

EVALUACIÓN TÉRMICA, LUMÍNICA Y TERMOGRÁFICA DE UNA SOLUCIÓN HABITACIONAL DE MADERA EN CLIMA TEMPLADO CÁLIDO PARA EL HÁBITAT POPULAR

Recibido 06/03/2023
Aceptado 11/06/2023

THERMAL, LIGHT, AND THERMOGRAPHIC EVALUATION OF A WOODEN HOUSING SOLUTION IN A WARM TEMPERATE CLIMATE FOR LOW-INCOME HOUSING.

AVALIAÇÃO TÉRMICA, LUMÍNICA E TERMOGRÁFICA DE UMA SOLUÇÃO HABITACIONAL DE MADEIRA EM CLIMA TEMPERADO QUENTE PARA O HABITAT POPULAR

Graciela Melisa Viegas

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC),
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-6248-4678>
gracielviegas@iipac.laplata-conicet.gov.ar

Jesica B. Esparza

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC),
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-0396-2104>
jessicaesparza@iipac.laplata-conicet.gov.ar

Gustavo Alberto San Juan

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC),
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-8924-9918>
gustavosanjuan@iipac.laplata-conicet.gov.ar



RESUMEN

El acceso a la vivienda en los sectores sociales de bajos ingresos plantea la necesidad de una reflexión relevante para América Latina. En este contexto, se ha desarrollado una Solución Habitacional Modular (SHM) de madera en un barrio de la periferia de CABA llamado el Partido de La Plata, orientada a la mejora habitacional de sectores populares y gestionada por una cooperativa de trabajo, la universidad y el sector científico-técnico. Se tiene por objetivo evaluar el comportamiento térmico, lumínico y las condiciones de estanqueidad en la envolvente edilicia de una SHM de madera del sector Partido de la Plata en un clima templado-cálido. Para ello, en primer lugar, se realizó un monitoreo interior y exterior (temperatura, humedad relativa e iluminación natural), luego se evaluaron los calefactores solares de aire y finalmente se realizó termografía digital nocturna. Los resultados muestran desempeños favorables en el aspecto lumínico diurno y una buena respuesta térmica diurna en épocas frías. No obstante, también se encontraron fenómenos por mejorar, como la necesidad de acondicionamiento térmico nocturno, de mejora de la estanqueidad de la envolvente, de ventilación nocturna en épocas cálidas de refuerzo del sombreado y del aislamiento térmico.

Palabras clave

hábitat, madera, sistemas modulares, evaluación.

ABSTRACT

Access to housing in low-income sectors brings up the need for a relevant reflection on Latin America. In this context, a wood-based Modular Housing Solution (MHS) has been developed in a neighborhood on the outskirts of CABA called La Plata, oriented to a housing improvement for working-class sectors, and managed by a labor cooperative, the university, and the scientific-technical sector. The objective is to evaluate the thermal and light behavior and the airtightness conditions of the building envelope of a wooden MHS in the La Plata district in a warm-temperate climate. For this purpose, first, indoor and outdoor monitoring (temperature, relative humidity, and natural lighting) was carried out, then the solar air heaters were evaluated, and finally, digital thermography was performed at night. The results show favorable daytime lighting performance and good daytime thermal response in cold weather. However, there was also room for improvement, such as the need for thermal conditioning at night, improvement of the airtightness of the envelope, night ventilation in warm seasons, reinforcement of shading, and thermal insulation.

Keywords

habitat, wood, modular systems, evaluation.

RESUMO

O acesso à moradia nas camadas sociais de baixa renda levanta a necessidade de uma reflexão relevante para a América Latina. Nesse contexto, foi desenvolvida uma Solução Habitacional Modular (SHM) de madeira em um bairro da periferia da CABA (Cidade Autônoma de Buenos Aires) chamado Partido de La Plata, com foco na melhoria habitacional das camadas populares e gerenciada por uma cooperativa de trabalho, a universidade e o setor científico-tecnológico. O objetivo é avaliar o desempenho térmico, lumínico e as condições de estanqueidade do envelope construtivo de uma SHM de madeira na região do Partido de La Plata em um clima temperado-quente. Para isso, em primeiro lugar, foi realizado um monitoramento interno e externo (temperatura, umidade relativa e iluminação natural), em seguida, foram avaliados os aquecedores solares de ar e, por fim, foi realizada termografia digital noturna. Os resultados mostram desempenhos favoráveis na iluminação diurna e uma boa resposta térmica diurna durante períodos frios. No entanto, também foram encontrados aspectos a serem melhorados, como a necessidade de condicionamento térmico noturno, melhoria na estanqueidade do envelope, ventilação noturna em períodos quentes, reforço do sombreado e isolamento térmico.

Palavras-chave

habitat, madeira, sistemas modulares, avaliação.

INTRODUCCIÓN

El hábitat es un referente simbólico-imaginario de la existencia humana en el que intervienen dimensiones como la dimensión política, económico-social, estético-cultural, ética y medioambiental. En este marco, la vivienda adecuada plantea tanto la necesidad tanto de la seguridad sobre la tenencia de la tierra como la disponibilidad de servicios e infraestructura (agua potable, saneamiento, accesibilidad y cultura) y se la entiende como un proceso multidimensional que contempla el derecho a un “vivir” digno y saludable, al disfrute de la ciudad y los espacios públicos, bajo el principio de justicia social.

Paralelamente, el Hábitat Popular se desarrolla como respuesta a las desigualdades entre los más vulnerables y los que más tienen (Miranda-Gassull, 2017) de forma progresiva y espontánea, sin colaboración de técnicos ni profesionales, con escasos recursos económicos y con grandes esfuerzos, bajo lo que se conoce como Producción Social del Hábitat -en adelante, PSH- (Migueltorena, 2020; San Juan et al., 2023). La PSH genera espacios habitables, componentes urbanos y rurales, bajo el control de auto-productores y otros agentes sociales que operan sin fines lucrativos (Enet et al., 2008; Pirez, 2016; Romero-Fernández, 2002, citado en Miranda-Gassull, 2017). Asimismo, responde a una cultura de la solidaridad y de la complementariedad con otros actores sociales, con implicancias políticas, económicas y sociales de transformación de las relaciones de poder. Se entiende que la PSH se asocia a la Tecnología para la Inclusión Social (TIS) en relación con la resolución tecnológica de la vivienda. En relación con esto, Thomas & Becerra (2014) las definen como formas de diseñar, desarrollar, implementar y gestionar tecnologías orientadas a resolver problemas sociales y ambientales, generando dinámicas sociales y económicas de inclusión social y de desarrollo sustentable, cuyos principales actores son las organizaciones sociales.

