

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HABITÁCULOS ADAPTATIVOS PARA MITIGAR LA VULNERABILIDAD HABITACIONAL EN CONTEXTOS DE EMERGENCIA**

**Gustavo J. Barea Paci, Carolina Ganem, Victoria Mercado, Lorena Córica, Virginia Gassull, Florencia Ginestar, Noelia Alchapar, Ayelén Villalba, Javier Garro, Raúl Mercado, Carlos Abraham, Julieta Balter<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía – INAHE – CONICET

Tel. 54-261-6414640 – 54-261-5244310– e-mail: [gbarea@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:gbarea@mendoza-conicet.gob.ar)

**RESUMEN:** El presente estudio surge del Programa de Articulación y Fortalecimiento Federal de las Capacidades en Ciencia y Tecnología en el contexto de COVID-19, con el objetivo de abordar la vulnerabilidad habitacional de los sectores populares en situación de hacinamiento y precariedad debido a la pandemia. Se desarrolló un habitáculo de emergencia para ampliar el espacio en viviendas precarias y mejorar la calidad de vida de los residentes. La falta de espacios adecuados en cantidad y calidad en estas viviendas pone en peligro las medidas gubernamentales en tiempos de pandemia. El enfoque se basó en crear un refugio de emergencia que fuera fácil de construir, económicamente eficiente y adaptable a diversas situaciones. El artículo aborda el diseño y construcción de los habitáculos de emergencia en tres dimensiones: Proyectual-Funcional-Estructural, Económica y Eficiencia Térmica-Energética. El prototipo cumple con criterios de producción de bajo contenido tecnológico, rápido montaje, eficiencia energética y resistencia a las incumbencias climáticas, para clima templado continental como el caso de Mendoza. Se establece que los habitáculos deben servir en las tres primeras etapas de atención de la emergencia, ofreciendo una respuesta rápida y satisfaciendo necesidades biológicas, materiales y técnicas locales.

**Palabras clave:** habitáculo de emergencia, eficiencia termo-económica, construcción en madera

### **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo surge en el marco del financiamiento otorgado por el Programa de Articulación y Fortalecimiento Federal de las Capacidades en Ciencia y Tecnología en contexto de COVID-19 (“Aislamiento social, preventivo y obligatorio para los sectores populares en situación de hacinamiento y precariedad habitacional”). La convocatoria buscaba fortalecer las capacidades de provincias y municipios, apoyándose en sus respectivos sistemas científicos y tecnológicos, para acompañar la integración del conocimiento y de los desarrollos tecnológicos y sociales en los procesos de toma de decisiones y en la planificación local de las estrategias de control, prevención y del monitoreo del COVID-19. El objetivo principal del proyecto financiado era desarrollar un *habitáculo de emergencia* que amplíe la disponibilidad de espacio en las viviendas precarias a fin de mitigar la vulnerabilidad y así dignificar mínimamente la vida de las personas que las habitan, para el clima de Mendoza. Los sectores populares no disponen de espacios suficientes en cantidad y calidad que les posibilite quedarse en casa, pensando en los contextos de pandemia. El hacinamiento en sus cuatro vertientes: por lote, por vivienda, por cuarto y por cama son las variables que ponen en riesgo las medidas adoptadas gubernamentales en épocas de pandemias. Las viviendas que habitan no resultan adecuadas por el tipo de materiales utilizados, el servicio sanitario al que acceden y al espacio disponible. Esta vulnerabilidad es de larga data y con la pandemia se ha puesto al descubierto. En estas condiciones el aislamiento ha resultado muy dificultoso, y a veces, imposible de cumplimentar. La reciente pandemia puso en evidencia las desigualdades territoriales y las brechas que existen entre sectores poblacionales, regiones y ciudades. En este estado se elaboró y ejecutó el proyecto desde un enfoque integral, teniendo en cuenta el principio de transversalidad ya que es la forma de optimizar los resultados a lograr.

Si bien se está lejos de efectivizar el derecho a la vivienda y a un hábitat digno y sustentable, el desarrollo del proyecto contribuyó a disponer de una tecnología eficiente, de rápido armado y económica, para cubrir necesidades básicas en emergencias de distintas índoles (sismo, inundaciones, emergencias sanitarias).

Las situaciones de emergencia son sucesos graves, repentinos e importantes, en las que la vida y el bienestar de las personas se ven afectados, llevándolas a una situación de vulnerabilidad. Basando la conceptualización de los refugios en estas premisas, la solución de diseño de un módulo o habitáculo de emergencia debe permitir una acción de reubicación inmediata, que sintetice las características de una vivienda temporal y que además responda a los diferentes ámbitos culturales y territoriales de los lugares donde se presente la emergencia. A diferencia de la vivienda, la urgencia establece ciertos parámetros particulares en los habitáculos. Por un lado, la estructura se reduce y simplifica a la mínima expresión. Y, por otro lado, se flexibilizan las funciones de forma de poder adaptarse fácilmente a distintas situaciones y modos de habitar. El prototipo de emergencia cumple con algunas de las consignas proyectuales encontradas en antecedentes sobre el tema. Según lo planteado por Gustavo San Juan y otros (2017:86), se trata de generar una producción de bajo contenido tecnológico, fácil de construir y montar, de dimensiones mínimas y con la flexibilidad necesaria para tener en cuenta su crecimiento y progresividad, eficiente energéticamente (aislación térmica), resistente al viento y con posibilidad de incluir sistemas solares pasivos.

Ceballos Torres (2018: 8) indica que el refugio debe implementarse lo más rápido posible y servir durante las tres primeras etapas de atención de la emergencia, las cuales oscilan hasta los tres años aproximadamente. Para Alvar Aalto, finlandés especializado en arquitectura de emergencia durante la Segunda Guerra Mundial, debe tenerse en cuenta no solo la rapidez de la construcción sino la satisfacción de las necesidades biológicas, materiales y técnicas locales, y prever cierto grado de permanencia, aunque se trate de unidades mínimas diseñadas para proporcionar un refugio temporal al principio de la emergencia (González Ch. et al., 2014). Viegas y otros (2023) estudiaron una solución habitacional modular de madera en clima templado-cálido. El estudio evaluó el comportamiento térmico, lumínico y las condiciones de estanqueidad. Los resultados mostraron un buen desempeño en cuanto a la iluminación natural durante el día y una respuesta térmica favorable en épocas frías. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora, como la necesidad de acondicionamiento térmico nocturno, mejorar la estanqueidad de la envolvente y reforzar el sombreado y aislamiento térmico en épocas cálidas. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar estos aspectos en la construcción de viviendas populares de madera en climas templados-cálidos.

