

- ▲ **Palabras clave/** Producción estatal de vivienda, envolvente edilicia, construcción liviana, confort ambiental, evaluación post ocupacional.
- ▲ **Keywords/** State housing production, envelope, lightweight construction, environmental comfort, post-occupational evaluation.
- ▲ **Recepción/** 23 de enero 2023
- ▲ **Aceptación/** 30 de agosto 2024

Tecnologías de envolvente liviana en la producción de vivienda social pública. Estudio de calidad térmica y confort en Mendoza, Argentina

Lightweight Envelope Technologies in the Production of Public Social Housing. Thermal Quality and Comfort Study in Mendoza, Argentina

Julieta Balter

Arquitecta, Universidad de Mendoza, Mendoza, Argentina.
Doctora en Arquitectura, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
Investigadora asistente en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
jbalter@mendoza-conicet.gob.ar

Virginia Miranda-Gassull

Arquitecta, Universidad de Mendoza, Mendoza, Argentina.
Doctora en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
Investigadora Asistente en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
Docente en la carrera de Arquitectura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
vmiranda@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN/ Tanto a nivel nacional como regional, se observa un creciente uso de sistemas de envolvente liviana opaca en la construcción de vivienda nueva, implementados como tendencia en diferentes contextos socioeconómicos. En el marco de la política pública del Instituto Provincial de Vivienda en Mendoza sobre la construcción y experimentación de viviendas público-estatales desarrolladas con sistemas no convencionales de construcción –como los sistemas de paneles de núcleo aislante revestidos con OSB (paneles SIP), sistema de paneles aislantes y mortero proyectado, y el sistema *steel framing*– se propone analizar datos pragmáticos de temperatura obtenidos mediante auditorías *in situ* de seis viviendas, complementadas con las respuestas obtenidas en encuestas de percepción subjetiva (ambiental y de confort) de los usuarios. Los resultados obtenidos indican que, en invierno, el uso de sistemas mecánicos es mesurado: se acciona en horarios clave del anochecer y el amanecer y las viviendas mantienen una temperatura estable. Mientras, en verano se observa que los sistemas mecánicos para enfriar se usan con mayor intensidad con el fin de lograr confort ambiental. Los resultados térmicos interiores mostraron, en términos generales, un sobrecalentamiento de los espacios, situación que resulta favorable en invierno y desfavorable en verano. **ABSTRACT/** A growing use of opaque lightweight envelope systems in the construction of new housing is observed both at national and regional level, implemented as a trend in different socioeconomic contexts. Within the framework of the Mendoza Provincial Housing Institute's public policies on the construction and piloting of public-state housing developed with non-conventional construction systems –such as OSB-lined insulating core panels (SIP panels); insulating panel and projected mortar system; and steel framing– the study analyzes pragmatic temperature data obtained through on-site audits of six houses, complemented by subjective perception surveys (environment and comfort) applied to users. The results suggest that the use of mechanical systems is moderate in winter: they are turned on only at certain hours during dusk and dawn, and the housing keeps more stable temperatures. In summer, however, mechanical cooling systems are used with greater intensity in order to achieve environmental comfort. Overall, indoors thermal results showed an overheating of spaces, a situation that is favorable during winter and unfavorable during summer.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la arquitectura, los conceptos de sustentabilidad, bioclimatismo y eficiencia energética comenzaron a desarrollarse en profundidad a nivel mundial con la crisis petrolera de la década del setenta. A partir

de ese momento, se ha debatido ampliamente sobre el significado y las implicancias de sus conceptos, y aparecen dos posturas disonantes. La primera sostiene que la sustentabilidad es exclusivamente una cuestión ecológica o física, mientras que la segunda

aboga por la inclusión de una perspectiva social. Al respecto, Toledo (2020) argumenta que ambos enfoques tienen en común una perspectiva técnica de los problemas ambientales, que presta atención a la relación entre los seres humanos y las cosas. En esta

línea, donde lo técnico y lo tecnológico convergen, Thomas (2012) considera las tecnologías como elementos centrales en los procesos de cambio social. Según dicho autor, las tecnologías son construcciones sociales tanto como las sociedades son construcciones tecnológicas. De este modo, no es posible abordar las problemáticas de pobreza, exclusión y subdesarrollo dejando de lado la dimensión tecnológica, donde se encuentran, entre otros aspectos, las temáticas relacionadas con la producción del hábitat construido, la energía y el ambiente.

En relación con el ámbito energético-edilicio, la crisis energética mundial nos sitúa en un punto en el cual ya no es razonable la práctica de una arquitectura que niegue su entorno más próximo, haciendo imprescindible su integración consciente y responsable al entorno social y ambiental adyacente. En este sentido, los edificios deben ser diseñados de manera que sean capaces –mediante sus características de diseño, morfológicas, dimensionales y materiales– de modificar en su interior las condiciones medioambientales exteriores; condiciones que varían según el espacio (el lugar geográfico) y el tiempo (la época del año y el horario).