De esta manera, se entiende que, desde la perspectiva de PSH y las TIS, la búsqueda de soluciones efectivas y sostenibles que colaboren en la mejora del hábitat popular y el diseño de viviendas adecuadas deben superar el asistencialismo estatal y producir propuestas que fortalezcan las capacidades de los pobladores para superar sus problemas en base a sus propias pautas culturales y políticas (Pelli, 2007).

En este contexto, nace una Solución Habitacional Modular -en adelante, SHM- la cual resulta de la interacción social para definir respuestas en la construcción de políticas públicas/sociales destinadas a sectores en situación de vulnerabilidad. Dentro de este marco, propone el diseño de una unidad habitacional a partir del establecimiento de lógicas proyectuales para situaciones de emergencia habitacional, las cuales incorporan saberes, mejoran la calidad de vida,

capacitan, fomentan la auto-organización y la co-gestión del hábitat, fomentan la producción y el trabajo y generan espacios de integración e intercambio.

En cuanto a los materiales, resuelve su estructura y cerramiento en madera. Por ello, se considera que la SMH se ha transformado en una opción accesible, confiable y sustentable frente a los materiales de construcción tradicionales, ya que proporciona una calidad térmica mejor a la construcción tradicional de mampostería.

Si bien existe un elevado consenso respecto de las potencialidades de la construcción en madera debido a su eficiencia energética y su bajo impacto ambiental, se observan escasos trabajos acerca de su comportamiento térmico, energético y de confort ambiental. Se considera que, frente a las actuales condiciones ambientales, climáticas y de crisis energética, conocer el comportamiento térmico de las construcciones en madera podría fomentar su utilización.

A nivel internacional, Viholainen et al. (2021) destacan que la construcción en madera puede reducir el carbono embebido en la construcción y centra su análisis en la percepción de los ciudadanos europeos acerca de su uso para mejorar su aceptación social. Por otro lado, las evaluaciones de rehabilitación energética no contemplan el uso de la madera frente a posibles mejoras (Pérez Fargallo et al., 2016), evadiendo al importante parque edilicio que combina la madera y fábrica (Iglesias Gutiérrez del Álamo & Lasheras Merino, 2020; De Araújo, et al., 2019). Sin embargo, se observan esfuerzos por fomentar el uso de la madera, como en Muñiz, et al. (2022), quien desarrolla un sistema simplificado y flexible íntegramente en madera que complejiza el trabajo en taller para reducir tiempos y procesos en obra. En el ámbito latinoamericano, diversas investigaciones han demostrado los beneficios de este tipo de construcción (Filio Reynoso et al., 2017; Silva et al., 2023). Garay Moena et al. (2022), por ejemplo, destaca las ventajas de la madera como su baja huella de carbono, la capacidad de industrialización, la adopción de estándares nacionales e internacionales, la eficiencia sísmica, térmica y acústica. Sin embargo, se requiere fomentar su utilización como material constructivo. Del mismo modo, destaca que en Chile aún persisten percepciones negativas en cuanto a la combustibilidad del material, la fragilidad y su relación con la construcción precaria, a la vez que la población considera que no proporciona durabilidad ni seguridad (Salazar, 2008). Si bien existen experiencias de su utilización en la construcción de viviendas populares aún vigentes (Jiménez, 2020), en dicho país sólo el 14% de la construcción se realiza en madera (en contraste, en países nórdicos este índice es mayor al 90%), a pesar de que la producción forestal al 2008 fue la primera de Latinoamérica con 2.110.000 ha.

Otro ejemplo es Uruguay, que cuenta con 1.000.000 ha de especies arbóreas de rápido crecimiento. Sin embargo, el recurso se encuentra desaprovechado por la escasa

inversión en esta industria (Dieste et al., 2019). En este sentido, se analiza la potencialidad de agregar valor a la producción forestal del país y se destaca la importancia de fomentar esta industria renovable para reducir los impactos ambientales de la construcción. Sus mayores impactos se dan en la fase de uso, mantenimiento, reparación y sustitución (en cuanto al uso de pinturas, barnices y demás elementos, piezas nuevas, etc.), mientras que el acondicionamiento energético por el uso de la construcción es significativamente menor. Pese a que no se han registrado estudios sobre los impactos en la habitabilidad de viviendas de madera, actualmente se trabaja en metodologías que valoran sus potencialidades desde la mirada del ciclo de vida (Soust-Verdaguer, 2022).

En el caso de Argentina, la construcción en madera se considera una alternativa importante para traccionar la industria forestal. De acuerdo con Vogel (2020), al año 2019 el país contaba con 1.300.000 ha de bosques cultivados, con especies aptas para desarrollar componentes estructurales. Según dicho autor, existe un número de empresas que construyen aproximadamente 3500 viviendas en madera al año, las que representan el 3% del total de viviendas construidas anualmente con permiso de construcción. De estas, más del 70% utilizan el sistema de entramado estructural (sistema plataforma o sistema continuo).

En relación con lo anterior, es importante mencionar la existencia, en la ciudad de La Plata, del Centro de Capacitación, Transferencia de Tecnología, Producción y Servicios en Madera (CTM- FCAyF- UNLP), cuyo objetivo es impulsar el desarrollo sustentable y la competitividad del sector foresto-industrial de la región, junto con producir bienes y servicios especializados. En esta última línea, se encuentra el desarrollo aquí expuesto, donde la UNLP es central en la gestión de esta vivienda.

La propuesta que se desarrolla para la presentación de este trabajo se localiza en la periferia urbana del Partido de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Esta localidad cuenta con 772.618 habitantes y se registran 260 barrios populares con más de 50.000 familias, donde la mayoría de las viviendas presenta condiciones de irregularidad, precariedad, escasa o nula accesibilidad a los servicios de infraestructura, pavimento o iluminación (UCALP, 2021). De esta manera, el crecimiento de las desigualdades socio-económicas se visualiza en la reproducción de un territorio desigual, fragmentado y en disputa (Dammer Guardia et al., 2019), situación que se ha profundizado con la pandemia por COVID-19.