En este contexto el presente trabajo plantea resolver el diseño y la construcción de habitáculos de emergencia, con la mira en la necesidad de abordar la vulnerabilidad habitacional a través de un enfoque científico, tecnológico, pragmático y de rápida construcción.

## **METODOLOGÍA**

A partir de lo expuesto, es necesario abordar la problemática de la construcción de habitáculos de emergencia desde una mirada integral y multidisciplinar. Por ellos en este trabajo se ordena la metodología a partir de 3 dimensiones de aproximación a la problemática: la Dimensión Proyectual-Funcional-Estructural (fase de diseño y fase constructiva), Dimensión Económica y Dimensión eficiencia termo-energética.

**Dimensión Proyectual-Funcional-Estructural**, se divide en dos etapas: fase de diseño y fase constructiva. El diseño se resuelve bajo la lógica de la Investigación Proyectual (Sarquis, 2007). Dicho concepto atiende al conjunto articulado de elementos objetivos, también llamados determinados, subjetivos o sensibles, e incorpora en su estructura los aspectos formales, espaciales, las inquietudes tectónicas, además de los programas de actividades. Este concepto recupera los tres polos vitruvianos. En los tres aspectos del Programa Complejo se trabaja tanto en sus dimensiones manifiestas o explícitas acerca de la historia del trío vitruviano, sus datos objetivos, su vigencia actual, etc., así como su dimensión imaginaria y las significaciones que con ella se aporta.

A la hora de proyectar estas tipologías de habitáculos se debe entender que ante una situación de emergencia social, desastre natural o crisis humanitaria existe dos tipos de respuesta que tienen que darse paralelamente: por un lado la rápida instalación de un sistema que sirvan para alojar de manera provisional a las personas, siendo imprescindible que estas sean ligeras, fácilmente transportables y de fácil puesta en funcionamiento, pero además, es igualmente importante velar por la dignidad de las personas y es por esto que es fundamental intentar reproducir de la mejor manera posible una impresión de normalidad. No obstante, la propuesta del Habitáculo Construido tiene la posibilidad de evolucionar hacia una “Vivienda Permanente” o ser modulable y escalable hacia la permanencia. A estas principales premisas se complementan: la flexibilidad, reducción estructural a su máxima expresión y bajo costo.

Luego de tener el proyecto ajustado, se construyeron 2 prototipos en el predio del INAHE-CCT Mendoza, que luego fueron sometidos a mediciones in situ y ajustes técnicos-tecnológicos. Con el objetivo de elegir la correcta materialidad del Habitáculo, se realizó un relevamiento de materiales y tecnologías disponibles en el mercado de la construcción. Se detectaron alternativas con menor coste económico, pero sin resignar la eficiencia energética en términos de confort térmico y lumínicos, apartado que alimenta la Dimensión económica.

Y en la dimensión eficiencia termo-energética, se realizó un balance térmico-energético estacionario y mediciones in situ. El objetivo del balance estacionario fue valorar las posibilidades energéticas de la envolvente expuesta y su orientación. Para ello se utilizó el método de la Relación Carga Térmica / Colector (RCC) (Balcomb et al., 1982). Este método permite el cálculo del rendimiento de los sistemas solares pasivos. El mismo tiene en cuenta la relación existente entre las pérdidas de calor evaluadas a través del Coeficiente Neto de Pérdidas (CNP) y la ganancia solar, medida a través del área colectora (AC). Esta relación responde a un valor dado para cada sistema solar (ganancia directa, muros acumuladores, invernaderos, etc.). De tal modo que, en un lugar determinado, a través del clima reinante (radiación solar y grados-día), para cada valor de Fracción de Ahorro Solar (FAS), le corresponde un valor de la relación RCC para cada sistema solar. En este caso los habitáculos se ubican en el clima de Mendoza y tienen ganancia solar directa. Se definen en el método las siguientes figuras:

*Coeficiente Neto de Pérdidas (C.N.P.):* indica la cantidad de energía que se debe entregar al edificio por cada grado centígrado de diferencia entre la temperatura interior y la temperatura exterior de ese lugar por unidad de tiempo, en el sistema internacional de unidades sus dimensiones son [W/°C]. Es una figura importante para conocer las pérdidas térmicas del edificio. *El CNP*, tiene en cuenta las pérdidas de energía a través de techos, muros, ventanas, puertas, infiltración de aire y fundaciones y se calcula como la suma de la multiplicación del área por la conductancia térmica de cada uno de estos elementos de la envolvente. En el método, el autor propone no considerar la pérdida por las ventanas orientadas al norte, ni considerar las ventanas orientadas al este ni al oeste. Las pérdidas por las ventanas norte se encuentran consideradas en el mismo rendimiento del sistema solar y las pérdidas por las ventanas este y oeste, se considera que pierden tanto como ganan (en los meses invernales), entonces en el balance estacionario, es como si no aportaran ni perdieran calor.

*Área Colectora (A.C.)* es la cantidad de superficie potencialmente colectora de energía solar, a través de un sistema pasivo apropiado ( en este caso, ganancia solar directa). *Fracción de Ahorro Solar (F.A.S.)* es la cantidad de energía solar que aprovecha el habitáculo y que se mide en porcentaje respecto de la cantidad de energía total que necesita consumir para mantener el interior a una temperatura constante. Se calcula en términos anuales. *Relación Carga Térmica/Colector (RCC)* es la resultante de dividir el Coeficiente Neto de Pérdidas (CNP) por el área colectora (AC) del edificio, en virtud de la siguiente ecuación:

$$RCC = \frac{CNP}{AC} = \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad [1]$$

De esta manera, se puede calcular el CNP y contando con el AC, podemos calcular la RCC, de acuerdo a la ecuación [1]. Una vez calculada ésta, podemos conocer la FAS, conociendo el Sistema Solar Pasivo a incorporar al edificio. En este trabajo sólo se analiza el sistema solar con ganancia directa.

