


Fig. 8: Requerimiento energético refrigeración Caso base.
Fuente: Elaboración propia en aplicativo PRONEV

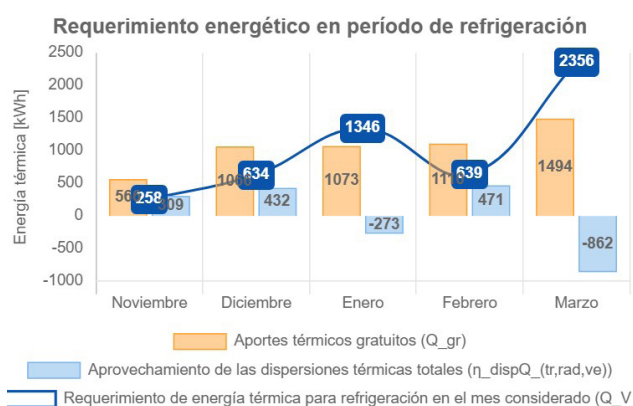


Fig. 9: Requerimiento energético refrigeración Caso propuesto.
Fuente: Elaboración propia en aplicativo PRONEV

Como resultado de ello, se pasa de un IPE de 404 kWh/m²año en el caso base a uno de 125 kWh/m²año en el caso mejorado. Dado que la provincia de San Juan no posee etiqueta de eficiencia energética, se toma de referencia la establecida para la provincia de Mendoza, infiriendo que el caso base tiene una calificación igual a G, mientras que el mejorado igual a C.

4.3. Incorporación de energías renovables

Con el fin de disminuir el IPE obtenido, se prevé asimismo la incorporación de energías renovables con la instalación de un sistema solar térmico para la provisión de agua caliente sanitaria (ACS) y un sistema solar fotovoltaico (SFV).

Para el sistema solar térmico de ACS se usa un termotanque solar atmosférico galvanizado de 200 litros, modelo ARSOLAR, dimensionado para cubrir las necesidades de un grupo familiar de entre 4 y 6 personas. La captación solar se realiza mediante 20 tubos de borosilicato de alta calidad, con una superficie de absorción de 1,60 m² y una superficie total de instalación de aproximadamente 3,55 m². El conjunto tiene un peso de 77 kg en vacío y 304 kg con agua. En condiciones invernales típicas de San Juan, el sistema es capaz de alcanzar temperaturas de entre 45°C y 55°C, asegurando una provisión eficiente y continua de ACS sin necesidad de recurrir a fuentes convencionales de energía.

Por su parte, el SFV es dimensionado en función del requerimiento de energía secundaria de la vivienda (para climatización, ilumina-

ción y ACS) obtenido en el aplicativo, que equivale a 5.527 kWh/año, y de la radiación promedio de 6,3 horas solares pico (HSP) locales. Se prevé de esta manera que la instalación posea una potencia pico de 3,0 kWp. Este valor se obtiene aplicando la fórmula de dimensionamiento según demanda energética, rendimiento del sistema (80 %) y disponibilidad solar anual. Para alcanzar dicha potencia, se seleccionan seis paneles solares de 500 Wp cada uno, complementados con un inversor de 3 kW, seis optimizadores y un medidor inteligente. El sistema está diseñado para inyectar excedentes a la red eléctrica de distribución, de manera que se calcula que un 46,6 % de la energía generada será destinada al autoconsumo, mientras que el 53,4 % restante podrá ser inyectado al sistema.

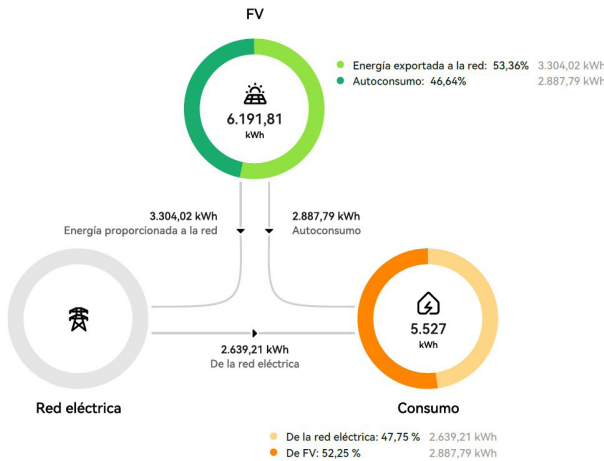


Fig. 10: Análisis de consumo energético del sistema fotovoltaico en un año. Fuente: TFI, Diplomatura EESyS, año 2024.

