

## **EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA DEL PLAN PROCREAR. PRIMERAS PROPUESTAS DE MEJORAS**

**Coronato, T.<sup>1</sup>; Navone, H. D.<sup>2</sup> y Abalone, R.<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/CONICET-UBA)

<sup>2</sup>Fac. de Cs. Exactas Ingeniería y Agrimensura (UNR). IFIR (CONICET/UNR)

<sup>3</sup>Consejo de Investigaciones (CIC- UNR)

[rabalone@fceia.unr.edu.ar](mailto:rabalone@fceia.unr.edu.ar). Av. Pellegrini 250. (2000) Rosario. Argentina

*Recibido: 28-08-17; Aceptado: 30-10-17.*

**RESUMEN.-** En este trabajo se analizó el comportamiento térmico de una vivienda propuesta por el plan argentino PROCREAR en la ciudad de Rosario con el objetivo de estimar el consumo de energía requerido para brindar confort térmico a sus habitantes. Se modelizó el Prototipo 5 del programa y se implementaron simulaciones sobre su comportamiento térmico en la plataforma de cálculo EnergyPlus. Se analizó la influencia de distintos elementos constructivos de dicha vivienda y se propusieron alternativas destinadas a mejorar la eficiencia energética de la vivienda. Finalmente, se evaluó el aprovechamiento de ventilación natural durante el verano y se cuantificó el ahorro en la demanda energética para climatización producido por las modificaciones implementadas. Se concluyó que la propuesta elegida no resulta apropiada para zonas climáticas con días de elevada temperatura. Las simulaciones permitieron detectar los mayores inconvenientes presentes y delinear modificaciones constructivas apropiadas para adaptar la vivienda al clima de la ciudad.

**Palabras claves:** simulación numérica, etiquetado energético, eficiencia energética, EnergyPlus

## **ANALYSIS OF THE THERMAL BEHAVIOUR OF A DWELLING OF PROCREAR PROGRAM. FIRST PROPOSALS FOR IMPROVEMENTS**

**ABSTRACT.-** The aim of this study was to analyze the thermal behaviour of one of the proposals of the Argentinean housing program PROCREAR situated in Rosario city and estimate the energy consumption required to provide thermal comfort to its inhabitants. Prototype 5 of the national program was modeled and its thermal behaviour was simulated with EnergyPlus. The influence of different constructive elements of this house was analyzed and design alternatives were proposed in order to improve its efficiency. Finally, the use of natural ventilation during the summer nights was evaluated and the savings in energy for air conditioning produced by the implemented modifications were quantified. It was concluded that the chosen proposal is not appropriate for regions with days of high temperature. The simulations made it possible to detect the major drawbacks of the original design and to delineate appropriate constructive modifications to adapt the house to the city's climate.

**Keywords:** numeric simulation, Energy labeling, energy efficiency, EnergyPlus

### **1. INTRODUCCIÓN**

El incremento de la demanda energética de nuestras sociedades producto del aumento de la población mundial hace necesario aprovechar al máximo los recursos energéticos disponibles (Azqueta, 2014). Gran parte de dicha demanda proviene del sector residencial, por lo que el etiquetado de eficiencia energética de edificios ha cobrado gran importancia a nivel mundial, siendo necesario combinar el uso racional de la energía con construcciones sustentables.

La matriz energética de Argentina muestra un elevada dependencia del consumo de energías fósiles, alcanzando éstas aproximadamente un 87,5 % de la demanda total de energía primaria y con casi un 28 % de la demanda energética total correspondiente al sector residencial (BEN, 2015), por lo que en nuestro país también ha comenzado a

tomar importancia la aplicación de criterios de eficiencia energética en las construcciones.

Ante la situación energético-económica y ambiental planteada, es primordial entonces que las viviendas que el Estado construya y/o financie sean energéticamente eficientes y propicien ambientes de confort higrotérmico, evitando así el derroche de recursos durante la vida útil de la edificación. En Argentina, el plan PROCREAR se creó con el objetivo de atender las necesidades habitacionales de los ciudadanos de todo el territorio nacional, a partir de líneas de crédito dispuestas para la construcción de viviendas particulares propuestas por dicho programa. El mismo propone diseños de vivienda especificando materiales y dimensiones; sin embargo, dichos diseños son independientes de la zona del país en donde se construyan. Argentina, particularmente, se compone de 6 zonas bioclimáticas (IRAM, 2011) de lo que resulta fundamental

estudiar si la propuesta constructiva del plan PROCREAR elegida es adecuada para la zona bioclimática donde se decida edificarla y, en caso que no lo sea, evaluar qué mejoras pueden hacerse sobre el diseño original a los efectos de evitar una demanda excesiva de energía para su aclimatación. Así, la simulación energética de edificios constituye un recurso indispensable para la estimación del consumo energético de construcciones y presenta la significativa ventaja de poder ser utilizada en la etapa de proyecto de una vivienda para estudiar cambios y mejoras sobre el diseño antes de comenzar con la edificación. Además, también puede utilizarse para estudiar modificaciones sobre una vivienda ya construida de modo de optimizar el consumo energético necesario para alcanzar el confort deseado por sus habitantes.

El objetivo de este trabajo es determinar si una vivienda propuesta por el plan argentino PROCREAR en la ciudad de Rosario puede brindar confort térmico a sus habitantes sin un consumo excesivo de energía y analizar distintas alternativas destinadas a mejorar el rendimiento de la vivienda, cuantificando el ahorro en la demanda energética para climatización producido por las modificaciones implementadas.