Tanto a nivel nacional como regional, se observa actualmente un uso creciente de sistemas de cerramientos livianos en la construcción de nuevas viviendas, implementados como tendencia en diferentes contextos socioeconómicos. Dichos sistemas pueden estar conformados por tecnologías prefabricadas de construcción en seco o por sistemas construidos *in situ* con técnicas mixtas (húmedas y secas). Esta tendencia está dada, en parte, por ventajas relacionadas con los siguientes aspectos: control y disminución de gastos en relación con los tiempos de ejecución del proyecto; escaso uso de recursos naturales (como el agua); optimización de materiales; menor cantidad de escombros y reducción de desperdicios; posibilidad de modulación; estandarización de calidad y cualidades de aislación térmica de sus materiales; facilidad de manipulación

de los materiales debido a su bajo peso; y, en las zonas de alto riesgo sísmico, menor esfuerzo por el bajo peso de la estructura. Sin embargo, estas tecnologías suelen estar respaldadas por empresas que muchas veces producen y distribuyen sus sistemas con materiales de origen extranjero y son de implementación selectiva dado su alcance y altos costos.

En cuanto a los antecedentes académicos relacionados, existe gran variedad de estudios a nivel internacional y nacional. En Argentina, se encuentran estudios con diversos abordajes según las diferentes regiones climáticas del país. En la provincia de Buenos Aires (clima templado-cálido), se ha avanzado en el análisis de coeficientes térmicos de materiales aislantes (San Juan *et al.*, 2018) y de un módulo pedagógico móvil (Czajkowski *et al.*, 2019). En la zona central del país (clima templado-cálido), Flores Larsen *et al.* (2001) analizan el desempeño térmico de un edificio educativo, mientras que Filippin *et al.* (2007) comparan el comportamiento termo-energético de una vivienda másica y otra liviana en época estival. En Mendoza (clima árido-continental), se estudiaron edificios en altura másicos y livianos en función de analizar los diferentes comportamientos según la altura de las viviendas (Balter *et al.*, 2016). Asimismo, se ha abordado el análisis del ciclo de vida de envolventes livianas prefabricadas y pesadas de mampostería (Arena, 2006). Por último, Balter y Miranda-Gassull (2022) estudian el acceso a la oferta de tecnologías alternativas para la construcción de envolventes destinadas a sectores populares. Por otro lado, en el nordeste argentino (clima cálido), se ha estudiado la transmitancia térmica de diferentes soluciones livianas en relación con los puentes térmicos (Venhaus *et al.*, 2016). Mientras que, en Bariloche (clima frío), se ha trabajado en estrategias para viviendas sociales, realizadas con sistemas de envolventes de aislación multicapa (Andersen *et al.*, 2018).

La provincia de Mendoza se sitúa al centro-oeste de Argentina, en la diagonal árida de América del Sur, y se caracteriza por un clima árido, templado-frío continental, con alta radiación solar. En particular, el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) cuenta con considerables amplitudes térmicas estacionarias y diarias, motivo por el cual, en términos de tecnología constructiva, resultan necesarias las construcciones que incluyan materiales con inercia térmica debido a su comportamiento como reguladores térmicos en relación con la disminución de las variaciones en las temperaturas diarias internas. Sin embargo, estos aspectos deben tener en cuenta los recursos pasivos de la arquitectura bioclimática. El buen uso de la masa térmica está asociado al uso de la energía solar pasiva (Balcomb, 1982).

Las demandas existentes de los sectores populares y la clase trabajadora representan gran parte del déficit habitacional provincial. Estas problemáticas requieren respuestas adecuadas y urgentes, capaces de alcanzar grados de habitabilidad digna a partir de profundizar la búsqueda de sistemas constructivos disponibles y accesibles que garanticen habitabilidad y confort térmico. Estos ámbitos a menudo carecen de sistemas de climatización requeridos e inclusive de acceso a fuentes de energía necesarias para alcanzar dicho confort. En este contexto y frente al actual aumento efectivo de sistemas de envolvente liviana en la construcción del parque edilicio de Mendoza, cabe preguntarse si su implementación puede representar un beneficio térmico interior, confort ambiental y bajo consumo de energía para fines de climatización.

Es importante destacar que el total del déficit habitacional en la provincia de Mendoza es de 121.072 hogares (24%), según los datos de 2010 (INDEC, 2010), mientras que el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) expone un déficit total de 117.356 unidades habitacionales (Miranda-Gassull y Ginestar, 2023). Esta cifra aumenta si se usan otras métricas, como aquellas de Poblaciones, la Plataforma Abierta de Datos Espaciales de

la Argentina¹ y que se basan en el censo. Según dicha medición, en la provincia de Mendoza existe un déficit total de 215.860 hogares, lo que representa el 43% (Berná *et al.*, 2024). En este contexto de crisis habitacional, la provincia cuenta con un plan provincial de producción de vivienda estatal denominado Plan Mendoza Construye, activo desde 2018 y cuyo objetivo a corto plazo (2024) es promover políticas habitacionales incorporando la dimensión territorial, como así también sistemas constructivos sustentables y eficientes.

En el marco de la implementación del Plan Mendoza Construye, se ha creado el Laboratorio de Vivienda con el objeto de investigar y promover soluciones técnicas, sociales, económicas y financieras para desarrollar viviendas eficientes e innovadoras. Desde 2020, se están elaborando prototipos de vivienda en Mendoza que aplican sistemas no convencionales de construcción constituidos por sistema de paneles de núcleo aislante revestidos con OSB (empresa New Panel), sistema de paneles aislantes y mortero proyectado (empresa Cassaforma) y el sistema *steel framing*. Los prototipos son modelos a estudiar por el Laboratorio de Vivienda por su rendimiento económico y financiero, como así también por sus cualidades de rápido montaje y su comportamiento térmico-energético en diferentes climas de Mendoza. Los modelos buscan replicarse como alternativa en los barrios y viviendas ejecutados por los diversos programas del plan de viviendas.