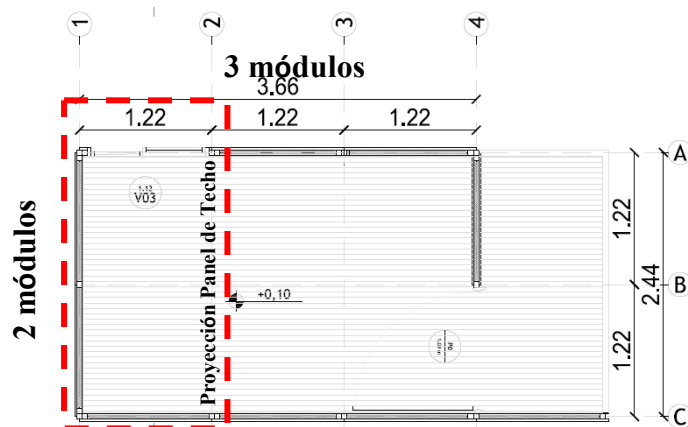
Para las mediciones in situ se utilizaron 5 micro-adquisidores de datos HOBO U10 (temperatura y humedad). Uno, localizado en el exterior a la sombra, dos de ellos ubicados en cada uno de los habitáculos y dos ubicados en la cavidad del techo ventilado de cada habitáculo. Debido a que la estación más desfavorable para construcciones livianas aisladas, sin masa térmica y poco volumen de aire interior, se decidió realizar las mediciones in situ en verano, como primera instancia. El período de medición fue entre 01-02-2023 y 31-03-2023. El intervalo de toma de datos se fijó cada 15 minutos y para este trabajo se seleccionaron 5 días, entre el 1 y el 5 de marzo del 2023. Para el procesamiento de la información se utilizó el “Excel” y el “HOBOWarePro”

## RESULTADOS

### *Dimensión Proyectual-Funcional-Estructural: Fase de diseño*

Según el Arq. Juan Herrero, tradicionalmente, cuando nos referíamos a procedimientos proyectuales, éstos se asociaban pragmáticamente a los procesos de construcción. Y si los resultados se acercaban a las cualidades subjetivas, automáticamente la conversación se desplazaba al territorio de la estética acercando la disciplina a las prácticas creativas. En las últimas décadas, estos criterios se han reemplazado por los métodos de trabajo, que ha permitido a los arquitectos descubrir un campo de reflexión y confrontación referido a la propia práctica del proyecto, a sus estrategias y a la apuesta a punto de las herramientas proyectuales adecuándolas a cada caso.

Este discurso rige las acciones más experimentales y arriesgadas asociadas al proyecto, y sin duda acompaña a lo que llamamos investigación proyectual. El camino recorrido puede ser independiente de los resultados y convertirse en modelo, método, estrategia o protocolo al servicio de otros proyectistas. En este cambio de paradigma proyectual hemos trabajado interdisciplinariamente discutiendo mecanismos e ideas para lograr los objetivos propuestos. Los procesos creativos proyectuales fueron realizados en dinámicas grupales interdisciplinarias, contemplando las premisas planteadas y las necesidades sociales planteadas en el proyecto. Se desarrollaron variados anteproyectos los cuales permitieron llegar a la propuesta final. Se trabajó en el Barrio San Agustín. El barrio es un asentamiento no consolidado de crecimiento espontáneo. Se encuentra en la localidad de Colonia Segovia, del Departamento de Guaymallén, siendo parte del Área Metropolitana de Mendoza. El mismo es parte del ReNaBaP (Registro Nacional de Barrios Populares, n° 3286), y está compuesto por unas 90 familias. Sus dinámicas son propias de lo suburbano (urbano de periferia) en un contexto rural irrigado. Las familias son mayormente monoparentales, cuyas jefas y jefes de hogar oscilan generalmente entre los 18 y los 39 años. Juntos con el personal del Municipio de Guaymallén, se realizó un relevamiento social para una primera selección de familias a las cuales se les iba a instalar los habitáculos.

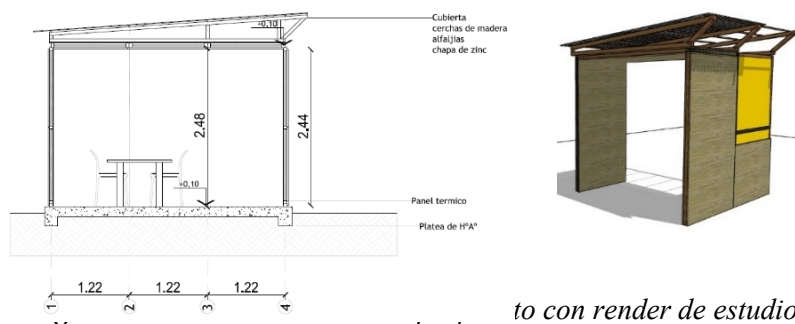


*Figura 1. Planta arquitectónica.*

La propuesta final es superadora ya que se logra usar recursos indispensables, disminuir la estructura permitiendo que sea desmontable, liviano y trasladable. Es de rápido montaje y almacenable (desarmado). Es un sistema modular y flexible lo cual permite fácilmente ampliarse y adaptarse a las necesidades sociales y espaciales. También la técnica constructiva es transferible para su autoconstrucción. Se pensó en trabajar con **paneles autoportantes aislados**, materializados con placas

de madera OSB y estructura de alfajías de álamos. Para modular arquitectónicamente el proyecto se tomó como medida base la dimensión de la placa de madera OSB, 1,22m x 2,44m. El resultado de este primer prototipo es de 3,66m (3 módulos) x 2,44m (2 módulos), más el espacio de transición, que arma el acceso. La ventaja de modular transversalmente con 2 módulos (2,44m), es que permite apoyar el panel del techo sin necesidad de sumar estructura de apoyo. Cuando todos los elementos quedan unidos, la estructura es solidaria y trabaja estructuralmente en conjunto. El techo funciona como un diafragma estructural y a la vez aislante térmico. Ver figura 1.

Uno de los inconvenientes encontrados en las ideas previas, era la pendiente del techo, ya que en los laterales aparecían detalles triangulares que no responde al sistema técnico-estructural. Para ello se pensó en separar las resoluciones pluviales de la estructural y aislante. Se diseñaron 4 cabreadas donde alojar la chapa trapezoidal creando una cámara ventilada, o sea un techo ventilado separado del paquete estructural. Con esta técnica estamos aportando a la eficiencia energética en verano creando un espacio para que el aire circule y enfríe el elemento en contacto con la radiación solar y, por otro lado, aportando a la unificación de paneles. El efecto de techos ventilados se ha investigado y estudiado por numerosos investigadores a nivel internacional (Zingre, Wan, et al., 2015).



to con render de estudio

Con la premisa de trabajar con los mínimos elementos constructivos, se diseñaron 4 tipologías de tabiques tipo sándwich: Panel para alojar puerta, Panel ciego de techo, Panel ciego vertical y Panel para alojar ventana. A estos elementos constructivos, se le suman las cabreadas para sostener la chapa que arma el techo ventilado.