## 2. METODOLOGÍA

Energy Plus es una plataforma de desarrollo de carácter abierto específicamente diseñada para la simulación energética de edificios usado por ingenieros, arquitectos e investigadores para modelar y estudiar el uso de energía y agua en edificios. Se basa en una descripción de la infraestructura del edificio que, además del diseño constructivo, incluye los sistemas de aclimatamiento, cargas térmicas, sistemas mecánicos, sombreado de todas las superficies circundantes, etc. Considera un balance térmico del aire de cada zona térmica y transferencias de calor unidimensional a través de las paredes y del suelo suponiendo que la temperatura sobre todas las superficies (opacas o transparentes) es uniforme. Las condiciones de contorno sobre cada superficie opaca de las paredes son: intercambio de calor convectivo interior y exterior, intercambio de calor radiativo con el cielo, intercambio radiativo de onda larga entre superficies y radiación solar incidente. En forma similar, realiza el balance de masa (humedad) en el aire de cada zona y dispone de tres opciones posibles para la simulación de la transferencia de humedad en las paredes: EC (effective capacitance model), EMPD (effective moisture penetration depth model) y HAMT (combined heat and moisture transfer model) (ENERGYPLUS, 2016).

Además, se requiere el ingreso de un archivo extra con los datos geográficos y climáticos correspondientes al lugar en donde está ubicado el edificio. Los datos climáticos de un año completo (medidos por hora) requeridos son: temperatura de bulbo seco [°C], radiación global horizontal [W/m<sup>2</sup>], radiación directa en la dirección normal [W/m<sup>2</sup>], radiación difusa horizontal [W/m<sup>2</sup>], velocidad del viento [m/s], presión atmosférica [Pa] y humedad relativa [%]. El archivo de datos para la ciudad de Rosario no estaba disponible por lo que fue generado mediante la aplicación Weather Converter (DoE, 2013). Para esto se usaron los datos meteorológicos correspondientes al año 2011 brindados por el grupo de investigación en Física de la Atmósfera, Radiación Solar y Astropartículas del Instituto de Física de Rosario (CONICET-UNR).

En Energy Plus hay dos modalidades de trabajo para los sistemas de climatización. En una de ellas, se ingresan en la plataforma de desarrollo las especificaciones de todos los equipos de climatización y, según el rendimiento del mismo, se calcula la evolución de las temperaturas de las zonas térmicas. El otro modo de uso es Ideal Loads System. El mismo establece las cargas necesarias para mantener la temperatura de la zona en un rango de confort establecido para los habitantes. El modo Ideal Loads System consiste en elegir el rango de temperaturas de confort deseado mediante dos setpoints (que pueden ser constantes o variar según la hora): una temperatura máxima  $T_{enf}$  y una mínima  $T_{cal}$ , de manera que Energy Plus calcule la energía necesaria para que la temperatura de la zona,  $T_z$ , asuma valores que satisfagan la siguiente condición:

$$T_{cal} \leq T_z \leq T_{enf} \quad (1)$$

De este modo, puede estimarse el consumo destinado a climatización que tendrá un edificio y estudiar la efectividad de posibles mejoras antes de la construcción del mismo, es decir, optimizar la eficiencia energética de la vivienda.

### 2.1. Vivienda propuesta y modelo estudiado.

En la figura 1 se muestra la vivienda elegida para este trabajo, es el Prototipo 5 - CRIOLLA. La documentación que contiene los planos y materiales correspondientes a esta propuesta de vivienda, así como todo otro tipo de información adicional, se obtuvo de ANSES (2012). En la figura 2 se muestra el plano de la planta del modelo y se indican con distintos colores cada habitación y, con celeste, la posición de las aberturas. La propuesta consta de un único dormitorio, un estar-cocina y un baño, todos conectados a través de un pasillo cuya porción del techo es de material transparente (polipropileno). Además, la vivienda cuenta con una galería exterior en uno de sus laterales, cubierta por una prolongación del techo.

La vivienda se simuló como una única zona térmica como se muestra en la figura 3. Se consideraron las dimensiones de la construcción, su configuración y los materiales según ANSES (2012). Para la modelización del intercambio con el suelo se incorporó una capa de tierra de 2 m de espesor con propiedades térmicas constantes a la construcción del piso, imponiendo una temperatura en la base inferior constante (18 °C). Además, la vivienda contempla el uso de postigones de 3 cm de separación entre sus slats como protección en las ventanas, tal como indica la figura 4. Se consideró una infiltración de aire ambiente a razón de 2 renovaciones de aire por hora ya que es el valor por convención que se utiliza en simulaciones computacionales si no se conoce el número de infiltraciones reales (IRAM, 2001). Cuando se realizan mediciones experimentales, este valor puede llegar a ser incluso 15 ren/h. Además no se incluyeron cargas internas como personas, luces, equipamiento electrónico, etc.

Como método de cálculo se seleccionó el de Diferencias Finitas, que por defecto considera el modelo de capacitancias efectivas (EC). Si bien éste es el modelo menos realista, es de simple implementación y requiere menos tiempo de cálculo. También es útil en casos complejos donde no se dispone de información confiable respecto a los materiales que conforman las paredes o donde no se requiere conocer el contenido de humedad en las paredes (Woods, et al. 2013).

Se simuló la vivienda emplazada en un terreno de la periferia de la ciudad de Rosario, cuya orientación es Norte-Sur. En primera instancia, el modelo se orientó con el alero hacia la dirección Norte,— por ser la orientación más favorable para la vivienda respecto a los aportes solares, además de optimizar el aprovechamiento del terreno. Luego

se contrastó esta orientación con las otras tres (Este, Oeste y Sur).