En este contexto, se presentan los avances de dos proyectos de investigación (San Juan, 2018-2021; Viegas, 2021-2024) y en particular, este artículo tiene por objetivo evaluar el

comportamiento térmico, lumínico y las condiciones de temperatura y estanqueidad de la envolvente edilicia de una SHM construida en madera y desarrollada en el Partido de la Plata, caracterizado por un clima templado-cálido-húmedo. Se espera establecer el comportamiento de base, destacar sus aspectos sustentables y formular posibles mejoras para su replicabilidad en contextos que lo necesiten.

METODOLOGÍA

El Partido de La Plata, Buenos Aires (- 34° 56' 00"; - 57° 57' 00") se ubica en una planicie alta (23msnm.) al borde del río de La Plata. Su clima templado cálido con amplitudes térmicas menores a 14°C (zona bioambiental argentina III-b) incorpora dos estaciones marcadas, invierno y verano, con prevalencia del primero. La temperatura media anual es de 15,8°C y la precipitación de 1007 mm/año. En invierno, la temperatura media anual es 9,7°C; HR: 82%; GDcalefacción₂₀: 1668°C. Por su parte, la temperatura media anual de verano es 21,7 °C; HR: 70% (IRAM, 2012).

La SH fue construida buscando dar respuesta a criterios de flexibilidad tipológica, funcional, constructiva y productiva y propone un módulo base de 30 m² lineal con estar-comedor, cocina y baño, el cual es ampliable a 1 o 2 dormitorios (Figura 1). Puede armarse individual o apareada en un terreno. Se orienta perpendicular al norte donde tiene una galería semi-cubierta. Sus componentes principales (anillos de madera y paneles modulados de 1,22 m x 2,44m) se materializan en forma sistematizada en un taller (CTM-UNLP), lo que permite producir en gran cantidad, del mismo modo que se reducen los desechos, economizan materiales, dan flexibilidad en cuanto a cerramientos y al uso de materiales reciclados, y mejoran las condiciones laborales de los constructores (Figura 1). Respecto del aislamiento térmico, posee 0,02 m de EPS en paredes, 0,04 m de EPS en techo y 0,04 m de EPS en pisos de (densidad 20 kg/m³). Finalmente, la superficie total de ventanas (baño, sur, comedor) y puertas (puerta ventana y de acceso) de madera con vidrio simple es de 8,62 m².

Respecto de su sistema de climatización, posee dos calefactores solares de aire resueltos con una caja de madera (1,22 m x 2,00 m x 0,10 m) que tiene orificios laterales, chapa acanalada galvanizada negro mate como superficie absorbadora (de 0,5 mm de espesor), separada 0,03 m de la caja en su parte posterior, y vidrio simple como cubierta transparente. Se conectan al interior con un conducto superior e inferior de PVC de 110 mm de diámetro con tapa. En la Tabla 1 se muestran los indicadores¹ de la solución habitacional.

1 G admisible para edificios de viviendas de 80 m³ y GDinvierno entre 1500 y 2000: 2,15 (IRAM, 2000). Kadmisibles Nivel B (recomendado). Invierno (Temp. exterior de diseño mayor o igual a 0°C). Muros 1 W/m² °C; techos 0,83 W/m² °C. Verano (zona bioambiental IIIb). Muros 1,25 W/m² °C; techos 0,48 W/m² °C (IRAM, 1996).



Figura 1: Documentación gráfica de la solución habitacional, despiece, imágenes del proceso, resultado final. Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 1: Indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos. Referencias: Ic - Índice de compactad; FF - Factor de forma; K - transmitancia térmica; G - Coeficiente global de pérdidas. Fuente: Elaboración de los autores.

	21,0	25	80,8	8,62	6,73	0,25	1,64	106,3	1,18	1,5	0,8	0,4	0,7	2
Perímetro interior (m)														
Área útil (m ²)														
Volumen interior (m ³)														
Superficie total de ventanas y puertas (m ²)														
Superficies de ventanas y puertas Norte (m ²)														
Superficie de ventana sur (m ²)														
Superficie de puerta oeste (m ²)														
Envolvente interior (m ²)														
Ic (%)														
FF														
K pared (W/m ² °C)														
K techo (W/m ² °C)														
K piso (W/m ² °C)														
G (W/°C m ²)														

En cuanto a la recolección de datos, el proceso involucra lo siguiente:

- I. Mediciones a SH sin ocupación por personas, que incluyen: temperatura (°C), humedad relativa (%), e iluminancia (Lux) entre agosto y noviembre del 2021. Esta se realizó en unidades discretas de tiempo de 15 minutos utilizando micro-adquisidores de datos HOBO UX100-003, suspendidos a 1,2m de altura, dos colocados en el estar/dormir y dos apoyados en los conductos de los calefactores solares de aire (uno a la entrada del aire frío y otro a la salida del aire caliente) y un sensor en el exterior colocado suspendido debajo del piso a la sombra (Figura 2);
- II. Medición de iluminancia punto a punto en una hora y día específico mediante un luxómetro digital 20.000 Lutron LUX LT-YK10LX;
- III. Recopilación de datos climáticos horarios de la estación meteorológica Observatorio Astronómico de La Plata (OALP);
- IV. Mediciones de temperatura en °C (similares condiciones que el paso i) para evaluar las potencialidades/ dificultades de la ventilación cruzada y selectiva en un período extremadamente cálido (el que fue representativo de los días más cálidos del verano en la región) en diciembre de 2022;
- V. Evaluación de las temperaturas y estanqueidad de



Figura 2: Colocación de adquirentes de datos y toma de imágenes termográficas. Fuente: elaboración de los autores

la envolvente y sus encuentros (Figura 2) mediante termografía digital nocturna (21hs), utilizando una cámara termográfica Testo 865 (lente estándar FOV 31° x 23° – IFOV 3,4 mrad. Pantalla TFT de 3.5" – 320 x 240 píxeles) al iniciar el período frío del año 2022, e incorporando energía auxiliar en el interior mediante un radiador eléctrico de 2000 Wh.