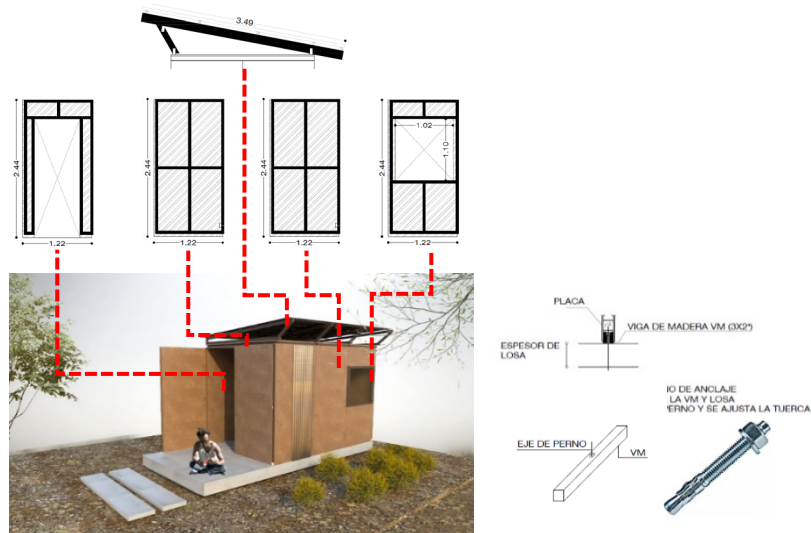
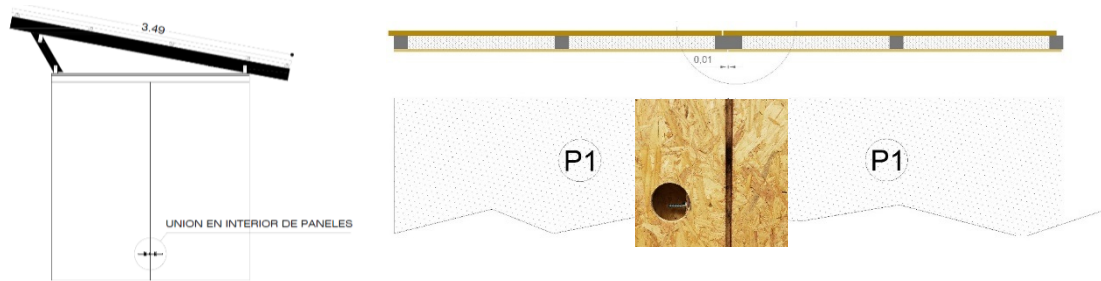


Figura 3. Estudio de tipologías de tabiques y anclaje de paneles al piso.

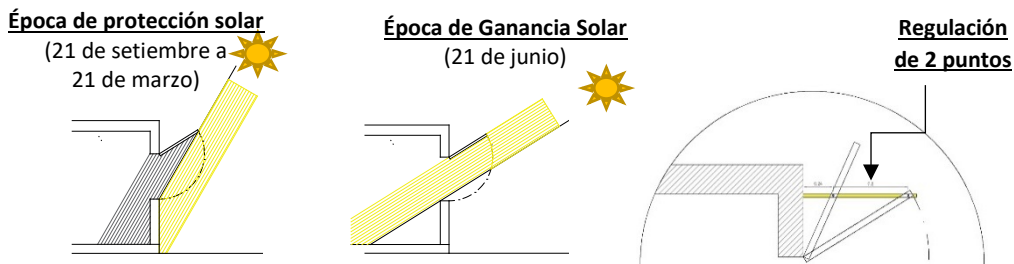
Los paneles verticales se arman con una estructura de alfajías de álamo cepillada de 2"x2", un alma aislante de 50mm de poliestireno expandido, ruberoid, panel de madera OSB estructural de 18mm por fuera y OSB estructural de 11mm por dentro. La composición de los paneles del techo es igual, lo que se modifica es la estructura, que se plantea con alfajías de álamo de 3"x2", para darle rigidez y aumentar el alma de poliestireno expandido a 70mm. El anclaje al suelo, se hace por medio de una platea de hormigón armado. La unión es del tipo macho-hembra. Una vez realizada la platea, se coloca una alfajía

de 2"x3" con broca del tipo expansible 10x115 Fwa al contrapiso. Las uniones entre paneles se hacen por medio de varillas roscadas de 8mm, con tuercas y arandelas, entre la estructura de alfajías de cada panel. En uno de los paneles, por el lado de adentro se deja un bocado de 11mm para poder ajustar mecánicamente la unión. Un detalle importante en la unión vertical entre paneles es el diseño del desfasaje entre placas de OSB que permiten general juntas de dilatación y cortes de pintura para absorber pequeñas imperfecciones constructivas y de niveles. Ver la figura 4.



**Figura 4.** Anclaje entre paneles y detalles constructivos de juntas de dilatación

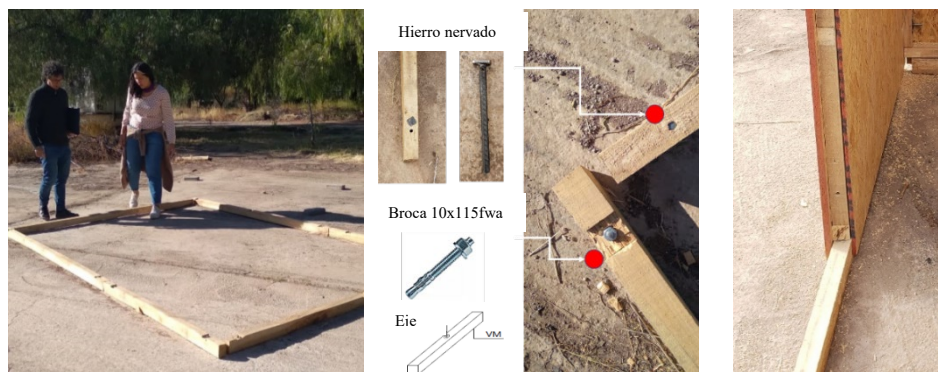
Un detalle importante en la unión vertical entre paneles es el diseño del desfasaje entre placas de OSB que permiten general juntas de dilatación y cortes de pintura para absorber pequeñas imperfecciones constructivas y de niveles. Para las protecciones de las aberturas hacia el norte, se pensó en usar el mismo recorte de placa de OSB que se cala para colocar la ventana, como alero horizontal. Este alero, además de funcionar como protección solar para verano, debía proteger la ventana como una persiana de cierre. Por ello se estudió el mecanismo que facilite dos posiciones de aleros (verano e invierno) y la posibilidad de usarlo como cierre vertical.