Fig. 1: Prototipo 5 - CRIOLLA (ANSES, 2012)

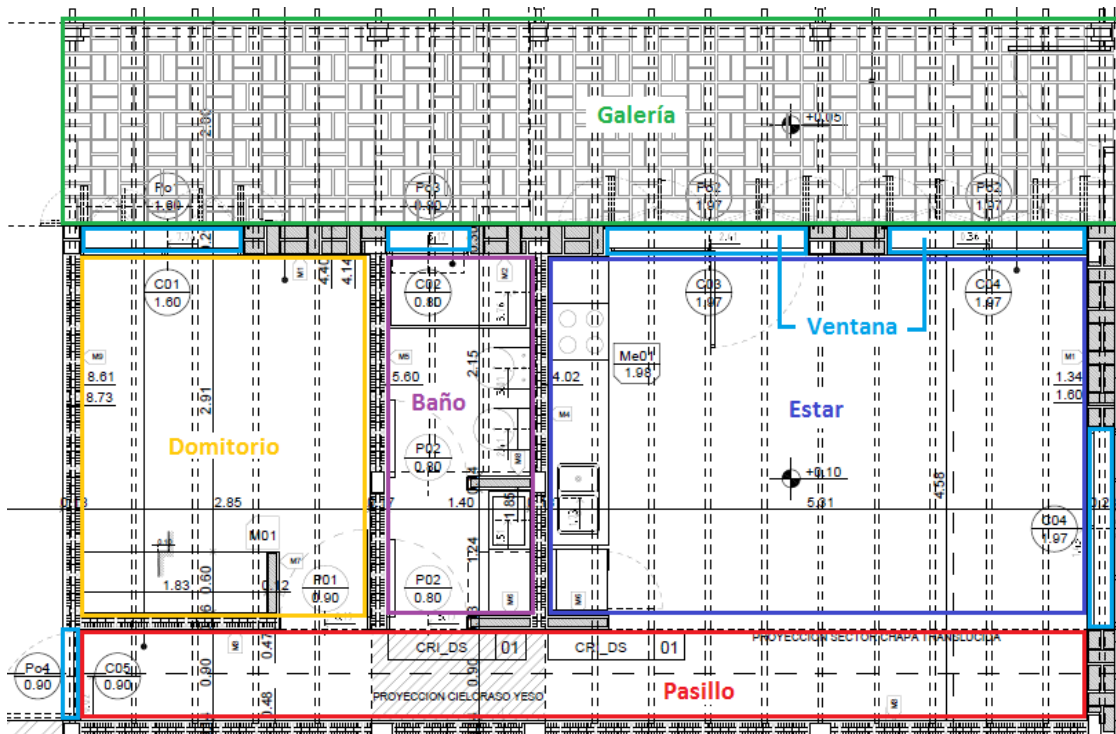
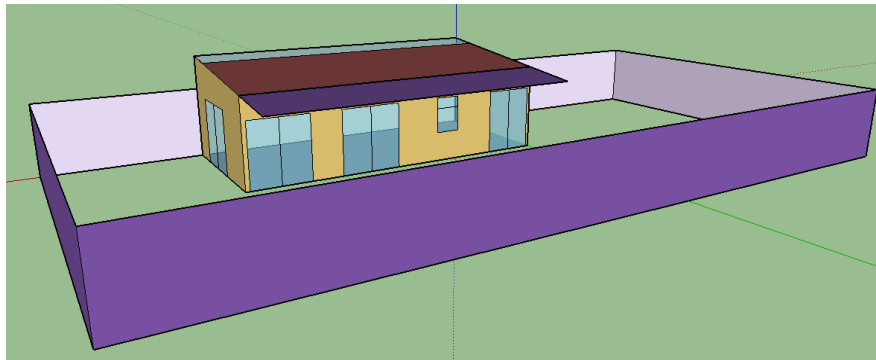


Fig. 2: Planta del Prototipo 5 - CRIOLLA (ANSES, 2012)

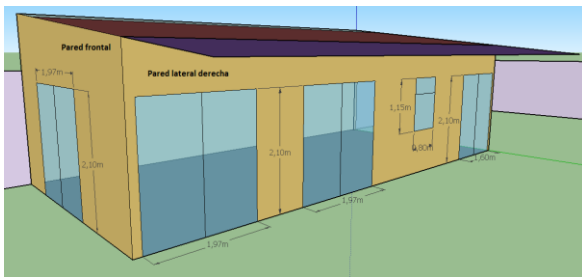
## 2.2. Períodos de simulación

El clima de Rosario es húmedo y se lo clasifica como templado pampeano, con las cuatro estaciones medianamente definidas, aunque de invierno bastante suave, corto e irregular. Los veranos son cálidos y cuando se dan condiciones de elevada humedad, puede tornarse sofocante. La temporada calurosa tiene lugar desde octubre a abril, con temperaturas desde 18 °C a 36 °C. Existe una temporada

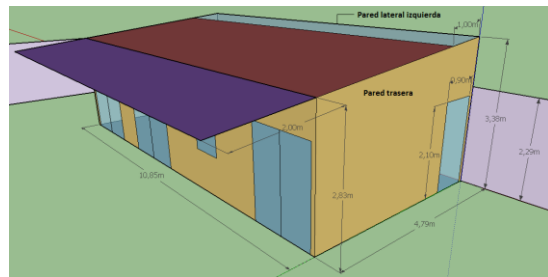
fresca y variable entre junio y la primera mitad de agosto, con mínimas promedio de 5 °C y máximas promedio de 16 °C. Las temperaturas promedio anuales oscilan entre 11 °C (mínima) y 24 °C (máxima). El clima de Rosario, entonces, no presenta gran cantidad de días invernales muy fríos pero sí existen muchos días de elevada temperatura durante el verano (MR, 2015; SMN, 2015).