A partir de lo expuesto y en base al objetivo e interés de la política pública aplicada en Mendoza, en el presente trabajo se obtienen algunos resultados preliminares sobre el estudio térmico-energético de una experiencia construida y entregada a sus habitantes en el año 2023. Se plantea un análisis en el cual los datos pragmáticos u objetivos de temperatura obtenidos mediante auditorías

in situ se complementan con las respuestas obtenidas en encuestas de percepción subjetiva de los usuarios. De esta forma, se pretende obtener lineamientos orientativos con el fin de mejorar la producción estatal de viviendas.

METODOLOGÍA

El trabajo parte con un convenio entre el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza y el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) de Mendoza y se enmarca en el proyecto CONICET-PIBBA 1319 (RESOL-2022-1930-APN-DIR#CONICET) y el Servicio Tecnológico de Alto Nivel (N°3640), cuyo objetivo final es la construcción y la aplicación de una serie de indicadores que permitan evaluar la política de vivienda en la provincia. Los casos particulares tomados fueron seis (6) viviendas entregadas por el IPV, ubicadas en el barrio Rucaliu del departamento de Guaymallén, Mendoza (figura 1). Las viviendas se construyeron en el marco de un plan desarrollado por el laboratorio de vivienda denominado Prototipo Solar, que busca medir los sistemas livianos industrializados más utilizados en la provincia. La característica particular de estos prototipos consiste en la implantación de las viviendas en el terreno orientando los espacios de mayor uso hacia el ecuador (orientación norte en el hemisferio sur), en combinación con aberturas de aluminio y doble vidriado hermético (DVH

4+9+4) sumado a las altas prestaciones de gran aislación térmica que contienen estas nuevas tecnologías livianas.

Las viviendas se disponen de manera lineal, con ingreso por el sur, y orientación de los espacios principales hacia el patio ubicado al norte. Las seis fueron construidas simultáneamente, con la complejidad de que se utilizaron tres sistemas constructivos diferentes (uno por par de viviendas espejadas), lo cual alargó los plazos de obra previstos. Además, cuentan con una superficie cubierta de 57,45m² distribuidos en los siguientes espacios: estar-comedor integrado a la cocina-lavandería, un baño y dos dormitorios, y la posibilidad de ampliar con una tercera habitación hacia el frente (figura 2). En la tabla 1 se presentan las características de orientación, geométrico-dimensionales, de exposición al exterior y de forma, donde se puede observar una baja relación de superficie de ventana-pared (WWR, por sus siglas en inglés de Window-to-Wall Ratio) de 16,70%.

La morfología de las viviendas se define a partir de dos factores: Factor de Forma (FF) (Olgay, 2015) y Factor de Área de Envolvente de Piso (FAEP) (Esteves, 1997). Ambos determinan la capacidad de intercambio de calor con el exterior de la estructura formal del espacio, con diferencias en su determinación. El FF se expresa como el cociente entre la superficie de envolvente total y la superficie del piso, mientras que el FAEP considera solo la envolvente expuesta. Teniendo en cuenta que el factor 2 es el de



Figura 1. Localización de las viviendas en estudio, Guaymallén, Mendoza (fuente: Google Earth y elaboración propia, 2023).

1 Ver la página poblaciones.org.



Figura 2. Planta tipo, corte y ubicación de los sensores de temperatura (fuente: IPV y elaboración propia, 2023).

Orientación	Ambientes diurnos	Norte-sur
	Ambientes nocturnos	Norte
Dimensiones	Superficie cubierta	57,45 m ²
	Superficie semi cubierta	3,18 m ²
	Superficie total	60,63 m ²
	Envolvente total (vertical + horizontal)	155,50 m ²
	Envolvente total expuesta	117,50 m ²
	Envolvente vertical expuesta	56,87 m ²
	Relación de superficie ventana-pared (WWR)	16,70 %
Forma	Factor de forma de envolvente de piso (FAEP)	2,04
	Factor de Forma (FF)	2,56

Tabla 1. Características dimensionales y morfológicas de las viviendas (fuente: elaboración propia, 2023).

más alta compacidad (correspondiente a una semiesfera), se advierte que las viviendas analizadas, con valores entre 2.04 y 2.56, resultan compactas y conservativas desde el punto de vista geométrico-morfológico. En la figura 3 se presenta la planimetría e imágenes de las fachadas de las seis viviendas. En cuanto a la composición de los sistemas utilizados, en la tabla 2 se presenta la descripción general de los tres sistemas implementados, así como la descripción de los componentes de cada uno de los elementos de la envolvente de muros y techos.

Monitoreo de las viviendas en uso

La metodología de análisis se conforma a partir de dos aproximaciones: auditorías

térmicas en invierno y verano y entrevistas de percepción ambiental y de confort a los usuarios.

Auditorías térmicas: se realizan mediciones *in situ* de la temperatura del aire en las seis viviendas. El monitoreo se efectuó a partir de la utilización de micro-adquisidores de datos (HOBO modelos U100 y U12) ubicados a alturas equivalentes (2 m desde el nivel del piso) (Oke, 2004) y a una distancia suficiente de la masa de las paredes a los efectos de evitar su incidencia en los datos. Estos se registraron cada 15 minutos bajo la siguiente configuración: un micro-adquisidor de referencia en el espacio exterior (patio al norte); y, en el interior, uno en cada uno de los espacios de mayor uso diurno (estar-

comedor) (ver planta general en figura 2). Las mediciones se efectúan durante períodos de 30 días en las estaciones de invierno y primavera-verano: en el período invernal, del 28 de julio al 20 de agosto de 2023; y en el periodo estival, del 24 de noviembre de 2023 al 4 de enero de 2024.