La metodología de simulación lumínica involucra simulaciones de iluminancia natural mediante el software *Velux Daylight Visualizer* para dos días soleados con baja y con alta iluminancia respectivamente (agosto y noviembre²).

RESULTADOS

ILUMINACIÓN NATURAL INTERIOR

Se analizaron las mediciones puntuales en un día de agosto donde se registraron máximos de 800 lux (coincidentes con el ingreso de rayos solares) y en noviembre de 500 lux, cuando el ingreso del sol se reduce debido al diseño y orientación (Figura 3). Considerando el punto medido como promedio, se observa que para un día tipo soleado de agosto (representativo del 35% de los días de este mes)³, entre las 9 y las 18hs no se requiere iluminación auxiliar de acuerdo con lo señalado por IRAM (1969)⁴.

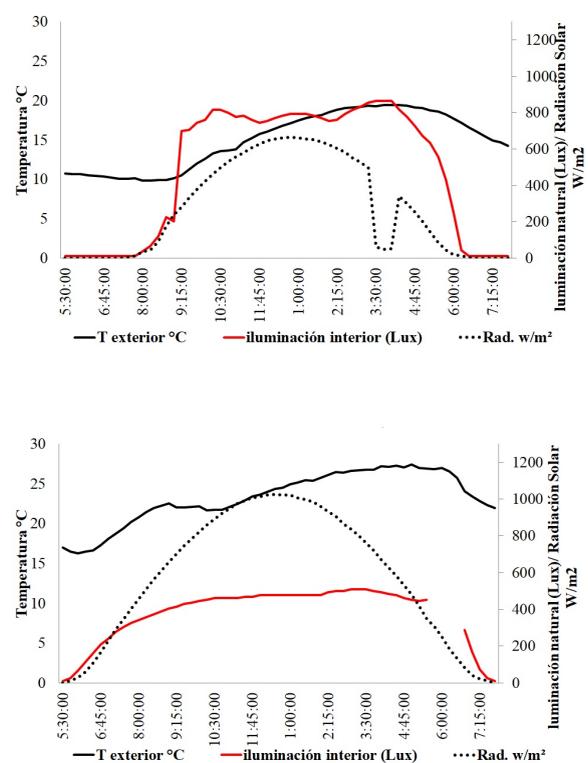


Figura 3: Medición puntual (localizada en la estrella roja de la planta de la Figura 3) de la iluminación natural en el ambiente principal en Agosto (superior) y noviembre (inferior). Fuente: elaboración de los autores

2 Los meses de medición se validaron en función de los días tipo de diseño para la región de La Plata. El día de medición de agosto presenta valores promedio (mediodía solar) de radiación solar global de 670 W/m² e iluminancia global de 77.000 Lux (condición más desfavorable en junio con 560 W/m² y 55.440 Lux). El día de medición de noviembre presenta valores promedio (mediodía solar) de radiación solar global de 1070 W/m² y una iluminancia de 107.000 Lux (condición más desfavorable diciembre con 1100 W/m² y 110.000 Lux).

3 En días con cielo cubierto (35% del total de días del mes presentan heliofania relativa entre 20% y 70%), la iluminancia global horizontal se reduce a 40.000 lux.

4 En comedor/estar el nivel de iluminancia general es 50 lux y el específico hasta 150 lux.

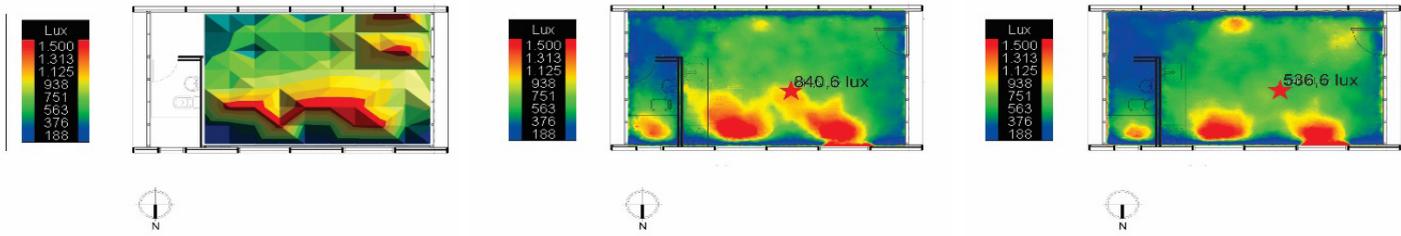


Figura 4: Mediciones punto a punto para el 24 de agosto a las 15 hs (izquierda), simulación de iluminación natural en un día soleado a las 15hs de agosto (centro) y noviembre (derecha). Fuente: elaboración de los autores

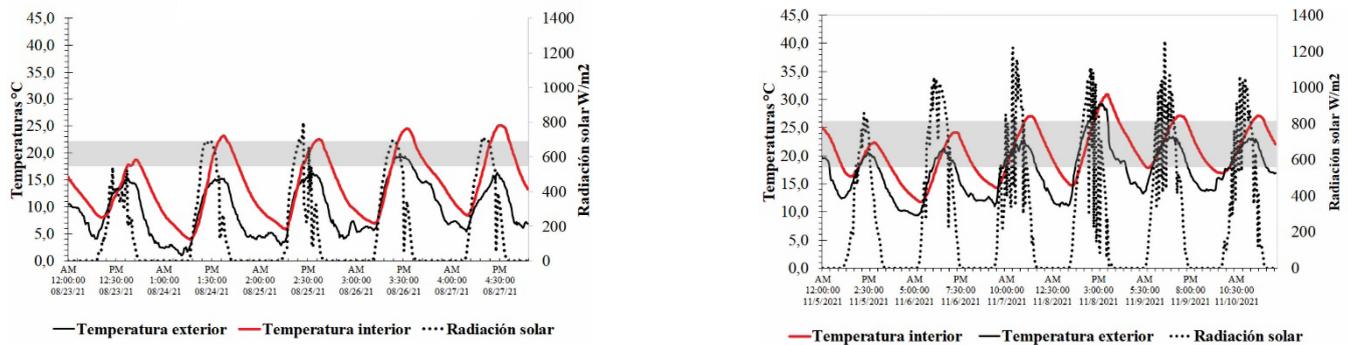


Figura 5: Comportamiento térmico en agosto (izquierda) y noviembre (derecha). Fuente: elaboración de los autores

Posteriormente, se compararon las mediciones punto a punto en el ambiente principal (Figura 3) con simulaciones para dos días soleados con baja y alta iluminancia global horizontal, respectivamente, para comprobar la distribución de la iluminancia E (Lux) en un determinado punto y hora de medición (Figura 4).