(a) Prototipo 5 CRIOLLA

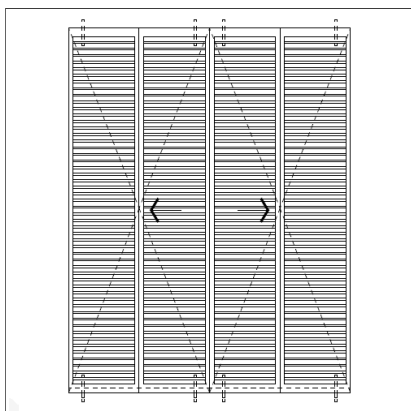


(b) Vista de la pared frontal y de la pared lateral derecha

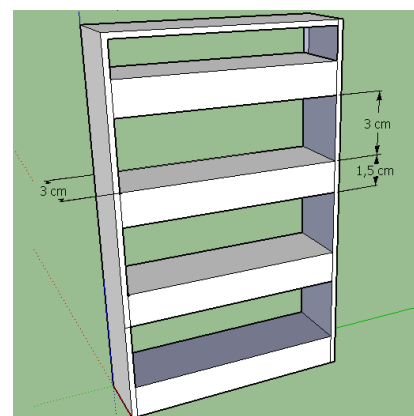


(c) Vista de la pared lateral derecha y de la pared trasera

Fig. 3: Diseños de la vivienda simulada.



(a) Esquema de los postigones ANSES (2012)

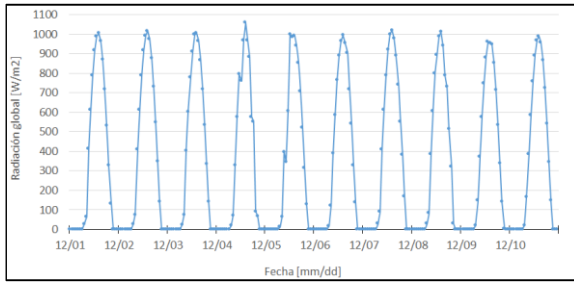


(b) Diseño geométrico y dimensiones

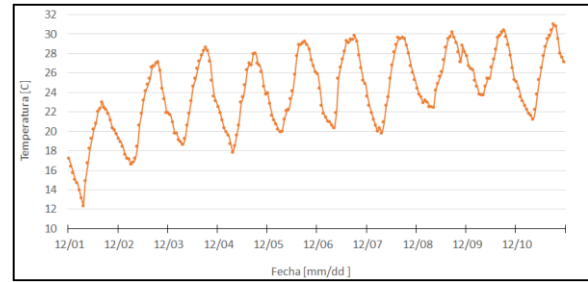
Fig. 4: Diseños de los postigones correspondientes a las aberturas

Por lo tanto, al realizar las simulaciones, se decidió trabajar con dos períodos en los que podría considerarse la situación más desfavorable para la climatización del hogar; uno para verano y otro para invierno. El verano es particularmente caluroso en la ciudad de Rosario, por lo que se decidió tomar como días de simulación los comprendidos entre el 01/12 y el 10/12; siendo estos días de cielo claro en los que la radiación solar tiene su mayor influencia. En invierno, la

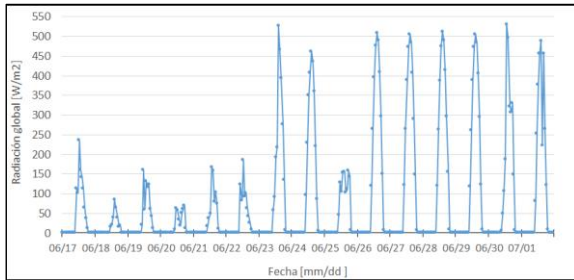
situación más desfavorable corresponde a los días nublados pero también quiso evaluarse el comportamiento de la vivienda cuando puede aprovecharse la radiación solar y, por ello, se eligió un período que comienza nublado y luego se despeja: del 17/06 al 01/07. Las condiciones climáticas de estos dos periodos se exhiben en las figuras. 5 (a), (b), (c) y (d).



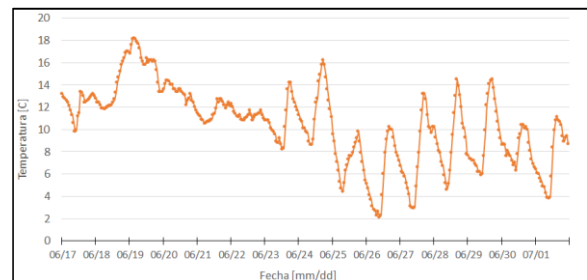
(a) Verano: valores horarios de radiación global.



(b) Verano: valores horarios de temperatura.



(c) Invierno: valores horarios de radiación global.



(d) Invierno: valores horarios de temperatura.

Fig. 5: Condiciones climáticas para los períodos de simulación.

