

Estudio energético con coste óptimo para lograr un modelo de vivienda eficiente para el programa de crédito argentino en clima frío

María Emilia Vanoli ¹ | Eva Crespo Sánchez ² | José María González Barroso ³

Recibido: 08-02-2021 | Versión final: 05-07-2021

Resumen

El déficit habitacional en Argentina ha impulsado la construcción de viviendas unifamiliares de bajo coste y diseño ineficiente frente a las condiciones climáticas y de confort del usuario. El trabajo pretende mejorar el comportamiento ambiental de estas viviendas, el coste óptimo y calidad de vida de las personas. Se estudia cómo optimizar las estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental en un modelo de vivienda del Programa Crédito Argentino (PROCREAR), por medio de un diseño constructivo que reduce las demandas energéticas anuales de la vivienda. Se ha desarrollado una metodología que estudia la necesaria adaptación arquitectónica del modelo a las nuevas estrategias de diseño energético pasivo en un clima frío. Se han planteado propuestas para reducir la transmitancia térmica en la envolvente y la relación entre la superficie de oberturas y protecciones solares en función de la orientación, tomando como referencia los valores mínimos de eficiencia energética establecidos por la norma argentina. Posteriormente se analizan las ventajas de introducir materiales alternativos a los sistemas constructivos del modelo original, que en conjunto optimizan el comportamiento energético y reducen las emisiones de CO₂ en la vivienda. El análisis evidencia que, en el clima estudiado, la incorporación de estrategias pasivas en el diseño de los sistemas constructivos ayuda a alcanzar condiciones óptimas de ahorro energético y evitar sobrecostes. Estas ventajas se alcanzan mejorando el comportamiento de transmitancia térmica de la fachada, obteniendo una reducción del 50% en demanda de calefacción, mientras que considerando la incorporación de protecciones solares la demanda de refrigeración se reduce un 40%.

Palabras clave: Argentina; optimización energética; vivienda social; minimización de demanda

Citación

Vanoli, M.E. *et al.* (2021). Estudio energético con coste óptimo para lograr un modelo de vivienda eficiente para el programa de crédito argentino en clima frío. *ACE: Architecture, City and Environment*, 16(47), 9814. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.16.47.9814>

Energy analysis with optimal cost to achieve an efficient housing model for the Argentine credit program in cold weather

Abstract

The housing deficit in Argentina has driven the construction of low-cost single-family homes with an inefficient design against the climatic conditions and user comfort. The work aims to improve the environmental behavior of these homes, the optimal cost and the quality of life of people. It is studied how to optimize passive environmental conditioning strategies in a housing model of the Argentine Credit Program (PROCREAR), through a constructive design that reduces the annual energy demands of the house. A methodology has been developed to study the necessary architectural adaptation of the model to new passive energy design strategies in a cold climate. Proposals have been made to reduce the thermal transmittance in the envelope and the relationship between the surface of the openings and solar protections based on the orientation, taking as a reference the minimum energy efficiency values established by the Argentine standard. Subsequently, the advantages of introducing alternative materials to the construction systems of the original model are analyzed, and as a whole they optimize energy performance and reduce CO₂ emissions inside the house. The analysis shows that, in the studied climate, the incorporation of passive strategies in the design of construction systems makes it possible to achieve optimal energy saving conditions and to avoid cost overruns. These benefits are achieved by improving the thermal transmittance behavior of the façade, thus obtaining a 50% reduction in heating demand, and by considering the incorporation of solar protections, the cooling demand is reduced by 40%.

Keywords: Argentina; energy optimization; social housing; demand minimization

¹ Arquitecta, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina (ORCID: [0000-0003-0899-9931](https://orcid.org/0000-0003-0899-9931)), ² Dra. Arquitecta. Profesora Lectora Serra Hünter, Departamento de Tecnología de la Arquitectura, *Universitat Politècnica de Catalunya* (ORCID: [0000-0002-0132-6710](https://orcid.org/0000-0002-0132-6710); WoS ResearcherID: [Z-2224-2019](https://orcid.org/Z-2224-2019)), ³ Dr. Arquitecto. Profesor Titular, Departamento de Tecnología de la Arquitectura, *Universitat Politècnica de Catalunya* (ORCID: [0000-0001-6692-1919](https://orcid.org/0000-0001-6692-1919)). Correo de contacto: eva.crespo@upc.edu

1. Introducción

El déficit habitacional en Argentina es crítico, concretamente de 3,5 millones de viviendas, 2,2 millones son viviendas deficitarias y 1,3 millones exhiben algún nivel de hacinamiento. El hacinamiento es una de las maneras en que se manifiesta la falta de suelo urbano, es decir, con infraestructura y servicios básicos (Lanfranchi, 2019)¹.

En el año 2012, el gobierno nacional creó el programa de crédito argentino² que tiene por objetivo dar créditos para la construcción, compra o rehabilitación de hasta 400 mil viviendas, con el intento de empezar a solucionar el déficit habitacional existente en Argentina (Argentina.gob.ar, 2012). Está orientado a activar la construcción privada por parte de personas asalariadas, cuyos dos aspectos determinantes son el modelo de financiación, el cual prevé el otorgamiento de créditos para la construcción de viviendas populares (préstamo equivalente al precio de la obra al momento de inicio), y la disposición de un modelo prototipo de vivienda (levantar una arquitectura genérica con planos para la directa ejecución en obra).

Los prototipos de viviendas que brinda este programa están desarrollados bajo unos mismos modelos que se aplican en toda Argentina, con indiferencia de la zona climática y de los condicionantes del entorno, aspectos que deberían ser adaptados a las particularidades de cada municipio. El hecho de establecer un listado de modelos acotado para todo el país permite reducir los costos de diseño y construcción, pero lamentablemente esta homogenización y simplificación repercute en el confort ambiental y en el impacto energético de las viviendas. Concretamente, en ocasiones se aplica el prototipo base sin hacer adaptaciones técnicas según las especificidades del reglamento energético de cada municipio.

Este programa tuvo una buena acogida, de hecho, se pudo observar un aumento directo en el volumen de construcción de viviendas. Pero a los pocos años (2012), como el modelo de construcción convencional no evolucionó, esta dinámica fue reduciéndose año a año, porque era un modelo caro y lento.

Respecto a la eficiencia energética, en el 1993 se publicó la primera norma IRAM que regula el comportamiento térmico de los cerramientos, de manera específica para cada zona climática. A través de las normas IRAM³ se pretende reducir el consumo energético del edificio y a su vez garantizar el confort térmico de los usuarios.

Por otro lado, desde el 2005, la energía en Argentina está subsidiada, lo que provocó que se hiciera una mala praxis de su uso. El bajo impacto económico de la factura de suministros energéticos provocó un derroche energético y a su vez, un elevado coste social y ambiental. Precisamente a partir del 2010, el crecimiento descontrolado del consumo energético llegó a suponer un problema de incremento de gasto público para el gobierno ya que era el encargado de subsidiar las elevadas facturas energéticas.

Como consecuencia de esto, en el 2015, el gobierno empezó a reducir considerablemente los subsidios vinculados a los servicios de gas y de electricidad, derivando en un impacto directo en el

¹ Arq. Gabriel Lanfranchi, director (Cippec) Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento.

² PRO.CRE.AR (de sus siglas Programa de Crédito Argentino. Política pública federal que busca que las familias argentinas tengan la posibilidad de acceder a su casa propia a través de un crédito hipotecario accesible. Página Oficial; <https://www.argentina.gob.ar/>

³ IRAM, Instituto Argentino de Normalización y Certificación 1935. <http://www.iram.org.ar/>

presupuesto familiar de la clase media. Este hecho acrecentó los gastos y redujo la posibilidad de la sociedad de acceder al Programa Nacional de Crédito Argentino para la construcción de su vivienda.

Considerando lo anterior, se estimó oportuno desarrollar un estudio acotado sobre el comportamiento energético de uno de los modelos de vivienda diseñada para el programa PRO.CRE.AR ubicado en una zona climática fría como es el caso del municipio de Comodoro Rivadavia, en la República Argentina. El objetivo se centra en evaluar: a nivel prestacional, cuáles son los parámetros más determinantes a la hora de minimizar las demandas energéticas y, a nivel prescriptivo, en valorar una alternativa al sistema constructivo convencional (obra húmeda, de materiales tradicionales, ladrillo, cemento y arena). La reflexión sobre el sistema constructivo tiene como finalidad plantear aspectos que permitan agilizar los procesos y tiempos de construcción y, a su vez, aumentar las garantías de calidad de la construcción para alcanzar prestaciones tanto energéticas, como económicas y de confort de las personas.