La percepción ambiental se consiguió con a una encuesta estructurada basada en dos dimensiones:

1. Percepción de confort térmico: medida en base al horario de permanencia de los habitantes, historial térmico del jefe/jefa de hogar, uso de calefacción mecánica, uso de sistemas de enfriamiento y confort ambiental. Con el fin de registrar la sensación térmica en una escala de muy frío a muy cálido, se incorporó la escala ASHRAE de -3 a +3, siendo 0 la sensación de confort o de temperatura neutral (ASHRAE, 1992). Esto hizo posible, por un lado, analizar el nivel de satisfacción de los usuarios de la condición térmica interior en su propio medio, obteniendo información en el mismo sitio donde viven (Marincic et al., 2012); y por otro, explicar variaciones interesantes en el comportamiento térmico interior en casos con características formales equivalentes y similares en cuanto a sistemas de cerramiento.

2. Valoración sobre el uso y el grado de satisfacción del sistema de la envolvente según los sistemas de climatización y los materiales utilizados. Se lleva a cabo una encuesta estructurada con el objetivo de indagar sobre la percepción en torno a la calidad interior de la vivienda en relación con los siguientes indicadores: frecuencia en el uso de sistemas mecánicos de climatización, protecciones solares, tipo de aventanamiento y confort térmico interior. La escala de medición es de cuatro grados: mucho, medianamente, poco y nada.

Los hogares de las viviendas están conformados por tres, cuatro y hasta cinco integrantes quienes las habitan desde el mes de febrero y abril de 2022. Los hogares no pueden realizar modificaciones en la vivienda durante un año a fin de lograr una medición real del prototipo entregado, según contrato de adjudicación propuesto por el IPV.

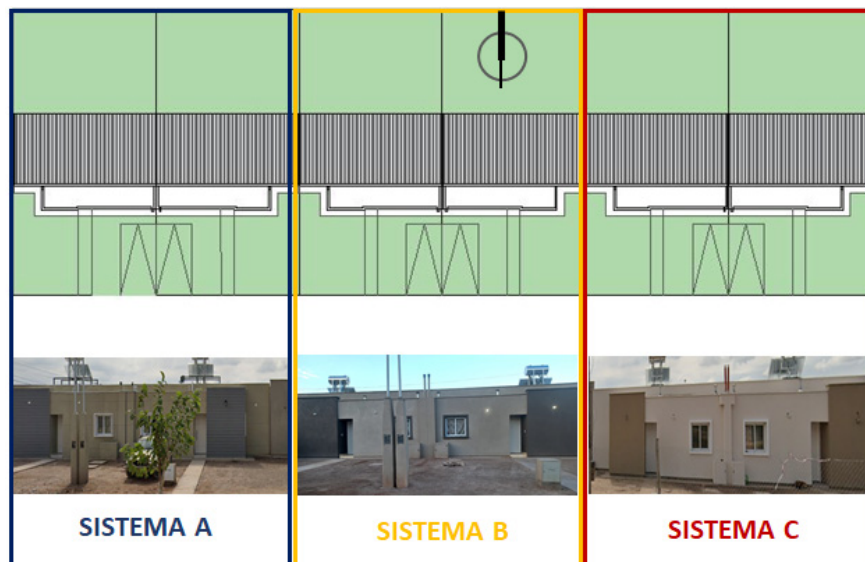


Figura 3. Planimetría y fachadas de las viviendas en estudio, Guaymallén, Mendoza (fuente: elaboración propia, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento térmico interior de las viviendas en uso

Del total de los períodos medidos, se eligen cinco días representativos (de 6 al 10 de agosto en invierno, y del 8 al 12 de diciembre, días previos al inicio del verano) con condiciones estables y soleadas a los efectos de evitar la incidencia de eventos climáticos puntuales en los resultados. Por motivos de organización con las familias que habitan, se variaron las viviendas monitoreadas de acuerdo con el período climático: en la estación fría se midieron las ubicadas al este de su par espejada, mientras que en la estación de calor las mediciones se realizaron en las viviendas ubicadas al oeste de su par espejada. Los gráficos se presentan en las figuras 4 y 5.

Asimismo, se les entregó a las familias una planilla de uso para que registren horarios de encendido y apagado y de los distintos tipos de fuentes de calor/frío (hornallas, horno, calefactor, ventiladores), así como la apertura y el cierre de puertas, ventanas y cortinas del espacio monitoreado (estar-comedor). El resultado del relevamiento se presenta en la tabla 3.

Del monitoreo en invierno (figura 4), se observa en el período en estudio temperaturas interiores dentro del rango de confort sugerido por Givoni (1998), entre 18°C y 28°C, para personas aclimatadas a climas áridos. El rango de las temperaturas interiores de los tres casos se mantiene cercano a los valores de las máximas exteriores, y se puede inferir que dicho comportamiento responde en gran medida a la apertura de ventanas en los horarios de mayor radiación solar, complementado con el uso de medios de calefacción en los horarios de madrugada y nocturnos. El análisis de cada caso particular indica lo siguiente:

El sistema A es el que registra las temperaturas más altas, en un rango que alcanza valores absolutos entre 28,3°C de máxima y 18,7°C de mínima (ΔT promedio diario 7,10°C). Esta situación puede asociarse a la ocupación continua de la vivienda y a la incidencia