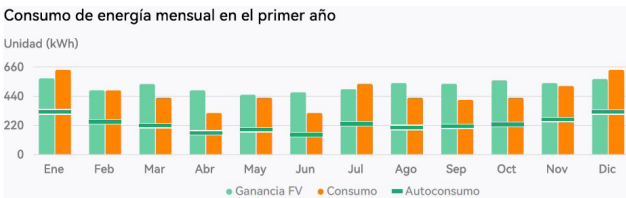


Fig. 11: Ganancia FV, consumo y autoconsumo. Fuente: TFI, Diplomatura EESyS, año 2024.

Vale destacar que, con la implementación de energías renovables, el IPE ya mejorado pasa de 125 kWh/m2año a 0 kWh/m2año, traduciéndose a una clasificación A de eficiencia energética.

4.4. Evaluación económica del sistema solar fotovoltaico

La presente evaluación considera la instalación de 6 paneles solares monocristalinos marca Bluesun (Tabla 4), con sus respectivos suministros y mano de obra, que asciende a un total de USD 5.630. Se estima una vida útil de 25 años, una tarifa promedio de USD 0,08/kWh (Naturgy, 2024) y una tasa de descuento del 6%

Tabla 4: Costos de componentes del sistema fotovoltaico Fuente: Producción propia.

Nombre del dispositivo	Fabricante/ Modelo	Cantidad	Valor USD/u
Módulo FV	Bluesun BSM500PM5-72SB	6	\$166.67
Inversor	Growatt Mic3000tl-x 3000w	1	\$707.22
Optimizador	Tingen De 700 W	6	\$216.03
Medidor	Victron energy GEL300100000	1	\$127.18
Adicionales	Estructura y mano de obra	1	\$2,500.00

Tabla 5: Análisis de costos del sistema fotovoltaico Fuente: Producción propia.

Análisis de Costos		
Año de Instalacion de Sistema	2025	
Año de Renovacion de Sistema	2050	
Vida Util de Sistema	25 años	
Tasa de Cambio Año 2024	\$ 1.200,00	por dólar
Tasa de Cambio fin de sistema	\$ 2.100,00	por dólar
Tasa de Devaluacion Prevista anual	3%	
Tarifa de Consumo - (\$/kwh)	\$ 82,70	
Tarifa de Inyeccion - (\$/kwh)	\$ 78,61	
Costo de la Instalacion - Dólar estado	\$ 6.756.000,00	USD 5.630,00
Costo de Mantenimiento Anual	3%	USD 168,90
Costo de Reparaciones o Reemplazos	10%	USD 563,00
Tasa de Descuento	6,0%	

(Tabla 5). El análisis indica un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al 8%, lo que confirma la rentabilidad de la inversión. Además, el modelo propuesto evita la emisión de aproximadamente 2,94 toneladas de CO₂ por año, lo que refuerza su aporte a la reducción de la huella ambiental en el sector residencial.

5. DISCUSIÓN

El desarrollo de este estudio permite no solo evidenciar las mejoras en el desempeño térmico y energético de una vivienda diseñada con criterios de sustentabilidad, sino también validar la consistencia de los resultados a través del uso de herramientas metodológicas complementarias. La aplicación de la normativa IRAM mediante las planillas CEEMA y la utilización del aplicativo nacional de etiquetado de viviendas (PRONEV) permite comparar y verificar la coherencia entre los datos proyectados por ambos sistemas, lo que fortalece la confiabilidad de los resultados obtenidos.

En este sentido, se observa una alta consistencia entre los valores de carga térmica calculados según el método estacionario normativo (IRAM 11604) y los indicadores energéticos arrojados por el aplicativo, el cual considera un enfoque más integral de las prestaciones energéticas de la vivienda. Esta validación destaca la utilidad de combinar dichas herramientas, en instancias proyectuales y favorece la toma de decisiones técnicamente fundamentadas.

Desde el punto de vista proyectual, los beneficios asociados a la propuesta mejorada son notables. La incorporación de criterios de eficiencia energética desde la instancia de diseño y no como propuestas de rehabilitación posterior, permite definir una envolvente térmica optimizada, adaptar la materialidad a las condiciones climáticas del sitio, y prever sistemas renovables complementarios de manera armónica. Este tipo de abordaje resulta muy efectivo en nuevas construcciones ya que las decisiones tomadas en fases iniciales acarrearán costos menores que las realizadas en viviendas existentes mediante modificaciones. A su vez, permiten alcanzar un correcto desempeño térmico y energético a lo largo de su vida útil.