La metodología seguida en el estudio se inicia con una descripción de la zona climática y del modelo (características activas y pasivas) para seguir con una evaluación energética del modelo base y de la propuesta de mejora (contemplando valores técnicos de la norma argentina IRAM, y otros estándares de energía tipo Passivhaus). Este estudio se ha realizado con el soporte de la herramienta de certificación energética homologada en España con el nombre de HULC (Herramienta unificada LIDER-CALENER), En base a las conclusiones de los resultados obtenidos, se consideró oportuno evaluar el impacto energético para soluciones constructivas con diferente capacidad calorífica, es decir, una solución de alta inercia térmica (modelos PRO.CRE.AR actual) y una de baja inercia térmica (propuesta de mejora planteada en el estudio).

2. Descripción del estado inicial

2.1 *Clima frío (Zona V) de Argentina*

Para mostrar la incoherencia de emplazar un modelo PRO.CRE.AR en cualquier régimen climático de Argentina, se ha hecho el análisis del comportamiento energético de un modelo concreto en una zona climática fría. (Zona bioambiental V, IRAM 11603, 2011).

Esta zona climática representa el 11,80% del territorio argentino, y comprende la extensa faja a lo largo de la Cordillera de los Andes y la región central de la Patagonia. Las normas IRAM centran los requerimientos de comportamiento energético en la demanda de calefacción, recomendando una priorización del asoleamiento durante todo el año. (IRAM 11605, pág. 6, 1996⁴ e IRAM 11603, pág. 26, 2011⁵)

Para poder evaluar el comportamiento energético del modelo PRO.CRE.AR en la zona bioambiental V, se ha utilizado el HULC. Herramienta que ya ha sido tomada como referente en países como Chile para en el desarrollo de sus sistemas de certificación oficial.

El uso del HULC versión XX, ha requerido la extrapolación de la zona climática bioambiental V argentina a una zona climática española, para poder homologar la base de datos climática que utiliza el programa. Para esta finalidad se han comparado temperaturas mínimas, máximas y precipitaciones anuales, a partir de los datos de la clasificación climática koppen geiger (es.climate-data.org, 2017),

⁴ (IRAM 11605); Valores máximos de transmitancias térmicas en cerramientos opacos.

⁵ (IRAM 11603); Recomendaciones generales sobre diseño, Anexo "C" Informativo.

estimando que el homólogo climático de la ciudad argentina de Comodoro Rivadavia (Zona climática V Frío), a nivel español, es Zaragoza (D3) (Tabla 1) con un clima estepa local BSk semiárido frío.

Tabla 1. Datos climáticos de Comodoro Rivadavia y Zaragoza

Lugar	Clima	T mín. °C	T máx. °C	Pluviometría (mm)
Comodoro Rivadavia (Z. V)	BSk Semiárido frío	3,00	27,80	290
Zaragoza (D3)	BSk Semiárido frío	3,10	30,00	340

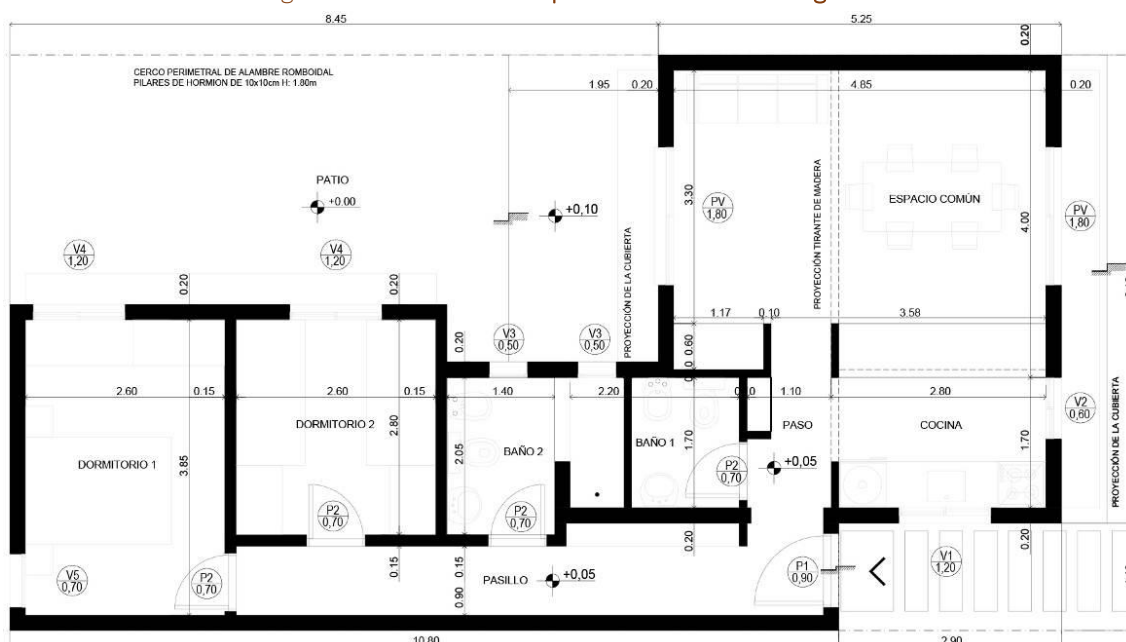
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la página de es.climate-data.org.

2.2 Punto de partida. Modelo PRO.CRE.AR

Para este estudio se ha seleccionado, del programa PRO.CRE.AR, una tipología de vivienda desarrollada en una planta (estar/comedor, dos dormitorios, baño completo, aseo y cocina) con una superficie útil habitable de 62,00 m²; que es el modelo más replicado por su base morfológica y de superficie. Cabe destacar que este modelo tiene un elevado valor de factor de forma, equivalente a 0,86⁶, (Figura 1) valor considerado desfavorable para climatologías frías.

Por otra parte, cabe mencionar que actualmente la información técnica que se proporciona a los usuarios en el marco de estos modelos de vivienda, no contempla ayudas orientativas sobre cómo implantar de manera adecuada el edificio según el emplazamiento y orientación disponible, aspecto que puede llevar a empeorar aún más el comportamiento energético de la misma. Por este motivo, el estudio evalúa el impacto de este aspecto, con la intención de que se pudiera aplicar en el pliego de uso las condicionantes energéticas junto con otros datos que se listaran en la fase de desarrollo de este estudio.

Figura 1. Modelo utilizado para la evaluación energética

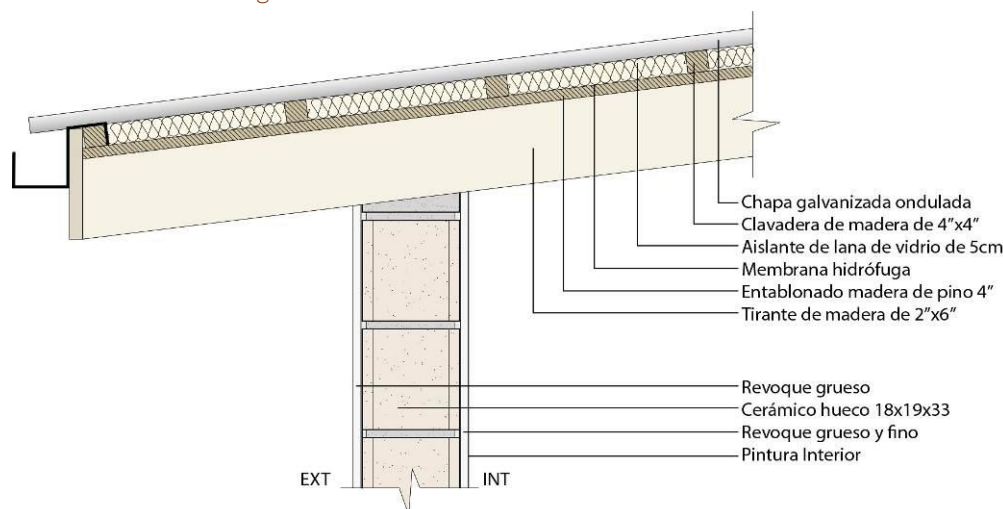


Fuente: Planta 1:100 del Modelo tomado de la página oficial del programa de crédito argentino PRO.CRE.AR.

⁶ Donde el factor forma es la superficie de envolvente dividido entre el volumen habitable (146,50 m²/170 m³).

En la Figura 2 se reflejan las soluciones constructivas del modelo PRO.CRE.AR. Se observa que la fachada se compone de una única hoja de ladrillo cerámico hueco con revoco a ambos lados y la cubierta de una capa tipo sándwich de tirantes de madera, con aislamiento y acabado de chapa de acero, mientras que los huecos se componen de ventanas con vidrio simple y marco de aluminio sin protecciones solares.

Figura 2. Soluciones constructivas modelo inicial



Fuente: Elaboración propia. Datos del Modelo de la página oficial del programa de crédito argentino PRO.CRE.AR.