Las mediciones *in situ* punto a punto en el mes de agosto muestran una mayor uniformidad en el espacio (con valores mínimos de 500 lux). Junto con esto, destacan el aporte lumínico de la ventana localizada en la puerta de acceso y muestran el ajuste de las simulaciones. A partir del ajuste, las simulaciones lumínicas registraron valores promedio entre 500 y 700 lux, tanto en agosto como en noviembre.

En la ubicación cercana a la ventana se observan registros de 1500 lux en ambos meses. De acuerdo con lo simulado, el 81% de la superficie presenta más de 300 lux en agosto, el 86% de la superficie presenta más de 300 lux en noviembre y de acuerdo con lo medido, el 97% presenta más de 300 lux en la superficie.

COMPORTAMIENTO TÉRMICO

En la figura 5 se puede observar el comportamiento térmico de la SHM durante 5 días en agosto y noviembre, además del nivel de confort térmico entre 18 y 22 °C en

invierno y extendido a 26 °C en verano (Givoni, 1969).

En los gráficos se puede observar que en el período fresco, la SH se mantiene en 4°C sobre la temperatura mínima exterior y 7°C sobre la máxima exterior, lo último debido al efecto del ingreso de radiación solar. Esta condición se verifica durante los días con heliofanía relativa superior al 70 % (24/08 al mediodía 22,3 °C en el interior, 15 °C en el exterior). También se logra verificar el funcionamiento de la ganancia solar directa, así como el aporte de calor proporcionado por los calefactores solares de aire. De acuerdo con el período dentro de confort térmico, se observa que la oscilación día-noche es ocasionada por la falta de inercia térmica de la SH, por lo cual se requeriría aporte de energía auxiliar entre las 11.45 PM y las 10 AM.

En cuanto al período cálido se observa en el gráfico correspondiente que el comportamiento de la vivienda se ve perjudicado por la ausencia de vegetación en la pérgola y de ventilación cruzada. En este sentido, se visualiza que ante temperaturas exteriores máximas de 30°C, la SH eleva sus temperaturas máximas dos grados más que la exterior. Se planteó entonces evaluar las condiciones internas recreando acciones que se asimilen a la protección vegetal de la pérgola, la ventilación cruzada nocturna y el bloqueo del calefactor solar, en un período representativo de días muy cálidos de 2022.

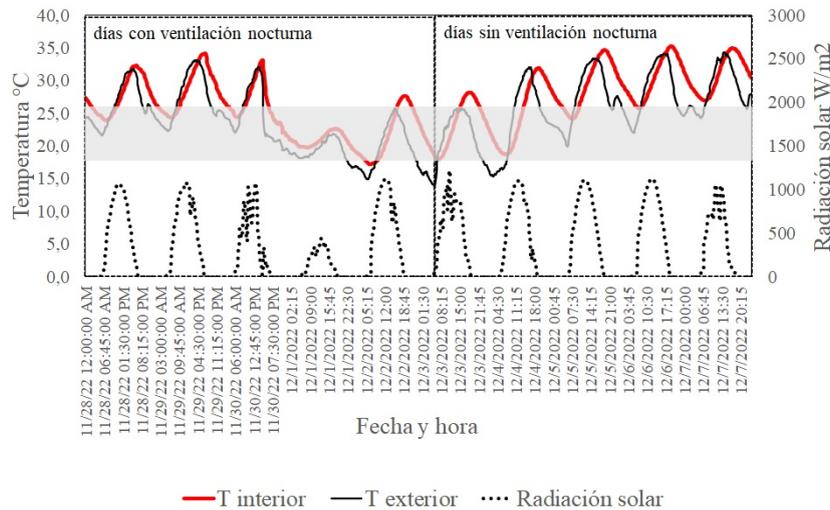


Figura 6: Comportamiento en días cálidos con y sin ventilación nocturna (en gris se indica el nivel de confort de verano 18°C a 26°C). Fuente: elaboración de los autores

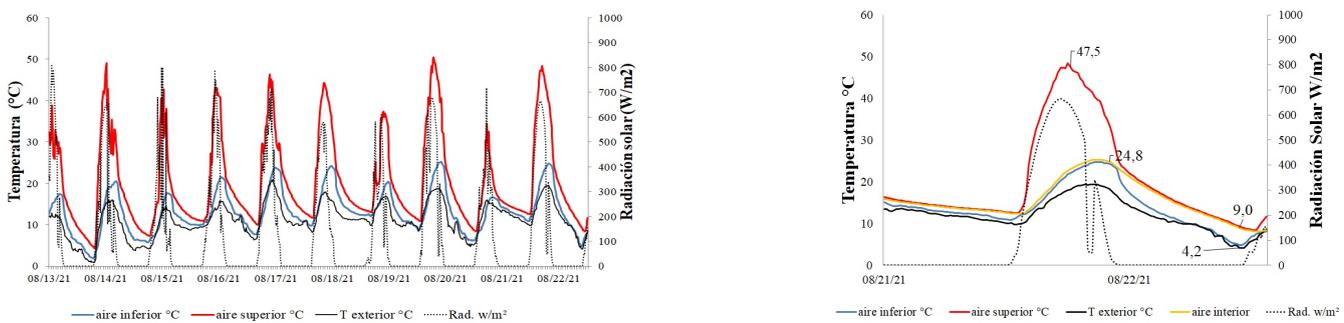


Figura 7: Respuesta térmica del calefactor solar de aire en el período fresco. Fuente: elaboración de los autores

COMPORTAMIENTO TÉRMICO EN DÍAS CÁLIDOS APLICANDO VENTILACIÓN NOCTURNA

Para este análisis se realizó ventilación cruzada (ventana norte y sur) mediante la apertura de las ventanas sur y norte (cruzadas) después de las 17hs, y cerrándolas a las 8.30 hs para evitar el ingreso de calor diurno.