Por último se enfatiza que si bien la construcción sustentable supone una inversión inicial superior respecto a una solución convencional, estudios como los de Esteves (2018) y Marek (2007), demuestran que esta diferencia se amortiza progresivamente a través del ahorro energético acumulado, la mejora del confort térmico y la reducción de la dependencia de sistemas activos de aclimatación. La vivienda mejorada no sólo presenta una notable disminución en la demanda energética anual, sino que también logra mayor estabilidad térmica inte-

rior y minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero, con una proyección favorable en términos de retorno económico correspondiente a la implementación del sistema SFV. De este modo, el enfoque adoptado refuerza el argumento de que diseñar con criterios de sustentabilidad desde la instancia inicial del proyecto no es una alternativa opcional, sino una estrategia integral que conjuga eficiencia técnica, responsabilidad ambiental y viabilidad económica.

6. CONCLUSIONES

Frente al escenario crítico del cambio climático global y el alto impacto del sector edilicio en las emisiones de gases de efecto invernadero, este estudio, desarrollado en una zona con clima árido, correspondiente al Área Metropolitana de San Juan, demuestra que es posible diseñar viviendas energéticamente eficientes sin comprometer la habitabilidad ni la calidad espacial, integrando desde el inicio del proceso proyectual estrategias pasivas y activas adecuadas al entorno climático local.

La comparación entre la propuesta tradicional (caso base) y la optimizada (caso propuesto) evidencia mejoras sustanciales en términos de reducción de la demanda energética, aumento de la estabilidad térmica y disminución de la dependencia de sistemas de climatización activa. Entre los aspectos más relevantes se destacan la merma del consumo eléctrico anual en un 46,6% producto del autoconsumo con el sistema SFV y la mejora del IPE de 404 kWh/m²año a 125 kWh/m²año producto de una significativa baja en la energía útil para calefacción (71,9%) y para refrigeración (27,7%). Además, los requerimientos en calefacción calculados con la IRAM 11604, también evidencian ahorros potenciales del 59,3% en el proyecto de vivienda con la envolvente aislada. Estos resultados confirman que la incorporación temprana de estrategias de eficiencia energética tiene un impacto directo en el rendimiento ambiental y económico del edificio a lo largo de su ciclo de vida. A su vez, se evidencia la viabilidad técnica y económica de implementar tecnologías de generación renovable, como la energía fotovoltaica, que lejos de ser una intervención accesorio, se consolida como componente estructural del diseño sustentable, con capacidad para amortizar su inversión inicial.

De este modo el estudio reafirma la importancia de formar profesionales con competencias específicas en eficiencia energética y sustentabilidad, capaces de responder desde el diseño arquitectónico a los desafíos de los escenarios ambiental y energético. Asimismo, se asevera que herramientas como PRONEV y las normas IRAM son fundamentales y deben integrarse desde la concepción del proyecto para alcanzar su máximo potencial transformador.

Por lo enunciado precedentemente, se concluye que el diseño arquitectónico puede y debe asumir un rol protagónico en la transición hacia un hábitat más sustentable. De esta manera, incorporar criterios de eficiencia energética desde la etapa proyectual no solo es técnicamente factible y económicamente rentable, sino también éticamente necesario frente a los desafíos socioambientales contemporáneos.

Queda previsto para futuras investigaciones continuar los estudios y análisis de resultados utilizando otras herramientas de DAC que contribuyan al proceso proyectual y a la elaboración de indicadores para zona árida.