Analizando el comportamiento térmico de las diferentes soluciones constructivas, se detecta que los valores de transmitancia térmica (U) del modelo PRO.CRE.AR no cumplen con los valores establecidos por la Normativa Argentina (IRAM 11605, 1996) para esta zona y clima.

La norma argentina tiene tres niveles de transmitancias térmicas: Nivel C que se centra en garantizar que no se produzcan condensación superficial en los paños centrales de fachadas y cubiertas, Nivel B (recomendado) presenta mejoras respecto al nivel C, y sus valores se encuentra relativamente próximos a los del CTE 2013, y el Nivel A (nivel de confort elevado) cuyos valores prestacionales a nivel energético son más elevados y costosos, dando un salto cualitativo respecto a los valores del Nivel B.

En la Tabla 2 se observa que el modelo PRO.CRE.AR para clima frío, solo cumple el nivel C de la norma IRAM es decir aspectos de protección frente a la humedad, no de comportamiento energético en la cubierta y solera, mientras se aprecia también que los valores del nivel C no se cumplen en la fachada y las ventanas.

Tabla 2. Transmitancias térmicas del modelo inicial. U (w/m²K)

	U máx. IRAM Nivel A	U máx. IRAM Nivel B	U máx. IRAM Nivel C	MODELO PRO.CRE.AR	U máx. CTE 2013 (Esp.) D3	Cumplimiento de IRAM B
Fachada	0,30	0,81	1,41	1,55	0,66	No Cumple
Cubierta	0,25	0,68	1,00	0,53	0,38	Cumple
Solera	*	*	*	1,12	0,49	Cumple
Ventana	2,00	3,00	≤ 4,00	5,70	2,70	No Cumple

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las normas IRAM 11603 y 11605 y DBH1 zona climática D3.

* Nota: A pesar que la normativa recomienda la incorporación de un aislamiento térmico en la solera no especifica un nivel de U máxima.

Respecto a las instalaciones, el modelo inicial plantea como sistema activo para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) y para calentar, una caldera a gas natural con un rendimiento del 72,5%. Este dato se ha utilizado con el objetivo de poder evaluar el impacto en emisiones de CO₂ vinculados a los valores de demanda energética que se vayan dando en los diferentes casos propuestos a lo largo del estudio.

3. Evaluación energética

3.1 Modelo PRO.CRE.AR base

El objetivo principal de este estudio consiste en minimizar la demanda energética, centrando los esfuerzos en potenciar las ganancias de calor (como la entrada de radiación solar) y disminuir las pérdidas de calor (transmitancia térmica) en el modelo PRO.CRE.AR base (en adelante llamado modelo base para el estudio). Respecto al verano, potenciar los esfuerzos en disminuir las ganancias de calor por radiación solar introduciendo protecciones solares.

La Tabla 3 muestra los valores resultantes del modelo base a nivel de demandas (calefacción y refrigeración), consumo energético y emisiones de CO₂, según la evaluación en el HULC para orientación norte y sur. Esta baja diferencia de mejora energética según orientación pone en evidencia que el diseño de base tiene serias carencias.

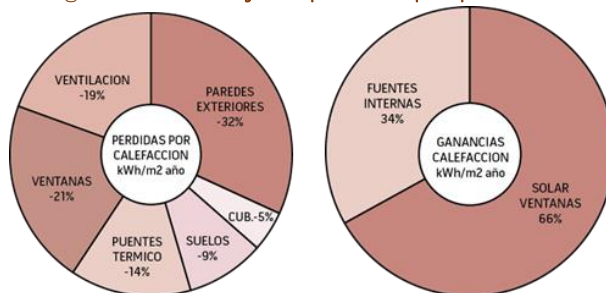
Tabla 3. Demandas (D) y consumo (EPnr) en orientación Norte

Orientación	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂
NORTE	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
SUR	182,34 F	22,41 D	385,02 E	80,61 E

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las normas IRAM 11605 y DB CTE-H1 zona climática D3.

En base a estos valores se ha considerado oportuno utilizar como caso de estudio un modelo PRO.CRE.AR orientado al norte, (en el hemisferio Sur, corresponde a la orientación con mayor aportación solar), que es lo que recomienda la norma argentina IRAM 11603, lo cual permitirá optimizar las soluciones propuestas para una zona climática fría. A partir de los resultados desgranados del programa de certificación HULC, se detectan las principales debilidades del modelo base en la orientación norte para régimen de invierno. Donde se puede observar que los parámetros que necesitan una mejora por orden de prioridad son: paredes exteriores (fachadas) 32%, aberturas 21%, ventilación 19%, puentes térmicos 14%, suelos 9% y cubierta 5%. Por otro lado, para el régimen de verano el parámetro que requiere una mejora es la incidencia de radiación solar a través de las ventanas 66% (Figura 3).

Figura 3. Porcentaje de pérdidas por parámetro



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del HULC.

3.2 Evaluación de las propuestas de mejora

Para aquellos parámetros que en la evaluación del modelo base con HULC presentaron debilidades, se han evaluado distintas propuestas de mejoras, con el objetivo de obtener una propuesta óptima a nivel energético y económico.

– Mejora 1. Fachada

Se ha evaluado el valor de transmitancia térmica (U) para fachada que representa un coste óptimo en modelo base para un clima frío. El punto de partida es que el modelo base no dispone de aislamiento térmico, lo cual equivale a un espesor de 0 cm.

Como metodología, se ha analizado un amplio rango de valores para determinar en qué punto cambia la curva del comportamiento térmico. Como se observa en la Tabla 4, se parte del espesor mínimo comercial⁷ (4 cm) que cumple con el nivel B hasta alcanzar el valor máximo comercial (14cm) sin tener que implantar dos capas de aislamiento. Cabe destacar que la norma IRAM establece un rango de valores de U entre 0,32 y 0,69 W/m²K, que equivale a espesores de aislamiento térmico de entre 8 y 12 cm.

Tabla 4. Transmitancias térmicas U con distintos espesores de aislamiento para fachada

Espesor	0 cm	4cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	14 cm
"U" (W/m ² K)	1,55	0,52	0,39	0,31	0,26	0,22	0,19

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la simulación energética se ha considerado que el aislamiento se implante en la cara exterior de la fachada, a partir de un sistema de aislamiento térmico por el exterior con el que se garantiza la minimización de los puentes térmicos, así como la introducción de una barrera de vapor que evita condensaciones superficiales e intersticiales, típica en climas fríos. La Figura 4 muestra el compartimento de las demandas energéticas, tanto de calefacción y refrigeración para los diferentes espesores analizados.

Figura 4. Demandas de calefacción y refrigeración (kWh/m²año) y ahorro energético (%)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Rojo = Demanda de Calefacción. Azul = Demanda de Refrigeración.

A partir de los datos obtenidos, se ha evaluado la amortización de la inversión de implantación de aislamiento (coste de material más el de ejecución), considerando el ahorro económico de la factura

⁷ Sistema ETICS. <http://www.argentina.generadordeprecios.info/>

energética. Para este dato se ha estimado que no hay un incremento en el precio de la factura energética, que sería el caso más desfavorable.

En relación a los precios de la energía, cabe contextualizar que en esta zona el gas es bastante económico respecto a otras zonas del país (está subsidiado y con menos costos de transporte), cuyo precio es de 2,736 \$/m³ (Camuzzi)⁸ y equivale a 0,068 €/m³. Un valor muy inferior (87,33%⁹) a otros países, como por ejemplo España, cuyo precio es 0,537 €/m³¹⁰. Por lo que respecta a la electricidad, en Argentina, el precio es de 2,90 \$/kWh (Scpl.coop)¹¹, equivalente a 0,073 €/ kWh, lo que corresponde a 43,85% menos que en España (0,13 €/ kWh).

A pesar de que para el espesor de 4cm los porcentajes de ahorro energético en régimen de invierno son más determinantes, se observa que a partir de 8cm (espesor que coincide con el valor normativo), la reducción anual se estabiliza en 1,50% por cada 2cm de aislamiento sumado. Como se muestra en la Tabla 5, y teniendo en cuenta que el gasto anual de la vivienda se calcula en 569 euros (\$22.798,00 pesos argentinos), la inversión se puede amortizar en 7 años, alcanzando ahorros en función del aislamiento que van entorno a los 150€.

Tabla 5. Amortización de un ETICs en la fachada.

Espesor de material aislante fachada	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Material Aislante ¹² (\$/m ²)	\$ 300,65	\$ 448,13	\$ 595,62	\$ 743,11	\$ 890,58	\$ 1.022,95
Inversión de aislamiento en fachada (material) (\$)	24.653,3	36.746,7	48.840,8	60.935,0	73.027,6	83.881,9
Ahorro Demanda anual (%)	23,64%	26,93%	29,12%	30,71%	31,89%	32,78%
Ahorro en pesos argentinos (\$)	5.389,45	6.139,50	6.638,78	7.001,27	7.270,28	7.473,18
Ahorro en euros (€)	134,74 €	153,49 €	165,97 €	175,03 €	181,76 €	186,83 €
Amortización de inversión (años)	4	5	7	9	10	11

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se observa que hasta 6cm de espesor de material aislante el valor de amortización corresponde a 1 año por cada 2cm, con 8cm el valor de la amortización sube a 2 años cada 2cm, y a partir de aquí el valor de la amortización vuelve a 1 año por cada 2cm de material aislante incorporado.