En la imagen se muestra que, en días muy cálidos, asimilables a las condiciones de verano (temperatura máxima promedio de 35,2 °C en ola de calor de febrero de 2023, según SMN⁵), si bien las temperaturas interiores son elevadas (Figura 6) y se ubican por sobre el nivel de confort durante el día, la SH permite disipar la temperatura gracias a su buena ventilación nocturna al abrir la ventana inferior sur (0,4 m x 0,4 m) y la norte (1,2 m x 1,2 m). Por las noches, las temperaturas bajan y se ubican en el nivel

de confort. Se considera que los niveles son aceptables y podrían mejorarse a partir del sombreado de la envolvente con vegetación circundante, de la mejora en la inercia térmica, posible de ser incorporada en los pisos de la SH, y refuerzo del aislamiento térmico.

CALEFACTORES SOLARES DE AIRE PARA ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

Los calefactores solares de aire para acondicionar el ambiente interior principal se evaluaron en invierno como aporte de calor (Figura 7).

Al evaluar 10 días corridos con buena heliofanía, el calefactor registra temperaturas máximas entre 40 y 50 °C. En un día con buena heliofanía (700 W/m² de radiación solar máxima), el calefactor alcanza 47,5 °C en la salida

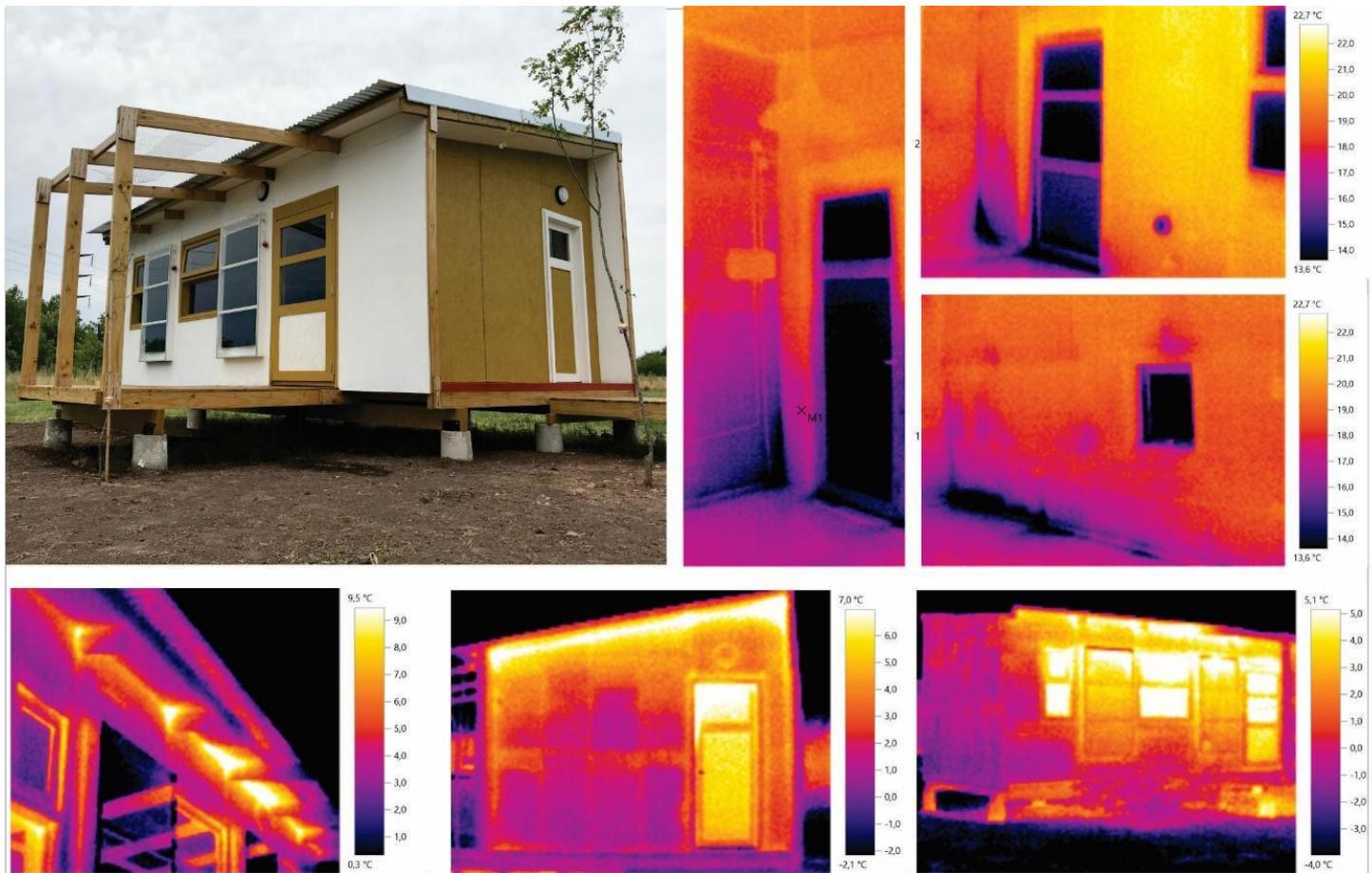


Figura 8: Imágenes termográficas tomadas el día 27/05/2022 entre las 20 y las 22h. Fuente: elaboración de los autores

del aire caliente, mientras que en el interior de la SH las máximas son de 24,8 °C, es decir, casi 5°C por sobre la temperatura máxima. Por su parte, al caer el sol, las temperaturas del sistema solar descienden debido a que no tiene masa térmica. De esta manera, las temperaturas interiores se mantienen casi 5°C por encima (9°C) de la temperatura exterior (4,2°C). En síntesis, el sistema solar tiene buena respuesta térmica y aporta al acondicionamiento interior. Sin embargo, la mejora en la inercia térmica realizada a través de la incorporación de masa en pisos o uso de sistemas solares pesados tipo Muro Acumulador de Calor (MAAC), podría reducir la caída de temperatura nocturna.

EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA Y ESTANQUEIDAD DE LA ENVOLVENTE EDILICIA

En la figura 8 se sintetiza la evaluación de las temperaturas y la estanqueidad de la envolvente térmica, cuyo salto térmico entre interior y exterior fue de 10°C. Del mismo modo, se puede observar que las temperaturas de las paredes en el interior son las esperadas (entre 17 y 22°C), en

contraposición a las bajas temperaturas de las paredes exteriores (menores a 6°C). Con estas cifras, se verifica que la envolvente de madera y su aislamiento térmico interior no producen pérdidas térmicas sustanciales. Como es de esperarse, las puertas de madera simple y las ventanas de vidrio simple son las causantes de las mayores pérdidas, las cuales corresponden a condiciones de diseño de una solución habitacional económica. En este sentido, el uso de postigos de madera y el refuerzo de las puertas podría reducir la pérdida de calor mencionada. Por otra parte, el estudio permite verificar que la estructura de costillas de madera con aislamiento interior no produce puentes térmicos considerables. Sin embargo, se detectan puntos críticos (uniones de paredes y piso), donde se observa fuga de calor con valores menores a 14°C. Asimismo, cabe destacar que no se detectaron pérdidas de calor por la unión de paredes con el techo.

Con respecto al exterior, se observan puntos críticos, por un lado, en la unión del techo con las paredes y, por otro, en la extensión de los tirantes de madera desde el interior al exterior. Estos sectores requerirían del sellado con elementos adecuados para evitar pérdidas térmicas.

Finalmente, si relacionamos este análisis con el comportamiento de la SH en días muy cálidos, el efecto de las infiltraciones produciría ingreso de calor en verano, con lo cual será fundamental mejorar la estanqueidad del ambiente, reforzar el aislamiento térmico y proporcionar la protección vegetal de la SH para mejorar las condiciones de confort interior.

CONCLUSIONES

El acceso a la vivienda en los sectores de mayor vulnerabilidad se produce de manera autogestionada, por lo cual los procesos de autoproducción y autoconstrucción de la vivienda se transforman en la única forma de acceso al suelo en las dinámicas del hábitat popular. En este contexto, se desarrolló una solución habitacional modular (SHM) materializada en madera, diseñada, construida y gestionada por todos los actores sociales involucrados, con el fin de buscar la generación de desarrollos tecnológicos para la inclusión social, que fomenten la autodeterminación, autogestión e independencia de los grupos sociales involucrados, coincidiendo con lo expuesto por Pelli (2007), Thomas & Becerra (2014), Enet et al. (2008) y Pirez (2016). Al igual que en Muñiz et al. (2022), se fomenta el trabajo en taller para reducir el trabajo de obra y mejorar las condiciones laborales de los grupos cooperativos.

El análisis del comportamiento térmico, lumínico y de estanqueidad de la SH permite sustentar los beneficios de este tipo de construcciones poco analizados en la bibliografía internacional (Pérez Fargallo et al., 2016; Iglesias Gutiérrez del Álamo & Lasheras Merino, 2020; De Araújo et al., 2019) y fomentar la construcción en madera (Muñiz et al., 2022; Filio Reynoso et al., 2017; Silva et al., 2023; Garay Moena et al., 2022), la cual, en línea con lo propuesto por Dieste et al. (2019), también agregaría valor al recurso forestal local a través de un centro de producción local.

Con respecto al análisis de la iluminancia en agosto (en días soleados), considerando como un valor promedio el registrado en el centro del espacio, se podría concluir que, entre las 9 AM y las 6 PM, no se requeriría iluminación auxiliar de acuerdo a IRAM (1969).

En cuanto al análisis térmico, se concluye que este presenta una buena respuesta en los meses frescos, ya que se logra acondicionar durante el día con energía solar. Sin embargo, la ausencia de masa térmica hace necesaria la incorporación de energía auxiliar en el período nocturno. Los calefactores solares de aire presentaron un buen aporte para el acondicionamiento diurno. Por otro lado, la envolvente edilicia registra algunos puntos críticos

que requieren mejorar su estanqueidad, pero en general retiene el calor en el interior mientras que las caras externas de los muros se encuentran fríos (sin pérdida de calor).

Finalmente, en lo que refiere a la condición de verano, se concluye que es fundamental accionar mecanismos de refrescamiento nocturno para bajar la carga térmica diurna, junto con la necesidad de mejorar el sombreado de la envolvente exterior, mejorar la estanqueidad y el aislamiento térmico, dado que el nivel en las condiciones climáticas evaluadas no es suficiente ante el exceso de temperatura, como sí lo logra en el invierno.

Para concluir, se hace imprescindible que en futuras investigaciones se realicen simulaciones térmicas para evaluar las mejoras necesarias en condición de verano y bajo escenarios de cambio climático, del mismo modo que puedan evaluarla respuesta térmica de nuevas soluciones habitacionales modulares que incorporen masa térmica en la superficie del piso en épocas cálidas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y a la Agencia de Promoción Científica y Técnica, al Consejo Social de la Universidad Nacional de La Plata, a la Cooperativa de trabajo Barrios Productores LTDA, al Centro Tecnológico de la Madera de la UNLP y al Departamento de Sismología e Información Meteorológica de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata (FCAG- UNLP) quien proporcionó datos meteorológicos.

REFERENCIAS

- Dammer Guardia, M., Delgadillo, V. & Erazo, J. (2019). La ciudad, espacio de reproducción de las desigualdades. *Andamios*, 16(39), 7-13. DOI: <https://doi.org/10.29092/uacm.v16i39.672>
- De Araújo V. A., Gutiérrez-Aguilar, C. M., Cortez-Barbosa, J., Gava, M. & García J. N. (2019). Disponibilidad de las técnicas constructivas de habitación en madera, en Brasil. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 21(1), 68-75. DOI: <https://doi.org/10.14718/revarq.2019.21.1.2014>
- Dieste, A., Cabrera, M. N., Clavijo, L., & Cassella, N. (2019). Analysis of wood products from an added value perspective: The Uruguayan forestry case. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 21(3), 305-316. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000303>

Enet, M., Romero-Fernández, G. & Olivera-Gómez, R. (2008). Herramientas para pensar y crear en colectivo, en programas intersectoriales de hábitat Ed. CYTED-HABYTED-RED XIV.