Sistemas	SISTEMA A	SISTEMA B	SISTEMA C
Descripción	Panel aislante estructural compuesto por núcleo de material aislante térmico revestido en placas de madera aglomerada (OSB/chapadur)	Paneles de poliestireno expandido con estructura metálica de malla de acero electrosoldada y mortero proyectado en ambas caras	Estructura de perfiles de acero galvanizado de bajo espesor, cada 40-60cm, con cerramiento de placas livianas (<i>steel framing</i>)
Componentes de muros (de afuera hacia adentro)	Placas de fibrocemento 1cm	Revoque grueso con texturado plástico 2.5cm	Revoque texturado plástico
	Placa OSB	Placa de poliestireno expandido 8cm	Placa de poliestireno expandido 5cm
	Placa de EPS 5cm	Revoque interior	Placa OSB
	Placa OSB	Yeso aplicado 1cm	Lana de vidrio con aluminio 5cm
	Placa de roca de yeso		Placa de roca de yeso 1,2cm
Componentes de techos (de afuera hacia adentro)	Chapa sinusoidal	Membrana asfáltica con aluminio flexible	Chapa trapezoidal
	Placa OSB	Capa de compresión 5cm	Lana de vidrio con aluminio 5cm
	Placa de EPS 5cm	Placa de poliestireno expandido 12cm	Estructura metálica de acero
	Placa OSB	Yeso aplicado 1cm	Placa de roca de yeso 1,2cm
	Placa de roca de yeso		

Tabla 2. Composición material de los sistemas livianos industrializados (fuente: elaboración propia, 2023).

Período	Variables de análisis		SISTEMA A	SISTEMA B	SISTEMA C
INVIERNO	Fuente calefacción	gas natural			
		gas envasado			
		caloventor eléctrico			
	Uso de calefacción	frecuente			
		discontinuo			
		escaso			
	Ventilación natural diurna	frecuente			
		discontinuo			
		escaso			
VERANO	Sistema de enfriamiento	ventilador de pie			
		ventilador de techo			
		aire acondicionado			
	Uso equipos enfriamiento	frecuente			
		discontinuo			
		escaso			
	Dispositivos de control solar	cortina clara			
		cortina oscura			
	Ventilación natural nocturna	frecuente			
		discontinuo			
		escaso			

Tabla 3. Relevamiento de sistemas de climatización y uso (fuente: elaboración propia, 2023).

discontinua de calefacción mediante el uso de hornallas a gas natural. El sistema B es el que cuenta con temperaturas más estables, en un rango de 22,8°C a 19,6°C (ΔT diario 2,10°C). Presenta un uso escaso de caloventor eléctrico y del horno a gas al mediodía para cocinar. La apertura de ventanas es discontinua por períodos de menos de 30 minutos. La baja amplitud térmica de esta vivienda puede asociarse en gran medida al mortero proyectado en ambas caras de la envolvente vertical, es decir que cuenta con

mayor presencia de materiales con inercia térmica respecto de las otras dos tipologías constructivas. En el sistema C las temperaturas registradas se encuentran entre los 26,7°C y los 17,4°C, siendo el caso que mayores amplitudes térmicas presenta (ΔT diario 7,40°C). Utilizan calefacción por caloventor eléctrico durante períodos cortos de 30 minutos. Asimismo, se registró un uso frecuente de ventilación natural en diferentes horas del día, con períodos de apertura de ventanas de una

a seis horas. En ambas situaciones se ven reflejadas las curvas de temperatura interior, las cuales indican como los días de semana (del 7 al 10/8) se enciende la calefacción de 06:00 hrs. a 07:00 hrs., y luego, al quedar desocupada la vivienda, la temperatura desciende entre 2°C y 4°C.

En cuanto al verano (figura 5), si bien el período en estudio corresponde a días previos al inicio de la época estival, las temperaturas exteriores son elevadas y muy representativas del verano: las máximas alcanzan los 46°C y las mínimas se encuentran entre 20°C y 24°C. En cuanto a las temperaturas interiores, se observa en términos generales que las mismas sobrepasan el rango de confort sugerido por Givoni (1998), de hasta 28°C. El análisis de cada caso particular indica lo siguiente: El sistema A cuenta con valores absolutos entre 34,6°C y 27,4°C (ΔT promedio diario 5°C). Cuentan con cortinas oscuras (ventana norte), las cuales se mantienen cerradas durante el día; un uso frecuente de ventilador de pie durante las horas diurnas; y apertura de ventanas discontinua durante la mañana y el atardecer.

En el sistema B, el rango de temperaturas interiores es el más estable de los tres casos -situación equivalente a lo que sucede en invierno- con valores máximos de 31,9°C y mínimas de 26,5°C (ΔT promedio diario 2°C). La vivienda cuenta con un uso frecuente de ventilador de pie durante el día, cortinas oscuras que mantienen cerradas durante el día (ventana norte), y la aplicación de ventilación natural durante períodos cortos en la mañana.

Por último, el sistema C es el que presenta temperaturas más extremas y mayor amplitud térmica diaria, con valores absolutos registrados entre 37,4°C y 26°C (ΔT promedio diario 11,4°C). Al mismo tiempo, esta vivienda es la más desfavorable en cuanto a los sistemas de climatización y control: no cuenta con ningún tipo de equipamiento de refrigeración, tiene cortinas claras (ventana norte) y hace uso escaso de la ventilación natural.