### 3. SITUACIONES ANALIZADAS Y RESULTADOS

En una primera instancia, se simuló el modelo de vivienda completo sin postigones durante los dos períodos elegidos (verano e invierno) a los efectos de tomarlo como caso de referencia. La evolución de la temperatura de la zona térmica se consideró como indicadora del nivel de confort de los habitantes, tomando un rango de confort térmico entre 20 °C y 25 °C. De las figuras 6 y 7, puede notarse que la vivienda acumula energía, ocasionando que la temperatura de la zona siempre esté por encima de la exterior, excepto el 18 de junio a la noche. Durante el verano, esta diferencia es en promedio de 12 °C, elevando la temperatura de la zona a valores mayores a 40 °C, muy por encima de los 25 °C - máxima temperatura de confort- y, por ende, condición altamente inapropiada para sus habitantes. En invierno, en cambio, la diferencia de temperatura promedio entre la exterior y la de la zona es de 3 °C en los días nublados y 8 °C en los soleados. Durante estos últimos días, la influencia de la radiación solar provoca que la temperatura de la vivienda a la tarde sea agradable, tomando valores de entre 18 °C y 27 °C y alcanzándose así el confort térmico.

Luego se analizó cómo distintos elementos constructivos de la vivienda influyen sobre el comportamiento térmico de la misma. El detalle de todas estas simulaciones puede consultarse en Coronato (2016). A continuación se presenta un resumen de algunos resultados relevantes.

Se evaluó la influencia de tres elementos constructivos sobre el comportamiento térmico de la vivienda: el uso de postigones como protección en las ventanas, la presencia de superficies transparentes en el techo y la orientación de la vivienda. Se concluyó que los postigones deben usarse de forma eficiente, bloqueando la radiación solar durante el día en verano y disminuyendo las pérdidas de energía a la noche en invierno. Que la presencia de superficies transparentes en el techo es altamente perjudicial en verano, no genera beneficios considerables durante el día en invierno y aumenta las pérdidas de energía a la noche en la misma estación. Finalmente, se verificó que la orientación Norte es efectivamente la más beneficiosa para la vivienda, evitando el sobrecalentamiento en verano y aprovechando los aportes solares en invierno.

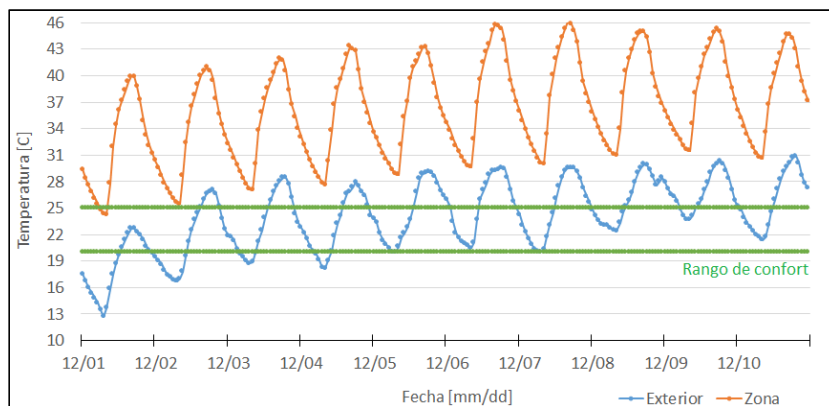


Fig. 6: Temperatura del aire exterior y de la zona térmica para la vivienda sin postigones en verano.

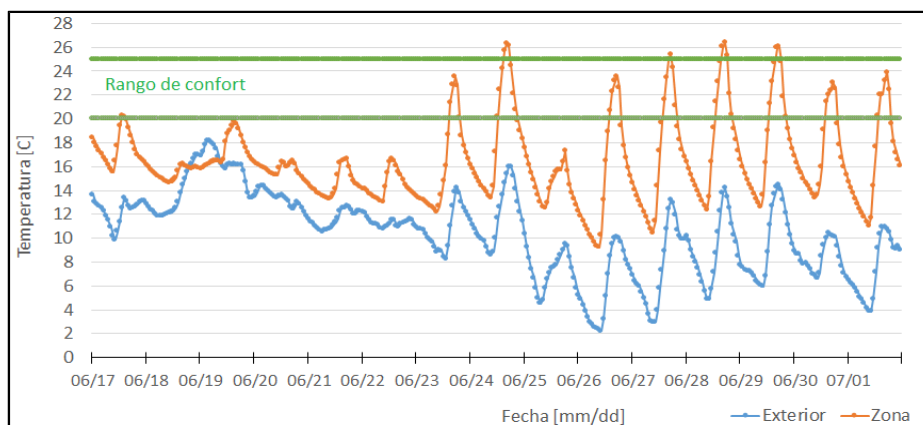


Fig. 7: Temperatura del aire exterior y de la zona térmica para la vivienda sin postigones en invierno

Además, como se encontró que lo óptimo es que los postigones bloqueen la radiación solar en verano y disminuyan las pérdidas de energía durante la noche en invierno, se diseñó un esquema de uso para cumplir esta condición (Tabla 1) y se analizaron tres tipos de protecciones diferentes: postigones de 3 cm de separación entre slats (propuesta original del plan PROCREAR), postigones de 1,5 cm de separación entre slats y persianas de enrollar de 5 mm de espesor, las cuales se colocaron a 5 cm del vidrio, del lado exterior de la vivienda. Se encontró que los postigones de 1,5 cm son los más efectivos para reducir los aportes solares en verano y así evitar el sobrecalentamiento de la misma.