**Figura 5.** Estudio de protección solar

**Dimensión Proyectual-Funcional-Estructural: Fase constructiva**

Se construyeron 2 habitáculos en el INAHE, predio del CCT Mendoza para experimentar anclajes, uniones y sistemas constructivos. La construcción se llevó a cabo con el personal del INAHE coordinados por el director del proyecto, Dr. Gustavo Barea. La misma se ha dividido en 3 fases constructivas: Replanteo-Base-Fundaciones, Armado de tabiques y Construcción de techo.



**Figura 6.** Replanteo y anclaje tabiques verticales a fundaciones.

En el caso del primer habitáculo, el replanteo se lleva a cabo sobre un contrapiso existente en el predio, considerando que no está perfectamente nivelado (simulando una situación real). Con respecto al anclaje

de los paneles al suelo, en la figura 6 se observan las alfajías de 2"x3" colocadas en el contrapiso. Para la fijación se probaron dos sistemas de anclajes: una con hierro nervado de 8mm y otra con broca perno de 10 x115 Fwa. Esta última es la situación ideal para utilizar en la construcción, pero debido a su alto costo y considerando los aspectos contextuales y sociales donde se inserta el proyecto, se prueba una alternativa más económica con hierro nervado, que muestra buenos resultados para la escala del habitáculo y puede realizarse por la misma comunidad con materiales accesibles

Luego en el taller se armaron los paneles de cierre de acuerdo a las tipologías descriptas anteriormente. Una vez armados se comenzaron a colocar los paneles verticales como se observa en la figura 6 y 7. Por otro lado, para agregar un valor de industrialización al proceso de armado de paneles, el equipo de taller elaboró una plantilla/matriz que permite realizar los anclajes para las uniones de paneles de manera precisa y mecanizada. Este es un punto en el desarrollo tecnológico del proyecto que luego se transfiere como capacitación a las personas implicadas en el armado de los habitáculos en las comunidades y equipos técnicos de municipalidades. Para la unión entre paneles se desarrolló un elemento con varilla roscada y una platina, que luego se atornilla a la alfajía interna del panel. En el segundo panel se deja previsto un hueco circular (3 por panel) para colocar la tuerca a la varilla roscada antes mencionada. Esto diferencia al sistema propuesto de los sistemas en seco tradicionales, que trabajan con el panel a media placa y luego lo cierran *in situ*. La unión en las esquinas se hace a 90° y son distintas entre ellas. Esto se debe a la estandarización de los paneles. También este tipo de uniones permite flexibilidad de ampliación y estandarización en la fabricación y construcción, ver imágenes de la derecha en la figura 7.



**Figura 7.** Armado de paneles

En la figura 8 se observa la colocación del techo. El panel de techo se apoya en los extremos de los laterales. El anclaje es igual que en los paneles verticales. La ventaja de la modulación en 1.22 x 2.44 (medida del OSB) es que permite no agregar estructura a las placas del techo. Cada panel es autoportante y solidario estructuralmente. Por encima de los paneles de cierre y estructurales se colocan las cabreadas de alfajías y la chapa, completando el techo ventilado.



**Figura 8.** Encuentro de paneles verticales con el techo y habitáculos terminados

Es relevante destacar que el prototipo ha sido sometido a pruebas en condiciones reales de exposición al viento zonda, tanto en el barrio San Agustín como en el predio del CCT Mendoza. Durante el año

2023, se ha registrado un mayor número de episodios de viento zonda en comparación con los últimos cuatro años<sup>1</sup>.

### Dimensión Eficiencia Económica

El rendimiento económico está vinculado a la correcta elección de la materialidad del habitáculo, para lo cual se realizó un relevamiento de materiales y tecnologías disponibles en el mercado de la construcción. En primer lugar, se detectaron alternativas con menor coste económico, pero sin resignar la eficiencia energética en términos de confort térmico y lumínico. Luego, se estudiaron sistemas constructivos existentes. Para ello se diagramó la figura 9, analizando las propiedades físicas en función de los costos. La figura 9 describe la relación del costo económico de diferentes tecnologías de construcción en seco y otras de construcción tradicional para la resolución de techos y paredes en relación al beneficio térmico de acuerdo a lo establecido en la Norma IRAM 11605.

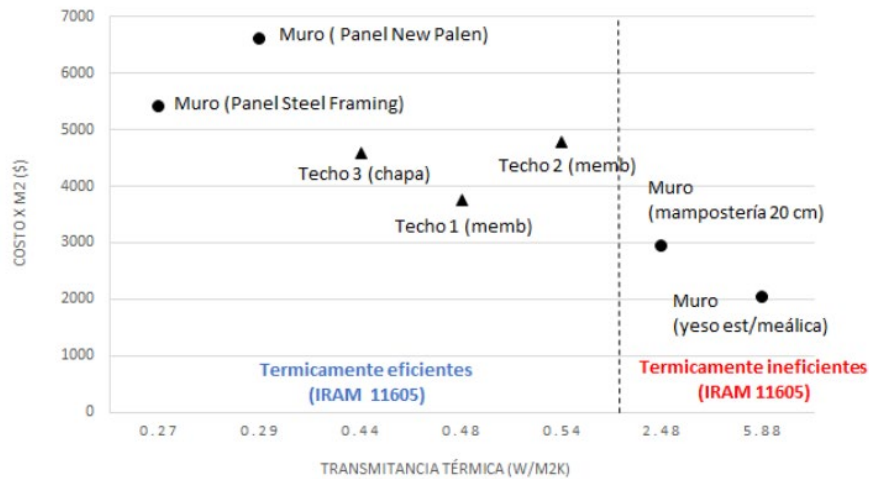
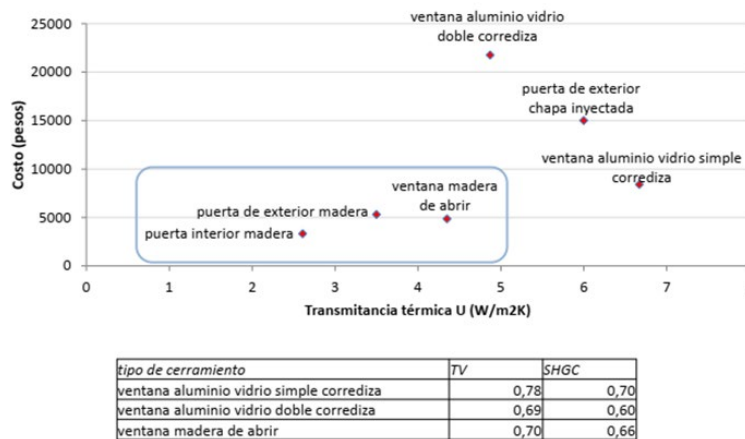


Figura 9. Diagrama de relación costo/beneficio de componentes opacos (muros y techos).