Los resultados de verano son coincidentes con estudios realizados en climas templados

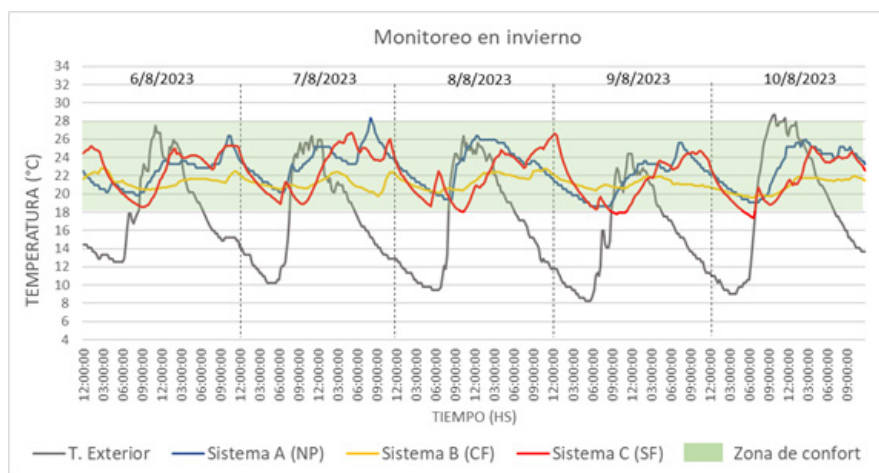


Figura 4. Comportamiento térmico exterior e interior en invierno de las viviendas con los tres sistemas constructivos evaluados (fuente: elaboración propia, 2023).

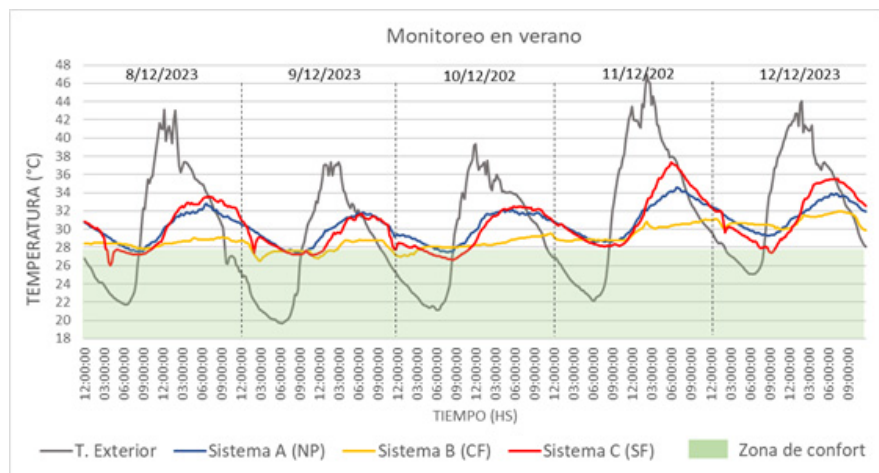


Figura 5. Comportamiento térmico exterior e interior en verano de las viviendas con los tres sistemas constructivos evaluados (fuente: elaboración propia, 2023).

con alta amplitud térmica diaria (Filippin *et al.*, 2007; Donald y Ghisi, 2011; Mercado *et al.*, 2018), en relación con la disminución en la calidad del confort interior debido a la escasez o carencia de inercia térmica que los sistemas livianos conllevan. Al mismo tiempo, se observa que las mínimas interiores nunca alcanzan a descender y acercarse

a las mínimas exteriores, debido a que la ventilación natural de los casos de estudio se ve muy limitada a causa de la ausencia de rejas o sistemas de seguridad, situación que provoca que los habitantes cierren las ventanas.

Al respecto, una mejora de aplicación de estrategias pasivas de arquitectura

bioclimática podría ser la incorporación de un alero hacia el norte por encima de la puerta ventana. En la figura 6 se presenta un análisis de la incidencia de radiación según altitud solar en verano, para el día 21 de diciembre en Mendoza. Se observa que, con un alero de 1m se lograría, en los horarios de las 10:00 hrs. y las 14:00 hrs., anular la incidencia de radiación solar en fachada; al mediodía solar (12:00 hrs.) se lograría anular el intercambio de calor radiativo que se produce por el efecto de la radiación directa en el veredín de cemento exterior; y, a las 16:00 hrs., se disminuiría la incidencia de radiación en la fachada en 40%. En consecuencia, esta mejora reduciría las elevadas temperaturas interiores en verano, sin por ello disminuirlas en invierno debido al ángulo de altitud solar (de 12° a 38° para el 21 de junio en Mendoza).

Percepción ambiental y de confort

En la tabla 4 se presentan los resultados de la percepción de confort térmico según la escala ASHRAE. Los mismos mostraron que la mayoría de los habitantes perciben como cálida la vivienda (2 según la escala ASHRAE), tanto en invierno como en verano, situación que es coincidente con los resultados de las mediciones de temperatura interior.

Por otro lado, en cuanto a la encuesta sobre la valoración sobre la percepción y grado de satisfacción del sistema de la envolvente, la medición arrojó que la mayoría de los hogares considera que el uso de sistemas constructivos no tradicionales ha impactado de forma positiva la experiencia habitable de la vivienda, reconociendo los valores aislantes desde lo térmico y lo acústico, como así también la baja aprehensión al movimiento sísmico característico de la región. Sobre el grado de satisfacción de los materiales de la envolvente -muros, cubierta y pisos- la mayoría ha respondido que se siente conforme respecto de techos y pisos, mientras que sobre las paredes la mitad respondió que se siente nada conforme y la otra mitad, conforme.