Finalmente se evaluó el aprovechamiento de ventilación natural durante el verano, incluyendo tres esquemas de apertura de ventanas durante las noches, manteniendo una infiltración de 2 ren/h en el resto del año. Se estimó el

número de renovaciones por hora que habría en la vivienda si se dejan las ventanas totalmente abiertas, considerando circulación cruzada y la velocidad media del viento correspondiente al período de simulación. Se obtuvo un valor máximo de 122 ren/h, ya que se tomó la velocidad media del viento con incidencia normal sobre las aberturas y no se consideraron obstáculos u otras atenuaciones en la circulación a través de la vivienda. Se concluyó que si bien hay muchos días de verano en Rosario en los que la circulación de aire es baja, es importante aprovechar el viento los días que sea posible. La temperatura de la vivienda puede disminuirse considerablemente durante la noche, incluso aunque el viento no fuera constante, y al enfriarse también las paredes, se consigue a su vez una leve mejora en la temperatura durante el día.

Tabla 1: Esquema de uso: apertura y cierre de los postigones según la estación

Horario	Verano
00:00 a 08:00	apertura
08:00 a 19:00	cierre
19:00 a 24:00	apertura

Horario	Invierno
00:00 a 09:00	cierre
09:00 a 18:00	apertura
18:00 a 24:00	cierre

A partir de este análisis de distintos elementos constructivos de la vivienda se propusieron modificaciones sobre ellos con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de dicha vivienda. En particular se propusieron y compararon tres modelos de vivienda:

(1): Propuesta original

Se consideró la propuesta original que incluye techo con porción de material transparente (polipropileno) sobre el pasillo, postigones como protección en la ventanas de 3 cm de separación entre sus slats y orientación Norte. Los postigones se usaron con el esquema de la Tabla 1 y se consideraron 2 ren/h constantes.

(2): Mejora constructiva

La propuesta original considerando el techo completamente opaco, con postigones de 1,5 cm de separación entre slats con el mismo esquema de uso propuesto en la Tabla 1, y considerando 2 ren/h.

(3): Mejora de eficiencia

El último modelo propuesto incluye las mejoras constructivas mencionadas, además de la apertura de ventanas sólo durante las noches de verano, de 20:00 a 08:00, para hacer uso de la ventilación natural con 122 ren/h; el resto del día se fijaron 2 ren/h. Éste modelo sólo se comparó en verano.

A los efectos de comparar el desempeño de estas tres propuestas se analizó la evolución de la temperatura de la zona cuando no se usan sistemas de climatización y el consumo energético que sería necesario para mantener esta

temperatura dentro del rango de confort. Para estimar el consumo energético, se utilizó el modo Ideal Loads System descrito en la sección METODOLOGÍA. En los tres casos, se fijaron los siguientes valores de confort

$$\text{Verano: } T \leq T_{enf} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

$$\text{Invierno: } T \geq T_{cat} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

y se comparó la demanda de energía para aclimatar la vivienda en los dos períodos de simulación para los casos (1) -propuesta original- y (2) -mejora constructiva-; y sólo en verano para el caso (3) -mejora de eficiencia-. El modo Ideal Loads System se desactivó entre las 19:00 y las 09:00 en la vivienda con mejora de eficiencia dado que, en esa situación, se usó ventilación natural durante la noche y no resulta lógico utilizar acondicionamiento artificial cuando se tienen las ventanas abiertas.

En la figura. 8 se muestra la evolución de la temperatura de la zona térmica para los tres casos descritos: (1) propuesta original; (2) con mejora constructiva y (3) con mejora en la eficiencia; contrastadas con la temperatura exterior durante el período de verano. La mejora constructiva sobre la vivienda reduce significativamente la temperatura de la zona térmica durante las horas del día, 7 °C en promedio y 10 °C como máximo. Si bien durante la noche esta disminución es menor, 3 °C en promedio y 6 °C como máximo, también resulta beneficioso para los habitantes. La situación durante la noche mejora considerablemente al adicionar la mejora de eficiencia, es decir, cuando los habitantes aprovechan la ventilación natural. Aunque las temperaturas durante el día correspondientes al caso (3) -mejora de eficiencia- son muy semejantes a las obtenidas con la propuesta (2) - mejora constructiva-, durante la noche se produce una reducción de 6 °C en promedio respecto del modelo original (1). Las mejoras aplicadas, además, permiten disminuir la temperatura interior por debajo del límite fijado,  $T_{enf} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$  permitiendo entonces ahorro en la demanda energética para acondicionamiento. Todo esto se expresa cuantitativamente en la figura 9, en la que se muestra porcentualmente la disminución en la demanda de energía para acondicionamiento en los casos (2) y (3), durante el período de verano. Al mejorar constructivamente la vivienda, la reducción es de 74 % en promedio, llegando a ser de hasta 100 % en algunas situaciones. Si, además, se aprovechan las noches de viento constante, puede ahorrarse hasta un 20 % adicional en la demanda de energía para climatización, 12,5 % en promedio.

En la figura 10 se muestra la evolución de la temperatura exterior y de la zona térmica para el prototipo original (1) y para la propuesta con mejora constructiva (2), durante el invierno. La modificación constructiva no produce un cambio significativo en la zona, excepto en los picos de temperatura de días soleados, en los que la remoción del polipropileno genera un descenso de temperatura de hasta 3 °C. En promedio, esta disminución es de 1,5 °C diferencia pequeña que sigue manteniendo la temperatura de la zona por encima de los 18 °C ( $T_{cal}$ ) en los días de mayor radiación solar. Durante la noche, las pérdidas de energía se reducen y la temperatura de la zona térmica aumenta levemente. Esto se refleja cuantitativamente en la figura 11, en la que se muestra el ahorro porcentual en la demanda de energía para calefacción. Como el mayor consumo se da durante la noche, la reducción de las pérdidas de energía por las ventanas deriva en un ahorro de 8,5 % en promedio.