Para toda la envolvente opaca, se optó por paneles del tipo New Panel, fabricados con mano de obra local. Estos paneles exhiben una baja transmitancia térmica, y la fabricación local permitió una significativa reducción de costos. Están compuestos por un doble panel de madera OSB y un núcleo de polietileno expandido.



Nota: vidrio claro (6mm) -TV 0.88 / RV 0.07/SHGC 0.82 / TS 0.771 / RS 0.7/E 0.84/U 5.82 W/m²K. Costo: 2250 pesos el m².

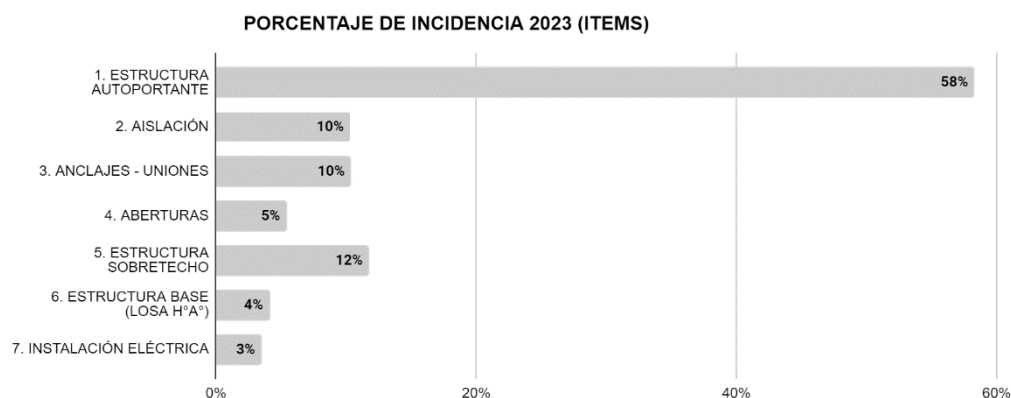
Figura 10. Diagrama de relación costo/beneficio de aberturas (puertas y ventanas).

En la Tabla 1, se presentan los valores de transmitancia térmica. En la figura 10, se detalla el coste económico de acuerdo al rendimiento termo-energético de aberturas (ventanas y puertas) mediante el cálculo de indicadores, tales como, el Coeficiente de ganancia térmica solar (SHGC) y el Índice de

<sup>1</sup> <https://www.mdzol.com/sociedad/2023/9/22/el-dato-que-muestra-que-en-2023-ya-corrio-mas-viento-zonda-que-en-los-ultimos-cuatro-anos-370115.html>



Transmitancia Visible (TV). Los vidrios de las ventanas de madera son simples vidrios, es la tipología de ventana más usual en las construcciones de este tipo. Estas ventanas son las que se eligieron para este prototipo. En la Tabla 1, se presentan mayores detalles. Los costos se dividieron en 7 ítems: 1. estructura autoportante compuesta por placas OSB y alfajías; 2. aislación hidrófuga y térmica; 3. anclajes y uniones; 4. aberturas; 5. estructura del sobre techo; 6. estructura de base H°A° y 7. instalación eléctrica.



**Figura 11.** Fuente: elaboración propia, 2023.

El coste total estimado del habitáculo proyectado para el año 2022 fue de 375.000 pesos argentinos, equivalente a un total de US\$ 2.900<sup>2</sup> (US\$ 320/m<sup>2</sup>). Al realizar una actualización de costos hasta junio de 2023, se obtiene un valor de 915.588 pesos argentinos, que corresponde a US\$3.400<sup>3</sup> dólares (US \$ 380/m<sup>2</sup>)

### **Dimensión eficiencia térmica-energética**

Uno de los aspectos morfológicos a evaluar es la compacidad y la eficiencia de la forma del edificio. Para hacerlo se utiliza el cálculo del Factor de Área Envolvente Piso (FAEP) y/o el factor de forma. En el caso del proyecto en estudio el valor de FAEP es de 4.33 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Es decir, el módulo presenta una superficie de envolvente que es igual a 4.33 veces la superficie de piso. Esta característica es importante ya que, en este caso, la forma facilita el intercambio de energía entre interior y exterior. La ineficiencia de la forma está asociada a que el módulo está diseñado para que en casos de emergencia puedan construirse la mayor cantidad posible con los materiales disponibles, por lo que el volumen interior está reducido a la mínima expresión, preponderando el área de envolvente. Asimismo, y por los mismos motivos, no presenta colindancia.

Del análisis de la resistencia y la conductancia térmica de la envolvente se desprende que los mayores intercambios energéticos entre interior y exterior serán a través de los elementos verticales opacos (38%), especialmente en las aberturas orientadas hacia el Sur, y a través del piso-fundaciones (29%). El Techo representa el 8% del intercambio total de energía. En la Tabla 1 se presentan los valores de resistencia y de conductancia térmica calculados para cada elemento.

**Tabla 1:** Valores de conductancias de los elementos arquitectónicos

Elemento Arquitectónico	Resistencia térmica m <sup>2</sup> .k/W	Conductancia térmica W/m <sup>2</sup> .K
Cubierta liviana	1.93	0.46
Tabiques OSB+5CM+OSM	1.17	0.71
Aberturas: carpintería de madera, Simple vidrio 4mm	-	3.7
Piso	0.086	2.23

<sup>2</sup> Datos a valor oficial de venta BNA \$132,30 (junio 2022). El valor del módulo a dolar blue es de US \$150.