Las viviendas están habitadas en los tres rangos horarios consultados: mañana, tarde y

INCIDENCIA DE RADIACIÓN AL NORTE SEGÚN ALTITUD SOLAR (21 DICIEMBRE)

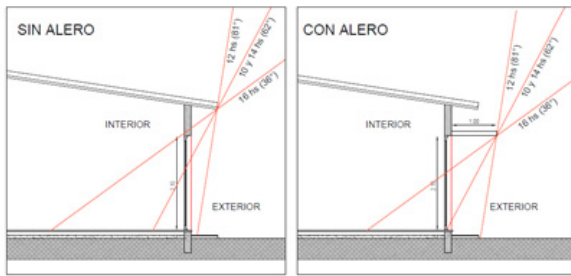


Figura 6. Incidencia de radiación solar en fachada norte e interior en verano en Mendoza según protección solar horizontal (alero) (fuente: elaboración propia, 2023).

		INVIERNO		VERANO
A1	2	cálido	-2	fresco
A2	1	ligeramente cálido	2	cálido
B1	1	ligeramente cálido	2	cálido
B2	2	cálido	2	cálido
C1	0	neutral	3	calor
C2	2	cálido	2	cálido

Tabla 4. Sensación térmica por vivienda según escala ASHRAE (fuente: elaboración propia, 2023).

Cuadro comparativo



Figura 7. Cuadro comparativo de uso y grado de satisfacción de los sistemas de envolvente (fuente: elaboración propia, 2023).

finde semana. La encuesta fue respondida por jefas/jefes de hogar, valorando su historial térmico en invierno; la mayoría de

las personas (67%) se autopercebieron como friolenta. Asimismo, reconocieron que

durante el invierno estuvieron medianamente abrigadas al interior de la vivienda.

En cuanto a la valoración sobre el uso y el grado de satisfacción del sistema de la envolvente según los sistemas de climatización y los materiales utilizados, las respuestas se presentan de forma comparativa entre la estación invernal y estival (figura 7). Según lo expresado por los habitantes, las viviendas tienen mejor prestación térmica en invierno. En este período el uso de sistemas mecánicos es mediano: se acciona en horarios clave del anochecer y el amanecer, y la vivienda mantiene una temperatura más estable. Mientras que en verano se observa mayor intensidad en el uso de los sistemas mecánicos para enfriar con el fin de lograr confort térmico-ambiental. Sobre las protecciones y aventanamientos, las respuestas son coincidentes respecto de la percepción positiva en tanto tipo, forma y orientación de las ventanas, tanto para ventilar y refrescar en verano como para aislarse en invierno. Sobre las protecciones, la mayoría respondió que usa medianamente o no usa sistemas de protección solar en las ventanas. Esta pregunta comprueba la hipótesis previamente planteada de que, si el diseño de la vivienda considerara aleros de mayores dimensiones en las aberturas, las protecciones móviles no quedarían a expensas de los usuarios. Adicionar protecciones significa un costo alto para los hogares que habitan la vivienda y suele no ser un gasto prioritario.

CONCLUSIÓN

La metodología permitió articular escenarios subjetivos (análisis cualitativo en relación con la percepción de confort y uso de los espacios) con resultados objetivos (diagnóstico térmico a partir de auditorías).

Los resultados mostraron, en términos generales, un sobrecalentamiento de los espacios interiores, situación que resulta favorable en el caso del invierno y desfavorable en el verano. En el período invernal, las temperaturas se mantienen dentro del rango de confort con un mínimo uso de energía auxiliar para calefaccionar, y las percepciones de confort son altas (0 a +2 según escala

ASHRAE). Mientras que en el período estival, las temperaturas interiores sobrepasan ampliamente dicho rango (hasta 9°C) y las percepciones de confort térmico son bajas (+2 a +3 según escala ASHRAE). La vivienda con el sistema B (paneles aislantes con mortero proyectado), con mayor superficie cúbica de masa en la envolvente, fue la que se mantuvo con temperaturas más estables y menor amplitud térmica interior en ambas estaciones. Mientras que la vivienda con el sistema C (*steel framing*) fue la que presentó la mayor amplitud térmica, tanto en verano como en invierno. Es decir que, comparando viviendas con diseños equivalentes, podemos ver la incidencia positiva de la inercia térmica

en el carácter mayormente conservativo de los espacios interiores.

Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de sistemas livianos industrializados en la producción de vivienda social pública puede representar un beneficio en la calidad térmica, el confort ambiental interior y consumos moderados de energía para climatización, siempre y cuando se parta de un diseño adecuado (orientación y disposición en el terreno del conjunto habitacional), calidad y eficiencia en la materialidad y el diseño de aventanamientos e incorporación de sistemas de protección solar. Asimismo, resulta esencial que se prevea una implementación efectiva de sistemas de ventilación natural

nocturna en el período estival, proyectando la incorporación de rejillas u otros sistemas de seguridad.