Filio Reynoso, O., Borja De La Rosa, A., Fuentes Salinas, M. & Corona Ambriz, A. (2017). Wood frame house construction project in Mexico. *Journal of Construction*, 16(2), 307-322. DOI: <https://dx.doi.org/10.7764/rdlc.16.2.307>

Givoni, B. A. (1969). *Man, Climate and Architecture*. Elsevier Architectural Science Series.

Garay Moena, R., Castillo Soto, M., Fritz Fuentes., C., & Hernández Ortega, C. (2022). Desarrollo de un indicador integrado de sustentabilidad y seguridad estructural para el mercado de viviendas de madera aplicado a Chile central. *Revista Hábitat Sustentable*, 12(1), 8-23. DOI: <https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.01>

Iglesias Gutiérrez Del Álamo, M. & Lasheras Merino, F. (2020). Vigencia de las estrategias constructivas originales para la conservación de los entramados estructurales de madera, a través del ejemplo de un edificio madrileño del S. XIX. *Informes de la Construcción*, 72(560), e363. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.73119>

IRAM (1969) Norma IRAM – AADL J20-02 Iluminación natural en edificios. Condiciones Generales y requisitos especiales.

IRAM (1996). Norma IRAM 11605 Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos admisibles de transmitancia térmica en cerramientos opacos.

IRAM (2000). Norma IRAM 11604 Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites

IRAM. (2012). Norma IRAM 11603 Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina

Jiménez, R. (2020). Análisis de la vigencia del sistema constructivo LAD-MA para la autoconstrucción asistida de viviendas progresivas. *Informes De La Construcción*, 72(560), e367. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.73728>

Migueltoarena, A. (2020) Espacios residenciales generados desde la producción social del hábitat y su vinculación con el Estado en la ciudad de Tandil. *Población & Sociedad*, 27(1), 1-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/pys-2020-270101>

Miranda-Gassull, V. (2017). El hábitat popular. Algunos aportes teóricos de la realidad habitacional de sectores desposeídos. *Territorios* (36), 217-238. DOI: <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.4440>

Muñiz, S., Mosquera, E. & Corral, A. (2022). Construcción de una vivienda de madera con el sistema UBUILD. *Informes de la Construcción*, 74(565), e428. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.87025>

Pelli, V. S. (2007). *Habitar, participar, pertenecer. Acceder a la vivienda - incluirse en la sociedad*. Editorial NOBUKO.

Pérez Fargallo, A., Calama Rodríguez, J. M., Flores Alés, V. (2016). Comparativa de resultados de rehabilitación energética para viviendas en función del grado de mejora. *Informes de la Construcción*, 68(541), e134. DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.048>

Pirez, P. (2016). Las heterogéneas formas de producción y consumo de la urbanización latinoamericana. *Revista Quid*, 16(6), 131-167. Recuperado de: <https://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/quid16/article/view/2085>

Romero-Fernández, G. (2002). La producción social del hábitat: Reflexiones sobre su historia, concepciones y propuestas. En Ortiz Flores, E. & Zarate, L. (Comps.), *Vivitos y coleando. 40 años trabajando por el hábitat popular de América Latina*, 70-79. México: UAM.

San Juan, G. (2018-2021). Proyecto de Investigación Plurianual CONICET: Problemáticas ambientales del hábitat popular en la periferia del Gran La Plata. Políticas Públicas / Sociales, como respuesta, en el marco de la Producción Social del Hábitat (PSH) y la Tecnología para la Inclusión Social (TIS).

San Juan, G. A., Viegas, G. M., Reynoso, L. E. & Esparza, J. B. (2023). Hábitat popular. Modelo sistémico para abordar una propuesta de solución habitacional y su inserción urbana. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 25(1), 25–39. DOI: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.4132>

Salazar, M. V. (2008). Proyectos que buscan hacer de la vivienda de madera, una vivienda de calidad: Chile apuesta por la construcción en madera. *Revista de la Construcción*, 7(1), 114-116. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127612580012>

Silva, M. F. F., Silva, J. V. F., Favarim, H. R. & Campos, C. I. de (2023). Physical-mechanical properties and heat transfer analysis of osb produced with phenol-formaldehyde and zno nanoparticles addition. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 25(3), 1–6. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2023000100403>

Soust-Verdaguer, B., Moya, L., & Llatas, C. (2022). Evaluación de impactos ambientales de viviendas en madera: El caso de "La casa Uruguaya". *Maderas. Ciencia y tecnología*, 24, 1-12. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-221x2022000100410>

Thomas, H. E., & Becerra, L. D. (2014). Sistemas tecnológicos para el desarrollo inclusivo sustentable. *Voces en el Fénix 37 Sistemas tecnológicos para el desarrollo inclusivo sustentable*, 120-129. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/36222/CONICET_Digital_Nro.653fb65f-597d-4c01-8d7d-09a4adc88d6b_c.pdf?sequence=5&isAllowed=y

UCALP. (2021). *Observatorio Socioeconómico de la Universidad Católica de La Plata*. Recuperado de: <https://www.ucalp.edu.ar/la-universidad/observatorio-socioeconomico/>

Viegas, G. (2021-2024) Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica: Plan de mejoramiento integral de viviendas en sectores poblacionales en riesgo socio-territorial localizados en asentamientos informales del Partido de La Plata. Estrategias orientadas a la envolvente edilicia, el saneamiento y el acceso a la energía.

Viholainen, N., Franzini, F., Lähtinen, K., Nyruud, A. Q., Widmark, C., Fredrik Hoen, H. & Toppinen, A. (2021). Citizen views on wood as a construction material: results from seven European countries. *Canadian Journal of Forest Research*, 51. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0274>

Vogel, H. C. (2020). *Diagnóstico integral de la cadena de valor de construcción con madera y aspectos estratégicos para su desarrollo*. Informe Final. Programa de Sustentabilidad y Competitividad Forestal (AR-L1067, Préstamo BID 2853/OC-AR) Dirección General de Programas y Proyectos Sectoriales y Especiales. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Recuperado de: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/foresto-industria/construccion-madera.php>