Una vez establecido que la estrategia más favorable es utilizar un material con espesor de 8cm, se ha considerado imprescindible comprobar las condensaciones superficiales e intersticiales a través del método de verificación establecido por la norma argentina. Se obtiene la temperatura de rocío para el aire a 20°C con una humedad relativa del 58%. Como la temperatura de rocío (14,85°C) es menor que la temperatura superficial interior (18,97°C) no existe condensación superficial, y en los puntos ubicados en el interior del muro, la temperatura es siempre mayor que la temperatura de rocío, por lo que no existen condensaciones intersticiales (IRAM 11625).

La Tabla 6 resume los valores energéticos finales de demandas, consumo y emisiones de CO₂ en relación con el porcentaje de ahorro respecto a la norma argentina, detallando la letra de calificación energética resultante según los datos extraídos del HULC.

⁸ Tarifa de marzo 2018 de Camuzzi Gas del Sur, distribuidora de gas natural. Pesos argentinos (\$) por m³ de gas natural.

⁹ Conversión evaluada en agosto de 2018 según el banco Nación argentino, cotización de divisas \$40=1 €.

¹⁰ Precios gas. Comparativa de precios de energía. <https://preciogas.com/comparador/precios-energias>.

¹¹ Tarifa de 2018 de la Sociedad Cooperativa Popular Limitada de Comodoro Rivadavia

¹² Precios de material, GYPE; Argentina. 2018

Tabla 6. Demandas, consumo y ahorros en % obtenidos con espesor de 8cm en fachada

Nueva U Fachada	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ (kWh/m ² año)
BASE	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
0,31 W/m ² K (8cm) M1*	123,97 E	22,94 D	290,62 E	60,59 E
Ahorro	29,12 %	8,64 %	22,52 %	22,71 %

Fuente: Elaboración propia.

*Nota: M1 Mejora 1 Fachadas.

Se observa que, esta mejora de transmitancia térmica en fachada con la implantación de material aislante, permite obtener ahorros del 29,12% en la demanda de calefacción y del 22,71% en las emisiones de CO₂.

– Mejora 2. Cubierta

En referencia a la cubierta, la norma argentina (IRAM 11603, 2011) recomienda una transmitancia térmica de entre 0,20 y 0,58 W/m².K lo que significaría un aislamiento de 5 a 8 cm de espesor, y a su vez que el aislamiento en la cubierta sea como mínimo 1,5 o 2 veces el espesor del aislamiento en fachada.

En el modelo base, la cubierta es el elemento de la envolvente con menor impacto energético (5%). El modelo base tiene 5cm de espesor de aislamiento en dicho elemento, lo que corresponde a una U=0,55 W/m².K y que se encuentra dentro de los valores aceptados por la norma. De todas formas, de cara a la propuesta de mejora y partiendo de las conclusiones del apartado anterior, se ha considerado razonable evaluar energéticamente y económicamente los espesores de aislamiento de 12cm (equivalente a 1,5 veces los 8cm y con U=0,24 W/m².K) y 16cm (2 veces los 8cm, U=0,18 W/m².K) y determinar si su colocación es rentable.

En la Tabla 7, se observa que el aumento de espesor de aislamiento en la cubierta, sumado al de fachada, comporta una reducción de la demanda de calefacción de más del 35% y superior al 15% en la demanda de refrigeración. Respecto a las emisiones de CO₂ se obtiene un ahorro del valor absoluto superior al 27%. Si se analiza parcialmente lo que representa la mejora de aislamiento de la cubierta, el valor es bajo, del 6 a 9% aproximadamente para las demandas de calefacción y refrigeración y del 5 a 6% para emisiones de CO₂ para los dos espesores evaluados.

Tabla 7. Demandas, consumo y ahorros en % obtenidos con espesor de 12cm y 16cm en cubierta

Cubierta	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ (kWh/m ² año)
BASE	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
M1	123,97 E	22,94 D	290,62 E	60,59 E
0,24 W/m ² .K* (M2)	113,29 E	20,96 D	271,41 E	56,61 E
Ahorro cubierta	6,11 %	7,89 %	5,12 %	5,08 %
Ahorro* (12cm)	35,23 %	16,53 %	27,64 %	27,78 %
0,18 W/m ² .K* (M2)	111,17 D	20,66 D	267,87 E	55,87 E
Ahorro cubierta	7,32 %	9,08 %	6,07 %	6,02 %
Ahorro* (16cm)	36,44 %	17,72 %	28,59 %	28,73 %

Fuente: Elaboración propia.

*Nota: Corresponde a la suma de valores energéticos obtenidos en la mejora de fachada y cubierta 12cm y 16cm.

Se ha evaluado la inversión de implantación de aislamiento (coste de material más el de ejecución) y la amortización económica de las dos soluciones. Como se muestra en la Tabla 8, considerando que no hay incremento en el precio de la energía al igual que el caso de fachada, se obtiene que la diferencia de amortización entre propuestas es de 2 años, 9 años para los 12cm de espesor y 11 años para los 16cm.

Tabla 8. Amortización del material aislante en Cubierta

Esesor de material aislante Cubierta (62 m ²)	12cm	16cm
Material Aislante ¹³ (\$/m ²)	\$ 332,24	\$ 652,61
Inversión de material aislante en cubierta (\$)	\$ 20.598,88	\$ 40.461,82
Inversión total de material aislante (Fachada + Cubierta)	\$ 69.439,72	\$ 89.302,66
Ahorro demanda de energía anual (%), Gasto anual = 22.798,00 (\$ pesos argentinos)	35,23 %	35,44 %
Amortización de inversión de Años (fachada + cubierta)	9	11

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede observar, la inversión inicial representa el doble en el caso de 16cm de espesor respecto al de 12cm. Por este motivo se ha considerado que la opción de aislamiento más adecuada para el nivel económico argentino sería el de 12cm de espesor con ahorros del 6,11 % en demanda de calefacción y del 5,08 % en emisiones de CO₂.

– Mejora 3. Solera

En el modelo base, la solera es un elemento de la envolvente con poco impacto energético (9%) esto es debido a que los saltos térmicos que se producen son menores al estar en contacto con el terreno. De todas formas, se ha considerado razonable la implantación de aislamiento térmico, con un espesor de 4cm correspondiente al valor mínimo comercial¹⁴, considerando la normativa argentina (IRAM 11604, 2004) para este clima.

La Tabla 9, muestra que el impacto que representa la implantación de aislamiento térmico en la solera (mejora 3, M3) es mínima en consumo de energía primaria (EP) no renovable (0,35%) y CO₂ (0,65%) respecto al comportamiento de la mejora 2 (M2). A diferencia de la demanda de calefacción que comporta una reducción del 6,97% y la demanda de refrigeración en la cual se observa un aumento del 7,73%.

Tabla 9. Demandas, consumo y ahorros en % obtenidos con espesor de 4cm en solera

Solera	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ (kWh/m ² año)
BASE	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
M 2	113,29 E	20,94 D	271,41 E	56,61 E
0,51 W/m ² K (M3)	111,78 E	22,90 D	270,10 E	56,10 E
Ahorro solera	6,97 %	- 7,73 %	0,35 %	0,65 %
Ahorro Total*	36,09 %	8,80 %	27,99 %	28,43 %

Fuente: Elaboración propia.

*Nota: Corresponde a la suma de los valores energéticos obtenidos en la mejora de fachada, cubierta y solera.

¹³ Precios de material, CYPE; Argentina 2018.

¹⁴ Generador de precios CYPE, Argentina 2018. Aislamiento térmico horizontal de soleras en contacto con el terreno, XPS.

A partir de los datos obtenidos, se ha evaluado la amortización económica del material aislante utilizado en la solera, considerando el caso más desfavorable, contando que no se incremente el precio de la energía; a la que se le sumará la inversión de fachada y cubierta. Se observa (Tabla 10), que la inversión de aplicar el material aislante (coste de material más el de ejecución) en ambos parámetros se amortiza en 10 años, aumentando solo en 1 año el valor de la amortización anterior.