En trabajos a futuro, las mediciones efectuadas pueden ser utilizadas para validar modelos computacionales de simulación dinámica, los cuales permiten estimar las diferencias termo-energéticas dadas en relación con las variables de diseño edilicio y constructivo, aislando las incidencias de los usuarios. De este modo, será posible determinar los metros cúbicos necesarios de masa por superficie interior para alcanzar niveles de confort sin grandes consumos de energía auxiliar. ▲▲▲

REFERENCIAS

- Andersen, M., Discoli, C., Viegas, G., Martini, I. (2018). Monitoreo energético y estrategias de retrofit para viviendas sociales en clima frío. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 7, n.º 2, 50-63. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.05>.
- Arena, P., Basso, M., Fernández Llano, J. (2006). Análisis comparativo del ciclo de vida de envolventes livianas prefabricadas y pesadas de mampostería para viviendas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 10, 43-48. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/87798/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers. [ASHRAE] (1992). *Standard 55-92. Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, Georgia, USA.
- Balcomb, J.D., Barey, D., McFarland, R., Perry, J., Wray, W., Noll, S. (1982). *Passive Solar Design Handbook. Volume two of two volumes: passive solar design analysis*. United States: N. p., 1980. doi:10.2172/5672634.
- Balter, J., Ganem, C., Discoli, C. (2016). On high-rise residential buildings in an oasis-city: thermal and energy assessment of different envelope materiality above and below tree canopy. *Energy and Buildings*, 113, 61-73. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.011>.
- Balter, J., Miranda Gassull, V. M. (2022). Nuevas tecnologías de construcción prefabricada en el hábitat popular. Análisis socioeconómico y térmico para el caso de Mendoza. *AREA*, 28(2), pp. 1-14. https://area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2802/2802_balter_gassull.pdf.
- Berná, F., Miranda-Gassull, V., Ginestar, F. (2024). Criterios y procedimientos para medir el déficit habitacional en aglomerados intermedios. El caso de la provincia de Mendoza, Argentina. *Cuaderno Urbano*, 34, Argentina. <https://doi.org/10.30972/crn.37377519>.
- Czajkowski, J.D., Diullo, M.P., Ferreyra, M.A. (6 de mayo al 5 de junio, 2019). *Módulo pedagógico sustentable y seco*. Jornadas de Construcciones Sustentables y Reuniones de Asesoramiento Tecnológico. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Provincia de Buenos Aires, La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/79419/Presentaci%C3%B3n__diapositivas__pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Donald, C., Ghisi, E. (2011). The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. *Energy and Building*, vol. 43, n.º 12, 3391-3399. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.001>.
- Esteves, A., Gelardi, D., Oliva (1997). *The shape in the Bioclimatic Architecture: The FAEP Factor*. Proceedings of 2nd Teachers in Architecture Conference (TIA), Florencia, Italia.
- Filippin, C., Flores Larsen, S., Flores, L. (2007). Comportamiento energético de verano de una vivienda mística y una liviana en la región central de Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 11, 17-23. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/92743/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Flores-Larsen, S., Filippin, C., Lesino, G. (2001). Simulación mediante Simedif y Energy-10 de un edificio liviano. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 5, 25-30. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/79818/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos-INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. [https://www.indec.gov.ar/Marincic_I.,Ochoa_J.M.,del_Rio_J.\(2012\).Confort_t%C3%A9rmico_adaptativo_dependiente_de_la_temperatura_y_la_humedad.ACE.Arquitectura.Ciudad_y_Entorno\(en_l%C3%ADnea\).A%C3%B1o_7,_pp_27-46.https://doi.org/10.5821/ace.v7i20.2572](https://www.indec.gov.ar/Marincic_I.,Ochoa_J.M.,del_Rio_J.(2012).Confort_t%C3%A9rmico_adaptativo_dependiente_de_la_temperatura_y_la_humedad.ACE.Arquitectura.Ciudad_y_Entorno(en_l%C3%ADnea).A%C3%B1o_7,_pp_27-46.https://doi.org/10.5821/ace.v7i20.2572).
- Mercado, M.V., Barea Paci, G., Esteves, A., Filippin, C. (2018). Efecto de la ventilación natural en el consumo energético de un edificio bioclimático. Análisis y estudio mediante energy plus. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 8, n.º 1, 54-67. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.05>.
- Miranda-Gassull, V. y Ginestar, F. (2023). El fenómeno de la inquilinización en las ciudades intermedias: actores, valores y oferta inquilina en el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Perspectiva Geográfica*, 28(2), 1. <https://doi.org/10.19053/01233769.14479>.
- Oke, T. R. (2004). *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites* (Vol. 81, p. 51). Geneva: World Meteorological Organization.
- Olgyay, V. (2015). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. US: Princeton University Press.
- San Juan, G., Viegas, G., Jodra, J. (2018). *Aislación térmica alternativa, reutilizando poliestireno expandido de descarte, orientado a las necesidades de cooperativas de reciclado*. Décimo Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura (CRETA), La Plata, Argentina. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/71329/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Thomas, H. (2012). Tecnologías para la inclusión social en América Latina: de las tecnologías apropiadas a los sistemas tecnológicos sociales. Problemas conceptuales y soluciones estratégicas. En: Thomas, H., Fressoli M., Santos G. *Tecnología, desarrollo y democracia: nueve estudios sobre dinámicas socio-técnicas de exclusión/inclusión social*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.
- Toledo, V. (2020). ¿De qué hablamos cuando hablamos de sustentabilidad? *Revista Internacional de salarios dignos*, 1(02), 61-85. <https://revistasinvestigacion.lasalle.mx/index.php/OISAD/article/view/2554>.
- Venhaus, M., Alias, H., Jacobo, G. (2016). Las envolventes constructivas en la construcción no convencional de edificios del nordeste argentino y el problema de los puentes térmicos. *Revista Hábitat Sustentable*, Vol. 7, N.º 1, 24-31. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2619>.