A partir de los resultados obtenidos, es posible concluir que las mejoras derivan en un ahorro muy considerable de demanda de energía para acondicionamiento en verano y mejoran significativamente el comportamiento térmico de la vivienda a los efectos de proporcionar confort a sus habitantes en ese período. Esto no es así en invierno, en donde los cambios realizados tienen moderado impacto sobre la temperatura de la zona térmica y, por ende, sobre la demanda de energía para calefacción. Ello se debe a dos motivos: la vivienda original elegida resulta inapropiada para climas de temperatura elevada y las modificaciones propuestas no producen un impacto considerable en los días invernales. Sin embargo, la mejora constructiva analizada no incluye la disminución de la transmitancia térmica de la envolvente completa, modificación particularmente beneficiosa para los períodos de baja temperatura.

Se recuerda que tampoco se conoce el valor real de las infiltraciones, las cuales podrán cambiar significativamente el comportamiento térmico de la vivienda.

Es sumamente importante tener en cuenta que el ahorro en la demanda energética para climatización obtenido a partir del uso eficiente de la misma depende de sus habitantes. Esto implica que el consumo energético generado por la misma vivienda para refrigeración o calefacción puede ser considerablemente distinto, según las costumbres de las personas que vivan allí.

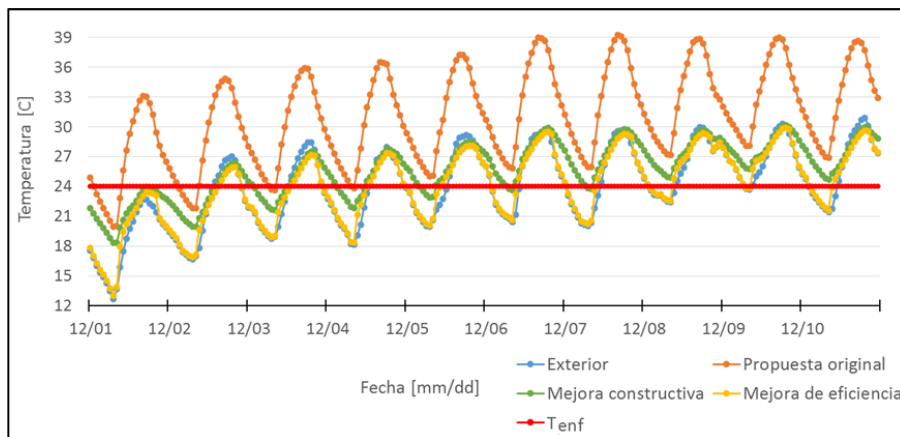


Fig. 8: Temperatura exterior y de la zona térmica sin aclimatar para la propuesta original de vivienda y para las mejoras constructiva y de eficiencia durante el período de verano.

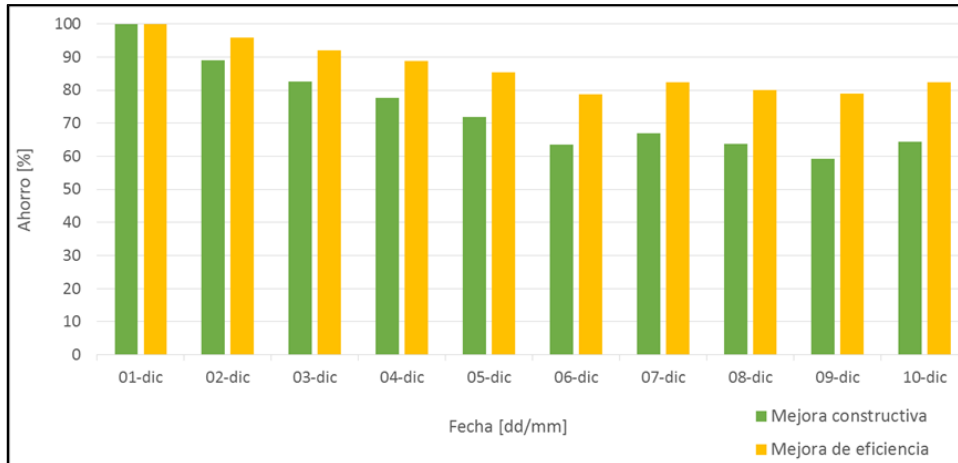


Fig. 9: Porcentaje de ahorro en la demanda energética para acondicionamiento durante el verano ( $T < 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) respecto de la propuesta original, al realizar mejoras constructivas y de eficiencia.

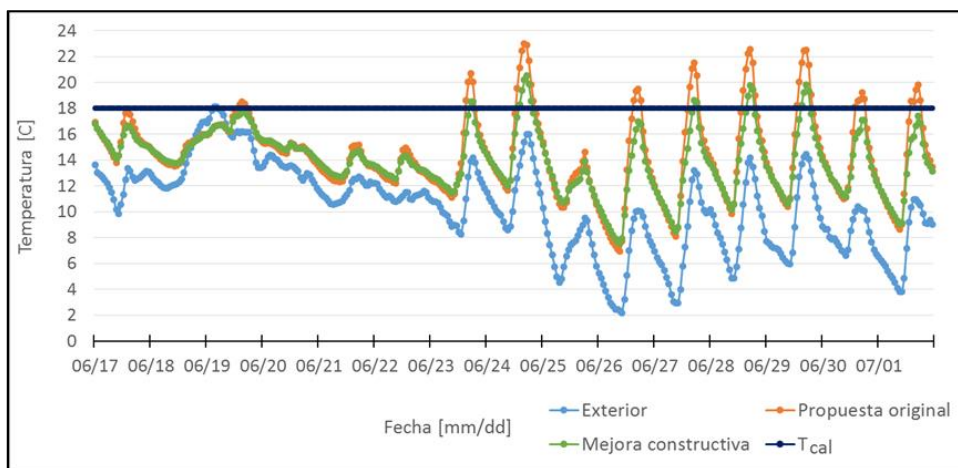


Fig. 10: Temperatura exterior y de la zona térmica sin aclimatar para la propuesta original de vivienda y para la mejora constructiva durante el período de invierno.