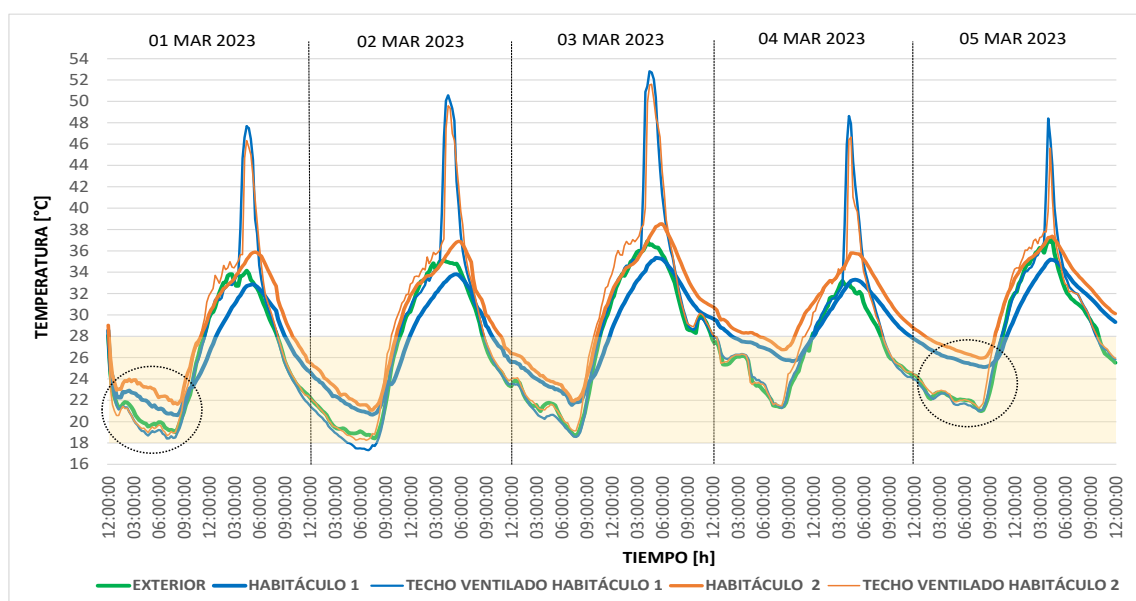
<sup>3</sup> Datos a valor oficial de venta BNA \$266 (junio 2023). El valor del módulo a dolar blue es de US \$494.

En la Tabla 2 se resumen los resultados obtenidos en el balance térmico y energético estacionario para el módulo.

**Tabla 2: Resultados obtenidos del balance energético**

Ítem del Balance	Resultados Obtenidos
CNP ( $W/^\circ C$ )	52.2
Pérdidas energéticas por Muros (%)	38%
Pérdidas energéticas por Techos (%)	8%
Pérdidas energéticas por aberturas Sur (%)	6%
Pérdidas energéticas por pisos (%)	29%
FAS (%)	8.4%
Calor auxiliar anual (base $21^\circ C$ ) Kwh/año	1587 kWh/año
Potencia Refrigeración (base $24^\circ C$ ) (Frigorías Hora o W)	569 frig./hora (662 W)
Factor G	$2.6 W/m^3 \cdot ^\circ C$

El Coeficiente neto de pérdidas (CNP), energía que se pierde por transferencia de calor es de  $52.2 W/^\circ C$ . En porcentajes, la pérdida por muros representa un 38%, seguidas por el piso en un 29%. Por otro lado, a la energía ahorrada por la utilización de la ganancia solar directa y la conservación, el Factor de ahorro solar (FAS) resulta de un 8.4%. Con estos datos, el cálculo anual del consumo de energía auxiliar para mantener el interior a  $21^\circ C$  durante el invierno asciende a 1587 kWh/año ( $176 kWh/año/m^2$ ). En comparación con el consumo promedio de energía en las viviendas en Mendoza, que es de aproximadamente  $300 kWh/año/m^2$  (Ganem, 2006), podemos observar que el prototipo se sitúa por debajo de dicho promedio. Para verano, con termostato base de  $24^\circ C$ , es necesario una potencia de 662W. En cuanto al factor G, donde considera las pérdidas y el CNP, da como resultado  $2.6 W/m^3 \cdot ^\circ C$ , valor inferior al límite máximo que establece la norma IRAM 11604, para el volumen y la zona climática.



**Figura 12. Mediciones comparativas de los módulos habitacionales 1 y 2.**

En cuanto a las mediciones *in situ* se decidió realizarlas en una primera etapa en el predio experimental del CCT-CONICET-Mendoza, antes de transferir los módulos a la comunidad. Se midieron en forma simultánea los dos habitáculos a los fines de comparar su comportamiento. Uno de los módulos funcionó como testigo (habitáculo 2) y al otro se le practicaron mejoras relacionadas con la protección a la radiación y la incorporación de aislamiento en el techo ventilado (habitáculo 1). La figura 12 presenta una selección de 5 días entre el 1 y el 5 de marzo de 2023. Se colocaron dos sensores en cada habitáculo, el primero suspendido en el interior y el segundo en el techo ventilado. Un quinto sensor registró la

temperatura exterior dentro del predio. En la Figura 12 se observa en verde la temperatura exterior, en azul la temperatura interior del habitáculo 1 y con el mismo color en una línea más fina la temperatura dentro del techo ventilado. Los mismos sensores se colocaron en el habitáculo 2 (caso testigo) en color naranja en la figura. Las temperaturas interiores en todos los casos superan las temperaturas de confort extendido, consideradas aceptables hasta los 28°C (Roaf y Nicol, 2017). No obstante, nótese que las temperaturas máximas interiores del habitáculo 1, con protección solar y aislamiento en el techo (en color azul en la figura 12) son aproximadamente 3°C inferiores respecto a las del habitáculo 2 o caso testigo (en color naranja en la figura 12). Asimismo, se practicó la estrategia de ventilación nocturna en forma controlada a los fines de poder valorar el impacto de esta estrategia en un módulo liviano. Se ventiló entre las 20hs y las 8hs la noche entre los días 1, 2 y 3 de marzo de 2023. Se identifica en la Figura 12 en un círculo punteado a la izquierda la disminución de las temperaturas interiores durante la noche para el caso de la madrugada del 1 de marzo. En este caso, en ambos habitáculos se aprecia un acercamiento a las temperaturas exteriores nocturnas, siendo el habitáculo 1 (en azul) el que presenta temperaturas inferiores y más cercanas a la temperatura exterior dada la mayor exposición de su envolvente. Las temperaturas interiores se encuentran en este caso entre 1 y 3°C por sobre la temperatura exterior.