Tabla 10. Amortización del material aislante en Solera

Espesor de material aislante Solera (62 m ²)	4cm
Material Aislante ¹⁵ (\$/m ²)	\$ 133,45
Inversión de material aislante en solera (\$)	\$ 8.273,74
Inversión total de material aislante (Fachada + Cubierta + Solera)	\$ 77.713,62
Ahorro demanda de energía anual (%), teniendo en cuenta el Gasto anual = 22.798,00 (\$ pesos argentinos)	36,09 %
Amortización de inversión de Años (Fachada + Cubierta + Solera)	10

Fuente: Elaboración propia.

Pese al poco ahorro energético a nivel de EP no renovable y al aumento en la demanda de refrigeración, se ha decidido considerar la aplicación del aislamiento dentro de la solera para continuar con el estudio, ya que además de que lo recomienda la normativa y la inversión inicial solo son 100 euros (8.273,74 pesos), incrementando el valor de la amortización en un año, ayuda a minimizar las temperaturas superficiales del pavimento aumentando las prestaciones de confort de los usuarios.

– Mejora 4. Aberturas

Las ventanas, por norma, deben estar en la categoría K5 a K1 de aislamiento (IRAM 11507-4, 2010). Concretamente para el clima frío se recomienda la categoría K4, que es la que comprende los valores de transmitancia térmica entre 2,0 W/m²K y 3,0 W/m²K.

Por lo que comporta a la superficie de los huecos se ha mantenido la ubicación de la propuesta inicial, pero modificando ligeramente las dimensiones en función de la orientación. La norma IRAM 11603 para la zona bioambiental V fría, recomienda las aberturas de grandes dimensiones en las orientaciones de mayor radiación solar (norte), y que sean lo más reducidas en las demás orientaciones para evitar pérdidas de calor.

Por otro lado, se ha mantenido la proporción entre hueco y opaco, variado el porcentaje de hueco según la orientación. Con este análisis, se ha observado que el cómputo de la superficie vidriada ha supuesto tan sólo un aumento total de un 2,5% respecto al modelo base (Tabla 11).

Tabla 11. Proporción de superficie vidriada

Orientación	Inicial	Final
Norte	52,25%	66,75%
Sur/Este/Oeste	45,75%	33,21%
Aumento	↑ 2,50%	

Fuente: Elaboración propia.

Las superficies vidriadas más grandes se darán al norte, orientación con mayor aportación solar. En las demás orientaciones se colocan aberturas de menores dimensiones, para de esta forma reducir

¹⁵ Precios de material, CYPE; Argentina 2018.

la cantidad de pérdidas de energía, con una ventana que tiene una parte de vidrio fijo y una parte de la ventana abatible. Se propone un cambio prestacional de todas las ventanas del modelo base, pasando de carpinterías con marco de aluminio sin rotura de puente termico y vidrio monolítico (Tabla 12) a carpinterías de marco de aluminio con rotura de puente térmico y con vidrio de baja emisividad.

Tabla 12. Parámetros prestacionales

Parámetros	Inicial	Final
Uw (W/m ² K)	5,70	1,76
Uf	5,70	3,20
Ug	5,70	1,60
g	0,85	0,66
Permeabilidad al aire (m ³ /hm ² Pa)	50	27

Fuente: Elaboración propia. Donde, Uw = Transmitancia térmica de la ventana.
Uf = Transmitancia térmica del marco.
Ug = Transmitancia térmica del vidrio.

En la Tabla 13 se muestra la comparativa de comportamiento energético, emisiones de CO₂ y certificación energética, junto con los porcentajes de mejora respecto el modelo base. La propuesta de mejora de las aberturas supone un salto en la certificación energética de E a D a nivel de demanda de calefacción, consumo de EP no renovable y emisiones de CO₂ y de D a C en demanda de refrigeración.

Tabla 13. Demandas, consumo, emisiones de CO₂ y ahorros obtenidos con el cambio de aberturas

Aberturas	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ (kWh/m ² año)
BASE	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
M3	111,78 E	22,90 D	270,10 E	56,10 E
1,76 W/m ² K (M4)	74,92 D	19,29 C	205,50 D	42,72 D
Ahorro	21,07 %	14,38 %	17,22 %	17,07 %
Ahorro Total*	57,17 %	23,18 %	45,21 %	45,50 %

Fuente: Elaboración.

*Nota: El % de ahorro total es la suma de valores de mejora de fachada, solera y aberturas.

En función de los datos obtenidos, se ha evaluado la inversión y la amortización económica de los cambios realizados en las aberturas, considerando que no se incrementa el precio de la energía. Se observa en la tabla 14, que sumando el cambio de aberturas a los mencionados hasta el momento (fachada, cubierta, solera y aberturas) la inversión se amortiza en 13 años, por lo cual, la mejora de las prestaciones de las ventanas aumenta en 3 años el valor de amortización anterior.

Tabla 14. Amortización del cambio de aberturas

Cambio de aberturas	
Inversión en carpinterías* (\$=Pesos argentinos)	\$ 44.953,37
Inversión total (Fachada + Cubierta + Solera + Aberturas)	\$ 122.666,99
Ahorro demanda de energía anual (%), teniendo en cuenta el Gasto anual = 22.798,00 (\$ pesos argentinos)	57,17 %
Amortización de inversión (años) (Fachada + Cubierta + Solera + Aberturas)	13

Fuente: Elaboración propia.

*Nota: Inversión en carpinterías, datos obtenidos del Cype, generador de precios argentina año 2018.

– Mejora 5. Protecciones solares

En este campo se ha evaluado dos sistemas de protección solar:

Opción 1, corresponde a persianas enrollables de PVC implantadas por el exterior tipo monoblock (sin puente térmico en el cajón de persiana situado también por el exterior), con accionamiento manual con cinta y recogedor, evitando los elementos ajenos al volumen para impedir que arrojen sombras sobre éste. Las persianas han sido representadas en el HULC a través de un valor de g de 0,50 para verano (de diciembre a marzo, ambos inclusive).

Opción 2, corresponde a cortinas enrollables tipo *Screen* situadas por el exterior de accionamiento manual a las que se les ha considerado una g de 0,30.

En la Tabla 15 se observa que la reducción de demanda de refrigeración es superior al 25% en las dos opciones (g 0,50 ahorro 27%; g 0,30 ahorro 36%), ligeramente mayor es el ahorro en el caso del *Screen*, y ambos suponen un salto en la certificación energética de C a B a nivel de demanda de refrigeración.

Tabla 15. Demandas, consumo CO₂ y ahorros en % obtenidos aplicando protecciones solares

Protección solar	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ (kWh/m ² año)
BASE	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
1,76 W/m ² K (M4)	74,92 D	19,29 C	205,50 D	42,72 D
Persiana PVC (g0,50)	74,93 D	12,50 B	198,79 D	41,58 D
Ahorro	- 0,01 %	27,04 %	1,79 %	1,45 %
Ahorro Total* (M5)	57,16 %	50,22 %	47,00 %	46,96 %
Screen (g0,30)	74,96 D	10,23 B	196,71 D	41,23 D
Ahorro	- 0,02 %	36,08 %	2,34 %	1,90 %
Ahorro Total* (M5)	57,14 %	59,26 %	47,56 %	47,40 %

Fuente: Elaboración propia.

*Nota: El % ahorro total, suma de los ahorros obtenidos en fachada, cubierta, solera, aberturas y protecciones.

El *Screen* por su condición, permite estar totalmente bajo en verano durante las horas de incidencia solar, haciendo de filtro solar pero no visual, cosa que no sucede con la persiana. Por este motivo, el valor del factor solar optado en la evaluación ha sido superior para la persiana enrollable, y se ha considerado que para no dejar a oscuras la vivienda no se llega a aplicar en su totalidad. En la Tabla 16, se muestra la comparación en el coste de inversión a nivel producto de las dos estrategias evaluadas en el programa, en el cual el *Screen* dio 9,04% más de ahorro en demanda de refrigeración con casi el doble de inversión (\$16.000) que la persiana de PVC (\$8.700).

Tabla 16. Coste de inversión de la aplicación de protecciones solares, Persianas de PVC y Screen

Aplicación de protecciones solares	Persiana PVC	Screen
Inversión en protecciones solares (\$)	\$ 8.730,12	\$ 16.004,05
Inversión total (Fachada + Cubierta + Solera + Carpinterías + Protecciones solares)	\$ 131.397,11	\$ 138.671,04
Porcentaje de ahorro demanda de refrigeración	50,22 %	59,26 %
Diferencia del porcentaje		+ 9,04 %

Fuente: Elaboración propia.

*Nota: Inversión en carpinterías, dato obtenidos del Cype, generador de precios argentina año 2018.

A pesar de que la inversión de un *Screen* es prácticamente el doble que la de una persiana enrollable, es un valor bajo respecto las inversiones de prestaciones de transmitancia térmica de la fachada, del orden de un 10-20%. Esta razón, sumada a que el *Screen* garantiza que mientras está activado no se elimina las visuales desde el interior de la casa, hace que se haya considerado determinante la aplicación de este en la propuesta de mejora óptima en lugar de la persiana enrollable.