REFERENCIAS

- Alonso Frank, A. (2020). *Certificado de eficiencia energética integral de edificios en etapa post-ocupación. El usuario-habitante como dimensión de análisis*. EDITORA ATENEA. Arquitectura e Urbanismo: Abordagem Abrangente e Polivalente. Ponta Grossa, Brasil. DOI: 10.22533. Capítulo 14, pp. 188-203.
- Asdrubali F., Baldassarri C. y Fthenakis V. (2013). *Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings*. *Energy and Buildings* 64, p. 73-89. ELSEVIER.
- Bahramian, M. y Yetilmezsoy, K. (2020) *Life cycle assessment of the building industry: An overview of two decades of research (1995–2018)*. *Energy and Buildings* 219:109917. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109917
- Chávez Mosquera, P. E. (2024). *Conjunto de vivienda social sostenible, para optimizar las condiciones de habitabilidad en el Centro Poblado San Rafael, Zaña-Chilayo*. Recuperado de: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12839>
- Climate Consultant (2023). *Climate Consultant 6.0*. Developed by Parallels Software International, Inc. Recuperado el 02/09/2023 de: <https://climate-consultant.informer.com/>
- CONICET Noa Sur (2023). *Eficiencia energética en la construcción de edificios*. Recuperado de: <https://noasur.conicet.gov.ar/eficiencia-energetica-en-la-construccion-de-edificios/>
- Czajkowski, J., Gómez, A., Calisto Aguilar, M., Diulio, M., Basualdo, D., Reus Neto, G., Berardi, R., Camporeale, P., Giraldo, W., Fuentealba, M. y Coronel, A. (2017). *Hacia un modelo de certificación de edificios sustentables adecuado al contexto regional*. XXI Congreso ARQUISUR. Trabajo 17. UNSJ-FAUD, San Juan.
- Esteves, A.; Esteves, M.J.; Mercado, M.V.; Barea, G.; Gelardi, G. (2018). *Building Shape that Promotes Sustainable Architecture. Evaluation of the Indicative Factors and Its Relation with the Construction Costs*. *Architecture Research*, 8 (4), p.111-122.
- Frade, E. y Susumu Gomazako, M. (2016). *Los modelos de las certificaciones sostenibles y las soluciones constructivas utilizadas en Brasil y España*. Construable. Dirección URL: <https://www.construable.es/comunicaciones/modelos-certificaciones-sostenibles-soluciones-constructivas-utilizadas-brasil-espana> [consulta: el 14 de agosto de 2019].
- Garavito Hormaza, A. P. (2024). *Pensando un futuro: Hábitat residencial adaptado a la crisis ambiental en Bogotá*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/4cefd61-c985-4fcd-bda8-c385087ae454/full>
- Gonzalo, G.E. et al. (2000). *Programa para el cálculo de transmitancia térmica (K medio ponderado), retardo y amortiguamiento*. CEEMA: Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente, IAA. FAU. UNT.
- Gonzalo, G.E. et al. (2000). *Programa para el cálculo de transmitancia térmica (K medio ponderado), retardo y amortiguamiento*. CEEMA: Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente, IAA. FAU. UNT.

- IRAM 11601 (2002). *Aislamiento de edificios. Métodos de cálculo*. (3° ed.). Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11603 (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11604 (2001). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas*. (2° ed.) Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11605 (2002). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios*. (2° ed.) Año 1996, con modificación N°1-2002. Instituto Argentino de Normalización.
- Marek, L. y Filippin, C. (2007). *Edificio bioclimático para la Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial del INTA en Guatraché (La Pampa)*. AVERMA, v. 11, p. 05.01-05.08.
- Menna, C., Felicioni, L., Negro, P., Lupisek, A., Romano, E., Prota, A. y Hájek, P. (2021). *Review of methods for the combined assessment of seismic resilience and energy efficiency towards sustainable retrofitting of existing European buildings*. Sustainable Cities and Society, 77. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103556>
- Quesada Molina, F. (2014). *Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales*. Revista Hábitat Sustentable. V4, N1, pp. 56-67.
- Ré, M. G. y Michaux, C. (2019). *Certificación de sustentabilidad ambiental para edificios escolares en etapa de uso*. Análisis comparativo de cuatro modelos internacionales. Revista Avances de Energías Renovables y Ambiente. Vol.23, pp.05.01-05.11. Argentina
- Secretaría de Energía (2024). *Aplicativo informático nacional. PRONEV*
- Valor Montero, J. (2023). *Arquitectura e impacto ambiental: el proyecto como método*. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/425094>
- United Nations Environment Programme Global Alliance for Buildings and Construction. (2025). *Not just another brick in the wall: The solutions exist - Scaling them will build on progress and cut emissions fast*. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/47214>
- United Nations Environment Programme Global Alliance for Buildings and Construction. (2025). *Not just another brick in the wall: The solutions exist - Scaling them will build on progress and cut emissions fast*. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. United Nations Environment. Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/4721>