Cuando se prescinde de dicha estrategia de ventilación nocturna, como es el caso de la madrugada del 5 de marzo, identificada con un círculo punteado a la derecha en la figura 12, las temperaturas de ambos habitáculos (líneas azul y naranja) se encuentran próximas entre sí y 4 a 6 °C por sobre la temperatura exterior nocturna. No obstante, la disminución de las temperaturas durante la noche, al no presentar masa térmica, la estrategia de ventilación nocturna resulta insuficiente para poder mantener las temperaturas interiores dentro de un rango de confort aceptable. Este desempeño es esperable en construcciones livianas y desmontables, como la que se presenta, con diferencias en las temperaturas interiores diarias en el orden de los 10°C.

## CONCLUSIONES Y PROSPECTIVAS

La vulnerabilidad habitacional de los sectores populares en situación de hacinamiento y precariedad quedó en evidencia con la pandemia del COVID-19. La presente investigación propone el desarrollo de un habitáculo de emergencia adaptado al clima de Mendoza de fácil construcción, económicamente eficiente y adaptable a diversas situaciones.

Luego de un meticuloso desarrollo proyectual en 3 etapas, se concluye en que el prototipo cumple con criterios de producción de bajo contenido tecnológico, rápido montaje, eficiencia energética y resistencia a las incumbencias climáticas. Las mediciones *in situ* demuestran que es posible el logro de condiciones de confort térmico aceptables y dentro de la zona de confort adaptativo la mayoría del día durante la época estival, pese a la falta de aislamiento y masa térmica en los materiales posibles de utilizar de acuerdo con los requerimientos económicos y de ensamblaje y traslado.

Si se incorpora una adecuada protección solar y se practica la estrategia de refrescamiento nocturno a través de la apertura de las aberturas, las temperaturas interiores son moderadas, siendo en todo momento inferiores a las condiciones exteriores. Por el contrario, si dichas estrategias no están presentes el módulo se sobrecalienta y las condiciones interiores agravan la situación climática exterior. Por los motivos expresados se concluye en que es fundamental el desarrollo meticuloso y la prueba en laboratorio de la tecnología a transferir, a los fines de asegurar el logro de las condiciones interiores esperadas. Asimismo, es de fundamental importancia que una vez que la tecnología está probada sea transferida en forma mediada, explicando su funcionamiento al habitante de manera de que su uso sea el previsto. De este último también dependerá el éxito de la transferencia y la apropiación del desarrollo por sus habitantes.

Como prospectiva se plantea continuar ajustando el prototipo y desarrollando alternativas que mejoren su comportamiento interior, incluso los días más cálidos del año, sin incrementar los costos y complejizar su armado. Por otro lado, se sigue estudiando la posibilidad de ampliación y transformación de habitáculo a vivienda permanente.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero y profundo agradecimiento al Arq. Jorge Mitchell por su invaluable contribución al proyecto que hoy se materializa con éxito. Su visión y liderazgo han sido fundamentales para lograr la financiación por parte del COFECYT. Asimismo, agradecemos el apoyo de los directivos del INAHE, Dras. Andrea Pattini y Erica Correa, quienes gestionaron los recursos necesarios para que el módulo habitacional de emergencia hoy sea una realidad.

## REFERENCIAS

- Balcomb J.D., Barley D., McFarland R., Perry J., Wray W., Noll S. 1982. "Passive Solar Design Handbook". Vol 1,2 y 3. United States Department of Energy. Estados Unidos de América.
- Ceballos Torres, María Camila. (2018). "Habitar Después de la Emergencia: Una propuesta constructiva y habitacional de vivienda transitoria para poblaciones afectadas por desastres naturales". Tesis de Grado en Arquitectura y Diseño. Facultad de Arquitectura y Diseño, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D. C.
- Ganem, Carolina (2006). "Rehabilitación ambiental de la envolvente de viviendas. El caso de Mendoza." Tesis Doctoral en Arquitectura. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España: ETSAB-UPC.
- González Chipont María E. y Palero Juan S. (2014). "Módulo habitacional moderno. Reconstrucción, refugio, vivienda mínima". Revista *ArquiSur*, año 4, número 6. Asociación de Escuelas y Facultades de Arquitectura Públicas de América del Sur. ISSN 2250-4206.
- Norma IRAM 11605: " Norma IRAM 11605: "Requisitos generales para la presentación de trabajos escritos". Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), Buenos Aires, Argentina, 1996.
- Roaf, Susan y Nicol, Fergus (2017) "Running buildings on natural energy: design thinking for a different future." *Architectural Science Review* 60(3):145-149.
- San Juan Gustavo, San Juan Graciano, Lenzi Francisco, Callegari Eugenia y Gandini Pablo. (2017). "Modulo Habitacional de Emergencia (MHE) para Sectores Sociales de Extrema Pobreza". Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), (FAU-UNLP). <http://www.iipacunlp.edu.ar/>
- Sarquis, Jorge (2007) "Itinerarios del proyecto. La investigación proyectual como forma de conocimiento en arquitectura". Buenos Aires: Ed. Nobuko.
- Viegas, G. M., Esparza, J. B., & San Juan, G. A. (2023). Evaluación térmica, lumínica y termográfica de una solución habitacional de madera en clima templado cálido para el hábitat popular. *Hábitat Sustentable*, 13(1), 84–95. <https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.07>
- Zingre, K. T., Wan, M. P., Wong, S. K., Toh, W. B. T., & Lee, I. Y. L. (2015). "Modelling of cool roof performance for double-skin roofs in tropical climate". *Energy*, 82, 813–826.

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF ADAPTIVE SHELTERS TO MITIGATE HOUSING VULNERABILITY IN EMERGENCY CONTEXTS

**ABSTRACT** This study arises from the Program Me for Federal Articulation and Strengthening of Science and Technology Capacities in the context of COVID-19, with the aim of addressing the housing vulnerability of popular sectors in a situation of overcrowding and precariousness due to the pandemic. An emergency shelter was developed to expand the space in precarious housing and improve the quality of life of the residents. The lack of adequate space in quantity and quality in these dwellings jeopardizes government measures in times of pandemic. The approach was based on creating an emergency shelter that is easy to build, economically efficient and adaptable to a variety of situations. The proposal was developed holistically, considering transversality to optimize results. The article addresses the design and construction of emergency shelters in three dimensions: Project-Functional-Structural, Economic and Thermal-Energy Efficiency. The prototype meets production criteria of low technological content, rapid assembly, energy efficiency and resistance to climatic conditions, for continental temperate climate as in the case of Mendoza. It is established that the shelters should serve in the first three stages

of emergency response, offering a rapid response and satisfying local biological, material and technical needs.

**Keywords:** emergency shelter, thermo-economic efficiency, timber construction.