3.3 Conclusiones preliminares

Una vez evaluado el modelo base y las propuestas de mejora, las tablas 17 y 18 comparan el comportamiento de transmitancia térmica y de energía entre el modelo base y la propuesta óptima (M5).

Tabla 17. Comparación de transmitancias térmicas

Parámetro	Fachada	Cubierta	Solera	Abertura
U modelo BASE	1,55 W/m ² K	0,53 W/m ² K	1,12 W/m ² K	5,70 W/m ² K
U óptima	0,31 W/m ² K	0,24 W/m ² K	0,51 W/m ² K	1,76 W/m ² K

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Resumen de las demandas y ahorros

Modelo	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ (kWh/m ² año)
BASE	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
PROPUESTA OPTIMA (M5)	74,96 D	10,23 B	196,71 D	41,23 D
Ahorro Total*	57,14 %	59,26 %	47,56 %	47,40 %

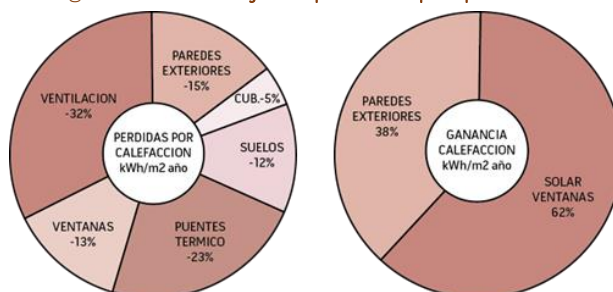
Fuente: Elaboración propia.

*Nota: Resumen de los datos obtenidos hasta el momento.

Con respecto a las demandas energéticas, los ahorros obtenidos fueron superiores al 57% en demandas de calefacción obteniendo una D en la certificación energética, en demanda de refrigeración ahorros del 60% y certificación energética B. En cambio, a niveles de energía primaria (EP) no renovables y de emisiones de CO₂, los valores de ahorro fueron superiores al 47% pero con certificación energética de D, lo que se debe a que en la vivienda penaliza calefacción, refrigeración y ACS.

En la Figura 5 se muestran desgranados los resultados del programa de certificación HULC, se obtienen los parámetros que más repercusión tienen hasta ahora en la propuesta óptima.

Figura 5. Porcentaje de pérdidas por parámetro



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del HULC.

Para régimen de invierno, por orden de prioridad los resultados son, ventilación 32%, puentes térmicos 23%, paredes exteriores (fachadas) 15%, aberturas 13%, suelos 12% y cubierta 5%. Para el régimen de verano son: la incidencia de radiación solar a través de las ventanas 62%.

El beneficio de reducción de la conductividad térmica de la envolvente (57,14%) no es sólo ambiental sino a nivel de confort en el usuario, minimizando el salto térmico entre temperatura superficial de paramentos y temperatura del aire seco.

4. Tercera etapa: Propuesta de mejoras prestacionales

4.1 *Misma transmitancia térmica, diferente solución constructiva*

Una vez obtenidos los valores óptimos de transmitancia térmica, se pasa a evaluar la afectación energética entre una solución constructiva húmeda de elevada inercia térmica, versus un sistema constructivo en seco de baja inercia térmica para un mismo valor de U (transmitancia térmica).

La inercia térmica comporta dos fenómenos: amortiguamiento, como relación entre las dos amplitudes de temperaturas máximas exterior e interior del cerramiento; y el retardo térmico, como el desfase horario entre las dos temperaturas máximas exterior e interior del cerramiento. En este sentido, la inercia térmica amortigua en el tiempo los efectos de los cambios en la temperatura, reduciendo la oscilación de temperaturas en la cara interior respecto a la cara exterior del cerramiento (Gili, 1999). En ocasiones este fenómeno contribuye a mejorar el confort del usuario y a minimizar la demanda energética. Por este motivo se ha considerado oportuno incluir en este apartado una reflexión sobre el comportamiento energético del modelo PRO.CRE.AR en función de la inercia térmica del sistema constructivo utilizado.

El sistema tradicional de construcción en Argentina, como se dijo anteriormente, es la construcción húmeda (fábrica de ladrillo) el cual no siempre se adecúa a las condiciones climáticas (Donell, 1999). A este hecho se suma la problemática que los tiempos de ejecución son prolongados y los costes asociados a la mano de obra elevados, lo que no ayuda a disminuir el porcentaje del déficit habitacional.

Argentina enfrenta un déficit habitacional que alcanza el 25% de los hogares (3.500.000 hogares), en el Noreste más del 50% y Noroeste el 40%. Teniendo en cuenta que en los últimos años las altas tasas de crecimiento forestal en el país, con superficie de 1,2 millones de hectáreas de bosques cultivados en especies como el pino o el eucalipto, y considerando que son de las más utilizadas en el mundo para la construcción (CADAMDA, 2017)¹⁶, los desafíos estructurales y económicos que aportaría la construcción en madera junto con tecnologías de aplicación industrializadas, podrían convertirse en una solución sostenible, no solamente a nivel ambiental sino también a nivel económico y social.

La solución constructiva de baja inercia térmica establecida en el estudio es un sistema estructural portante conformado por un alma de material aislante y paneles de OSB, paneles SIP¹⁷.

La madera es un material noble y versátil, que contribuye a mejorar el ciclo de vida ambiental de un edificio por las emisiones de CO₂ embebidas, reduciendo el efecto invernadero que ayuda a aliviar a la atmosfera de dióxido de carbono, el cual agrava el cambio climático, y por su elevado potencial de

¹⁶ CAMADA (Según sus siglas Cámara de la Madera de Argentina, s.f.)

¹⁷ SIP (Structural Insulated Panel)

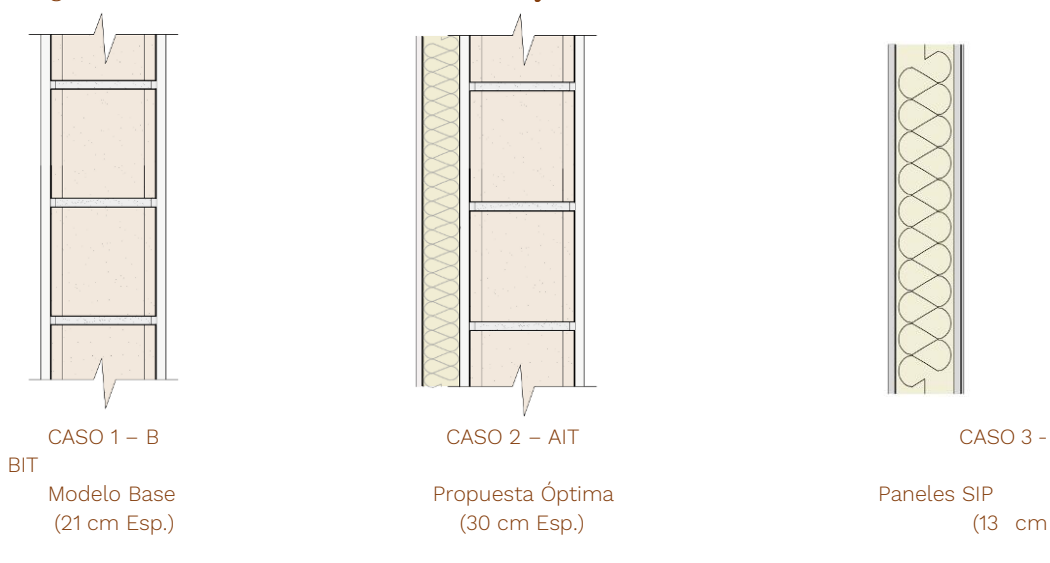
reciclaje/reutilización/reubicación, permitiendo ahorrar hasta el 28% del impacto de su ciclo de vida. Con técnicas de gestión adecuadas utiliza menos energía de producción que otros materiales y los residuos no producen impactos ambientales negativos pudiendo ser reutilizados. A su vez es un sistema constructivo que facilita una fabricación y construcción industrializada, lo que promueve la acreditación de las garantías de calidad técnicas de fabricación e implantación, la reducción de tiempos de ejecución, la posibilidad de transformarse y adaptarse según las necesidades de crecimiento y un menor impacto ambiental.

4.2 Comparativa energética entre una solución constructiva de alta inercia térmica y otra de baja inercia térmica para clima frío.

En este capítulo se comparan tres soluciones constructivas en el clima frío seleccionado (Figura 6).

- CASO 1. La solución base utilizada por el programa de crédito argentino: ladrillo cerámico hueco y revoque a ambos lados. Solución artesanal y de alta inercia térmica. (B)
- CASO 2. La solución optimizada establecida en este estudio: ladrillo cerámico hueco con un sistema de aislamiento por el exterior (SATE). Solución artesanal y de alta inercia térmica. (AIT)
- CASO 3. La solución en seco de entramado de madera: SIP. Solución industrializada y de baja inercia térmica. (BIT)

Figura 6. Soluciones constructivas húmedas y soluciones constructivas en seco



Fuente: Elaboración propia.