#### 4. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue determinar si una vivienda propuesta por el plan PROCREAR emplazada en la ciudad de Rosario (Provincia de Santa Fe, Argentina) puede brindar confort térmico a sus habitantes, considerando las condiciones climáticas locales. Para ello, se analizó mediante simulaciones computacionales la influencia de diversos elementos constructivos sobre el comportamiento térmico de la vivienda elegida y se cuantificó la reducción en la demanda energética que puede alcanzarse mediante modificaciones sobre la construcción.

Se concluyó que el Prototipo 5 - CRIOLLA no es apropiado para ciudades con días de elevada temperatura como Rosario. La presencia de superficies transparentes en el techo genera sobrecalentamiento de la zona térmica en verano y no resulta suficientemente provechoso en invierno, pues la temperatura de la vivienda no aumenta considerablemente durante el día y, a su vez, se incrementan las pérdidas de energía durante la noche. El uso eficiente de protección en ventanas contribuye a disminuir los aportes solares y, a su vez, permiten reducir levemente las pérdidas

de energía durante la noche; en este sentido, reducir la separación entre los slats de los postigones resultó más eficiente. La orientación también es un factor fundamental a tener en cuenta al momento de realizar la construcción y, en caso de no ser analizada correctamente, puede derivar en elevadas temperaturas dentro la vivienda en verano o considerables disminuciones de la misma en invierno; la más adecuada para este estudio resultó la Norte. Además, el comportamiento térmico de la vivienda se optimiza considerablemente en verano si se aprovecha la ventilación natural en las noches ventosas.

Al momento de aclimatar la vivienda mediante sistemas artificiales, la combinación de estas modificaciones resultó en un ahorro energético para acondicionamiento en verano de hasta 100 %, 74 % en promedio en días sin viento; con un 12,5 % adicional en promedio cuando las noches son ventosas. En invierno, el ahorro en la demanda energética para calefacción obtenido por las mismas modificaciones es notablemente menor, 8,5 % en promedio. La diferencia entre los ahorros obtenidos para verano e invierno es indicativa de dos cuestiones: que el diseño de la vivienda original es efectivamente inadecuado para zonas de elevada



temperatura con días despejados y que las modificaciones realizadas son de leve impacto en los días invernales.

El análisis realizado sobre la vivienda elegida destaca la ventaja e importancia del uso de simulaciones computacionales, tanto en la fase de diseño como en la etapa de utilización de viviendas y edificios. Las mismas permiten, entre otras cosas, determinar si las viviendas son apropiadas para determinadas zonas bioclimáticas, estudiar modificaciones para adaptarlas al clima de la región, cuantificar la reducción efectiva en la demanda energética producida por intervenciones constructivas y evaluar la influencia de posibles mejoras en edificaciones ya construidas. Cuando se pretende aumentar la eficiencia de una vivienda, las simulaciones posibilitan detectar los mayores inconvenientes que la misma presenta y así delinear modificaciones constructivas apropiadas.

### REFERENCIAS

- ANSES (2012). "Programa PRO.CRE.AR. Bicentenario". Administración Nacional de la Seguridad Social. <https://www.argentina.gob.ar/procrear/comprayconstruccion/construccion/prototipos>
- Azqueta P. (2014). "Manual práctico del aislamiento térmico en la construcción. EPS-Poliestireno expandido". Asociación Argentina de Poliéstireno Expandido (AAPE), 1era edición.
- BEN (2015). "Balance Energético Nacional (BEN)". Reporte técnico, Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación, <http://www.energia.gov.ar/home>. Recuperado el 13/12/2015.
- Coronato T. (2016). Simulación energética de edificios. Estudio de una propuesta del plan PRO.CRE.AR. Tesina de Licenciatura en Física. FCEIA. Universidad Nacional de Rosario.
- DoE (2013). Auxiliary EnergyPlus Programs - Extra programs for EnergyPlus. U.S. Department of Energy (DoE).
- ENERGYPLUS. EnergyPlus Engineering Reference. The Reference to EnergyPlus Calculations. EnergyPlus, set., 2016.
- IRAM (2001). "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". Norma Argentina. Instituto Argentino de Normalización (IRAM).
- IRAM (2011). "Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina". Norma Argentina. Instituto Argentino de Normalización (IRAM).
- MR (2015). "Clima de Rosario". Municipalidad de Rosario. <http://www.rosario.gov.ar/web/ciudad/caracteristicas/clima>. Recuperado el: 27/01/2016.
- SMN (2015). "Valores medios de temperatura y precipitación". Servicio Meteorológico Nacional (SMN). <http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/>. Recuperado el: 14/12/2015.
- Woods J., Winkler J y Christensen, D. (2013). Evaluation of the Effective Moisture Penetration Depth Model for Estimating Moisture Buffering in Buildings, NREL/TP-5500-57441