Antes de entrar en la evaluación y simulación energética, se detalla el valor de capacidad calorífica¹⁸ que posee cada una de las soluciones constructivas. En la propuesta óptima (con sistema de aislamiento SATE) se colocó aislante de tal manera que la transmitancia térmica del parámetro vertical sea igual a la de los sistemas industrializados, para determina un mismo valor de transmitancia térmica (de modo que los datos de simulación sean comparables) según indicaciones del DB-HE del CTE sobre los parámetros característicos.

¹⁸ Capacidad calorífica (C) del cerramiento se calcula según: $C=v \cdot \rho \cdot ce$ (J/K); v =volumen (m³) ρ =densidad (kg/m³) ce =calor específico (J/kgK).

En la Tabla 19 se observa que, para un mismo valor de transmitancia térmica, la propuesta óptima (caso 2) tarda 4 horas más en pasar el calor a través de las capas de materiales de la solución constructiva, respecto al amortiguamiento hay casi un 25 % de diferencia de reducción de temperatura cíclica de la superficie interior respecto de la temperatura cíclica de la superficie exterior y en cuanto a la capacidad calorífica es más de 5 veces mayor el caso de AIT que el de BIT.

Tabla 19. Comparación de soluciones constructivas. Transmitancia y Capacidad calorífica

Sistemas	Sistema tradicional húmedo		Sistema en seco
	CASO 1 - B Modelo base	CASO 2 - AIT Propuesta Óptima	CASO 3 - BIT SIP
U (W/m ² .K)	1,55	0,28	0,28
Amortiguamiento	68 %	97,97 %	75,30 %
Retardo térmico	7,10 horas	10,10 horas	6 horas
Capacidad calorífica*	4,28 (kWh/K)	4,47 (kWh/K)	0,83 (kWh/K)

Fuente: Amortiguamiento y retardo térmico obtenidos mediante el archivo Excel de cálculo de la inercia térmica, Ytong.

*Nota: 1 kWh = 3,6 MJ

El modelado en el programa HULC, ha permitido conocer el grado de mejora energética y ambiental a nivel de emisiones de CO₂ para las distintas soluciones constructivas. Se observa que, con el sistema de baja inercia térmica CASO 3 (y de menor espesor de fachada, 13 cm vs. 30 cm), se logra un cerramiento con gran resistencia al paso de calor, dando ahorros de demanda de calefacción de un 11,26% superiores respecto a los ahorros del sistemas de alta inercia CASO 2 (69,25% vs.57,99%) y, por lo que representa la demanda de refrigeración el valor incrementa ligeramente un 3,31% del CASO 3 (BIT) en comparación con los ahorros del CASO 2 (AIT), (62,84% vs. 59,54%) (Tabla 20).

Tabla 20. Comparación de los datos de demandas obtenidos con misma U

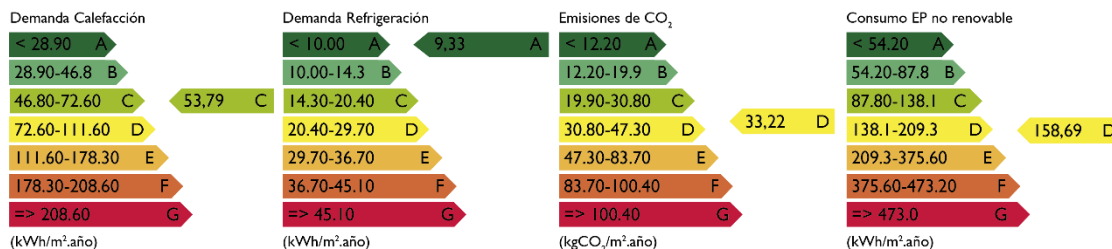
Modelo	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ (kWh/m ² año)
CASO 1 - BASE Modelo base	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
CASO 2 - AIT Propuesta Óptima	73,48 D	10,16 B	195,45 D	40,76 D
CASO 3 - BIT SIP	53,79 C	9,33 A	158,69 D	33,22 D
Ahorro C1 vs. C2	57,99 %	59,54 %	47,89 %	48,00 %
Ahorro C1 vs. C3	69,25 %	62,84 %	57,69 %	57,62 %
Ahorro C2 vs. C3	11,26 %	3,31 %	9,80 %	9,62 %

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados arrojados por el programa de certificación energética HULC.

Para el clima frío de Comodoro Rivadavia y el modelo seleccionado del PRO.CRE.AR de factor forma elevado, la demanda de calefacción para una transmitancia U = 0,28 kWh/m²año, conllevan una calificación energética C respecto a la demanda de calefacción, teniendo en cuenta el rango proporcionado por el programa (Figura 7).

Se considera importante ver qué espesor de aislamiento para lo solución SIP nos permitiría dar un salto en la certificación, y pasar de la letra C a B en demanda de calefacción.

Figura 7. Rango de la certificación energética del CASO 3 - BIT



Fuente: Rango de certificación a través del programa de certificación energética HULC.

Se obtienen los parámetros que más repercusión tienen hasta ahora en el BIT, para régimen de invierno por orden de prioridad los cuales son, ventilación 39%, aberturas 16%, suelos 16%, paredes exteriores (fachadas) 15%, puentes térmicos 8% y cubiertas 4%. Para el régimen de verano son: la incidencia de radiación solar a través de las ventanas 62%. La Tabla 21 muestra la comparativa energética para diferentes espesores de aislamiento para el sistema SIP.

Tabla 21. Comportamiento energético de la solución SIP para distintos espesores de aislante en fachada y solera

Esp. fachada + Solera (cm)	10 + 4	12 + 6	14 + 6	16 + 6	18 + 6	20 + 6
Demanda Calefacción	53,79 C	50,12 C	48,43 C	47,16 C	46,16 B	46,90 B
Demanda Refrigeración	9,33 A	9,47 A	9,29 A	9,15 A	9,04 A	8,93 A
Consumo	158,69 D	152,83 D	149,77 D	147,61 D	145,67 D	143,99 D
Emisiones de CO ₂	33,22 D	31,97 D	31,33 D	30,88 D	30,47 C	30,12 C

Fuente: Elaboración propia.

Concretamente, para hacer el salto a letra B el espesor de aislamiento debe ser mínimo 18cm en fachada y 6cm en solera (parámetros de más repercusión), equivalente a una demanda de calefacción de 46,16 kWh/m².año (un 4,36 % más de ahorro respecto a al espesor de 10cm en fachada y 4 cm en solera de la solución SIP inicial).

Respecto a demanda de refrigeración, se denota también una reducción dado que el clima de trabajo es frío; se obtuvo una demanda de 8,93 kWh/m².año, lo cual es 64% de ahorro respecto al CASO 1 – BASE, 4,75% respecto al CASO 2 – modelo de alta inercia térmica (AIT) y 1,15% respecto al CASO 3 – modelo de baja inercia térmica (BIT), en cualquier caso, la letra de calificación siempre es A. A nivel de certificación de emisiones de CO₂ la letra es una C, valor que se considera bueno dado que el equipo de generación de calor utilizado es el previsto en el modelo PRO.CRE.AR, una caldera a gas mixta para calefacción y agua caliente sanitaria de rendimiento 72,5%.

Para determinar si es viable el aumento de material aislante para el salto en la certificación energética a B en demanda de calefacción se ha realizado la evaluación de coste óptimo según el espesor de aislamiento (10 -18 cm de aislante para fachada y 4 - 6 cm de aislante para solera) para el sistema SIP (Tabla 22).

La inversión económica necesaria para pasar a una certificación B en demanda de calefacción en el sistema de baja inercia térmica (BIT) es aproximadamente el doble y el retorno económico empezaría a revertir beneficios 4 años más tarde, lo que da limitaciones presupuestarias de la administración pública aún mayores al cambio del sistema constructivo. En la Tabla 23 se muestra un resumen final del trabajo con los ahorros obtenidos.

Tabla 22. Comparación de amortización del material aislante en fachada y solera en sistema BIT

Material Aislante fachada (\$/m ²)	10 cm	18 cm
		\$ 743,11
Inversión de material aislante en sistema en seco para fachada (\$)	\$ 60.935,02	\$ 109.775,86
Material Aislante solera (\$/m ²)	4 cm	6 cm
	\$ 133,45	\$ 200,18
Inversión de material aislante en solera (\$)	\$ 8.273,74	\$ 12.411,16
Inversión total en material aislante (Fachada + Cubierta + Solera)	\$ 89.807,88	\$ 142.785,90
% ahorro de D. Calefacción con aplicación de material aislante (Fachada + Cubierta + Solera) *	48,18 %	52,54 %
Amortización de inversión de Años	8	12

Fuente: Rango de certificación a través del programa de certificación energética HULC.

*Nota: Porcentaje de ahorro total (73,53%) menos aberturas y protecciones (21,07%), dejando solo parámetros con material aislante.

Tabla 23. Resumen final con ahorros

Modelo	D. Calefacción (kWh/m ² año)	D. Refrigeración (kWh/m ² año)	EP no renovable (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ (kWh/m ² año)
CASO 1 – BASE Modelo base	174,91 E	25,11 D	375,10 E	78,39 E
CASO 2 – AIT Propuesta Optima	73,48 D	10,16 B	195,45 D	40,76 D
Ahorro C1 vs. C2	57,99 %	59,54 %	47,89 %	48,00 %
CASO 3 – BIT SIP (10 cm aislante)	53,79 C	9,33 A	158,69 D	33,22 D
Ahorro C1 vs. C3	69,25 %	62,84 %	57,69 %	57,62 %
Ahorro C2 vs. C3	11,26 %	3,31 %	9,80 %	9,62 %
CASO 4 – BIT SIP (18 cm aislante)	46,16 B	9,04 A	145,67 D	30,47 C
Ahorro C1 vs. C4	73,61 %	64,00 %	61,17 %	61,13 %
Ahorro C3 vs. C4	4,36 %	1,15 %	3,47 %	3,51 %

Fuente: Realización propia a través de los datos obtenidos a lo largo del estudio.

Se deja planteada una propuesta de cambio del sistema constructivo (BIT) de bajo costo con certificación energética en demanda de calefacción de C, y una propuesta (BIT), con incremento de inversión económica del 4,36% la cual se amortiza en un plazo de 12 años, con certificación en este parámetro de B.

De esta manera se muestra cómo el uso de soluciones constructivas con materiales locales y sostenibles, como es un sistema constructivo en madera, se puede disminuir las demandas de calefacción, refrigeración, y emisiones de CO₂ en viviendas unifamiliares en un clima frío en Argentina, con la cual se obtienen ahorros en demanda de calefacción superiores al 70%, respecto a demanda de refrigeración, ahorros del 64% y en energía primaria (EP) no renovable y emisiones de CO₂ ahorros del 61%.

5. Conclusiones finales

Como consecuencia de la información obtenida del estudio, se puede decir que en el momento de proponer proyectos se pueden evitar sobrecostos de inversión, si se consigue dar preferencia a los criterios pasivos desde el inicio del diseño hasta la realización de la obra, dando como resultados un proyecto de menor consumo energético a costo viable. Como resultado del estudio del análisis energético del modelo diseñado para el programa de crédito argentino (PRO.CRE.AR) ubicado en un clima frío de Argentina, se comprobó que los valores de demanda de calefacción se pueden reducir hasta 57,14% interviniendo en los distintos parámetros de la envolvente.

En relación a la aplicación de material aislante en los distintos paramentos opacos, el aislante aplicado sobre la fachada (M1) debe considerarse como un punto determinante para obtener ahorros en demanda de calefacción para el clima frío, ya que modificando sólo la parte opaca en dicho parámetro es cuando se obtuvieron los mayores ahorros, 29,12%.

En cuanto a las superficies vidriadas (M4), es la segunda mejora con la que se obtiene ahorros determinantes, con el cambio de las ventanas por otras de mejores prestaciones, se pasó de una transmitancia térmica del conjunto de 5,70 W/m².K a 1,76 W/m².K, donde se obtuvieron ahorros del 21,07% en demanda de calefacción y un salto en la certificación energética pasando de **E** a **C**. Se acompañó con la aplicación de protecciones solares para reducir la incidencia de la radiación solar sobre las ventanas, donde la comparación y evaluación de dos protecciones tanto energéticamente como económica, de las que se optó por el *Screen* con ahorros del 36% en la demanda de refrigeración.

Finalmente, se hace la evaluación energética de una propuesta de mejoras prestacionales, donde se plantea el cambio de sistema constructivo. En lugar de plantear un modelo de alta inercia térmica (AIT) como la solución constructiva existente de hoja de ladrillo cerámico hueco, se evalúa el beneficio de una solución constructiva de baja inercia térmica (BIT) con madera como material estructural, que a su vez incluye mejoras en el comportamiento ambiental del edificio desde el punto de ciclo de vida ambiental (LCA). Esta solución permite ahorros en la demanda de calefacción del 11,26% superior para el mismo valor de transmitancia térmica en ambas soluciones constructivas.

Para lograr un salto en la certificación energética en demanda de calefacción y llegar a nivel B el espesor de aislamiento en fachada debería ser de 18 cm como mínimo y de 6 cm solera, con los cuales se obtendrían un ahorro del 73,61%.

Por último, decir que con los mismos planos y vivienda utilizada del programa PRO.CRE.AR, pero añadiendo un plan de uso y prestaciones técnicas de alguno de los elementos de la envolvente, ya sería suficiente para reducir la demanda de calefacción en un 57,14% sin cambiar la solución constructiva, que equivaldría a un 47,56% de ahorro energético (reducción de consumo).

Autoría

Contribución de autores: Análisis formal, E.C.S., M.E.V. y J.M.G.B.; Investigación, E.C.S., y M.E.V. Metodología, E.C.S., M.E.V.; Recursos, E.C.S., M.E.V. y J.M.G.B.; Escritura, revisión y edición, E.C.S., M.E.V. y J.M.G.B.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Bibliografía

Bellosta, E. O. (2017). *Análisis y propuesta técnica para la envolvente exterior en un edificio a rehabilitar con el fin de conseguir un consumo de energía casi nulo y el alcance del confort interior*. Barcelona.

CADAMDA. (s.f.). *Cámara de la madera*. Recuperado el Agosto de 2018, de <http://maderayconstruccion.com.ar/contact/>

Ching, F. y. (2015). *Arquitectura Ecológica*. Barcelona, España: Gustavo Gili, SL.

Corredera, C. (s.f.). *Adaptacion de una vivienda a una vivienda procrear a una vivienda bioclimatica en la ciudad de Rauch*. Recuperado el Junio de 2018

Czajkowski, J. D. (2016). *Diseño Ambientalmente Conciente: Eficiencia energética y Etiquetado de edificios*. Recuperado de http://www.arquinstal.com.ar/2016/n2_01_2016_ahorro-ure-etiquetado.pdf

Donell, I. H. (1999). *Manual de construccion Industrializada*. Buenos Aires, Argentina.: Revista vivienda SRL.

Heywood, H. (2015). *101 reglas basicas para una arquitectura de bajo consumo energético*. Barcelona: Gustavo Gili, SL.

IRAM. (1996). *NORMA IRAM 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios, valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. Buenos Aires. Argentina.

IRAM. (2001). *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*. Buenos Aires. Argentina.

IRAM. (2002). *NORMA IRAM 11549. Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario*. Buenos Aires. Argentina.

IRAM. (2004). *NORMA IRAM 11601. Aislación térmica de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. Buenos Aires. Argentina.

IRAM. (2006). *NORMA IRAM 11625. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensaciones de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general*. Buenos Aires. Argentina.

IRAM. (2010). *NORMA IRAM 11507-4, Carpintería de obra y fachadas integrales livianas, Ventanas exteriores. Parte-4 requisitos complementarios. Aislación térmica*. Buenos Aires. Argentina.

IRAM. (2011). *NORMA IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires. Argentina.

IRAM. (2017). *NORMA IRAM 11900. Etiquetado de eficiencia energética de calefacción para edificios*. Buenos Aires. Argentina.

Lanfranchi, G. (2019). Infancia pobre. Obtenido de <https://www.cippecc.org/textual/hay-que-mejorar-la-planificacion-urbana-y-las-regulaciones-para-incentivar-la-produccion-de-suelo-urbano-accesible-de-calidad/>

Leiva, C. B. (2016). *Análisis del comportamiento de las fachadas de madera en zonas con clima mediterráneo*. Barcelona .

Minguet, J. M. (2016). *The new Ecological Home. Materials for Bioclimatic Design*. Barcelona, España: MONSA.

Olgay, V. (1998). *Arquitectura y Clima*. Barcelona: Gustavo Gili, SL.

SIPANEL. *Sistema constructivo sustentable*. (Agosto de 2018). Recuperado de <https://sipanel.com/new/>

Thallon, R. (2009). *graphic guide to Frame Construction*. Taunton.

VASA Vidriería Argentina S.A. (s.f.). Recuperado de <https://www.vasa.com.ar/>

Videla, L. C. (2012). *La construcción de vivienda en madera*.

Wassouf, M. (2014). *De la casa pasiva al estándar Passivhaus*. Barcelona: Gustavo Gili, SL.