

EFECTO DE LAS PROTECCIONES SOLARES EN EL REQUERIMIENTO DE ENERGÍA PARA ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL TÉRMICO DE VIVIENDAS DE CLIMAS MUY CÁLIDOS Y CON ALTOS ÍNDICES DE RADIACIÓN

Alías, Herminia M.

heralias@arq.unne.edu.ar

Docente e investigadora, Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Investigación para la Eficiencia Energética en Arquitectura (IDEEA).

EFFECT OF SUN PROTECTION ON THE ENERGY REQUIREMENT FOR THERMAL ENVIRONMENTAL CONDITIONING OF HOUSES IN VERY WARM CLIMATES AND WITH HIGH RADIATION INDICES

KEYWORDS

Housing, shading, efficiency.

ABSTRACT

A case study of state-produced housing in the Argentinian northeastern is presented, with the objective of evaluating different solar protection strategies, and their effects on indoor environmental conditions, and consequently on the need for energy for air conditioning. Through dynamic simulations with Energy Plus, the ranges of reduction in electrical consumption associated with the use of different solar protection resources in homes, in cold and warm periods, were quantified. The exterior protection alternatives analyzed were applied to walls, ceilings and glass surfaces of the homes. Solar protection on roofs (through roof overlays or "shade roofs") was the situation that generated the most possibilities of reducing the cooling load, not being a common situation in regional construction practice.

PALABRAS CLAVE

Viviendas; sombreado; eficiencia.

RESUMEN

Se expone un estudio de casos de viviendas de producción estatal en el Nordeste Argentino, con el objetivo de evaluar distintas estrategias de protección solar y sus efectos en las condiciones ambientales interiores y, en consecuencia, en la necesidad de energía para climatización. Mediante simulaciones dinámicas con EnergyPlus, se cuantificaron los rangos de reducción del consumo eléctrico asociados al empleo de diferentes recursos de protección solar en las viviendas, en períodos fríos y cálidos. Las alternativas de protección exteriores analizadas fueron aplicadas a muros, a techos y a superficies vidriadas de las viviendas. La protección solar a techos (mediante sobretechos o "techos-sombra") fue la situación que más posibilidades de reducción de la carga de refrigeración generó, no siendo una situación habitual en la práctica constructiva regional.

doi.org/10.30972/adn.127971

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El diseño arquitectónico edificio tiene impacto muy significativo en la sensación de bienestar de sus ocupantes, pues es responsable en gran medida de las condiciones ambientales interiores y, por lo tanto, en la cantidad de energía necesaria para el acondicionamiento activo (o electromecánico) de los ambientes. Las estrategias pasivas de diseño (no requieren del empleo de medios ni dispositivos activos que demandan el consumo de algún tipo de energía para cumplir una función) constituyen un conjunto de decisiones en el proceso de diseño del edificio que permiten el acondicionamiento ambiental con una reducción del consumo energético para lograr condiciones de confort adecuadas. Entre ellas se encuentran: aislación térmica, inercia térmica, protección solar, ventilación natural, captación solar, humidificación/deshumidificación y entorno (IRAM, 2019).

En este trabajo se presentan algunas consideraciones surgidas del análisis de casos de viviendas de producción estatal en ciudades del Nordeste Argentino (NEA), con el objetivo de evaluar distintas estrategias de protección solar y sus efectos en las condiciones ambientales interiores y, en consecuencia, en la necesidad de energía para climatización (refrigeración en verano y calefacción en invierno). Mediante simulaciones dinámicas con el software EnergyPlus, se cuantificaron los rangos de reducción del consumo eléctrico asociados al empleo de diferentes tipos de protecciones solares.

Teniendo en cuenta que el Nordeste Argentino presenta veranos muy cálidos y húmedos, con un abundante recurso solar (figura 1), una estrategia pasiva básica de diseño a aplicar para la estación estival es evitar las ganancias de calor mediante protecciones solares que eviten el ingreso excesivo de la radiación solar, tanto a través de las superficies acristaladas como de las superficies opacas (muros y techos). Las ganancias o cargas térmicas por ingreso de radiación solar en edificios tienen una incidencia significativa en el sobrecalentamiento de los espacios interiores (RASPALL GALLI, VALEROS Y EVANS, 2006). Sin embargo, no se trata de eliminar completamente los efectos de la radiación solar, sino de regularlos según cada época del año, lo que implica, por un lado, protección del asoleamiento excesivo en verano, así como ganancia suficiente en invierno, por el otro (MESA Y MORILLÓN, 2005). Es por ello que los elementos de protección solar que obstruyen la componente directa de la radiación solar, en períodos en que es necesario el calentamiento, deben permitir el paso de la radiación solar. En cambio, si es necesario el enfriamiento, la estrategia a aplicar es la del sombreado. Las protecciones solares se pueden materializar en la superficie envolvente del edificio de diversas formas y materiales: en el interior, en la misma piel o en el exterior (GANEM, RODRÍGUEZ, AVELLANEDA, ESTEVES Y PATTINI, 2003). En este trabajo se analizan alternativas de protecciones solares exteriores, tanto a muros, a techos como a superficies vidriadas de envolventes de viviendas.

Un diseño adecuado de la envolvente edilicia debe contemplar, conjuntamente con la protección solar, la necesidad de brindar en los locales del mismo niveles de iluminación natural adecuada (para garantizar el desarrollo de las actividades previstas), reduciendo el uso de la iluminación artificial y el consumo energético asociado (GONZALO ET AL., 2001, CITO EN NOTA, GONZALO Y LEDESMA, 2002). Las formas y tecnologías de las envolventes edilicias y de las protecciones solares que a ellas se incorporen tienen un impacto directo en la luz natural disponible en los espacios interiores en horas diurnas, con consecuencias ambientales, de rendimiento y confort visual, y de consumo de energía eléctrica para iluminación artificial (PATTINI, VILLALBA, CÓRICA, RODRÍGUEZ Y FERRÓN, 2011). En etapas de definición de proyecto, el estudio del impacto solar y de

las protecciones necesarias a las envolventes edilicias es imprescindible. La existencia de elementos que protejan de la incidencia solar a las envolventes (ya sea mediante vegetación exterior o dispositivos constructivos adecuados, fijos o móviles) reduce las cargas térmicas de refrigeración que ingresan a través de las superficies de la envolvente, sean opacas o transparentes (por radiación indirecta, directa y por conducción). Si los dispositivos de protección son móviles, tienen la ventaja –respecto a los fijos– de posibilitar su accionamiento para permitir ganancias térmicas beneficiosas en épocas frías (ALÍAS, 2020). Cabe destacar que la incidencia de la radiación solar sobre muros es menor a la incidencia sobre techos¹: las protecciones solares se consideraron, en el presente trabajo, según se apliquen a superficies verticales en general (que incluyen muros, carpinterías, vidrios) o se apliquen específicamente a algún componente de la envolvente (como techos o vidriados en particular), y según sean fijas o móviles:

A. Protecciones generales a superficies verticales mediante espacios semicubiertos (galerías, pérgolas o toldos adosados): partiendo de un modelo de confort adaptativo, en el que la relación con el exterior es considerada un valor añadido, y en el que se acepta la capacidad de los habitantes de adaptarse a las variaciones físicas del ambiente, los espacios semicubiertos pueden representar una zona importante de la vivienda e incluso una estrategia válida para la regulación de las condiciones interiores, ya que protegen amplias superficies ver-

1. La radiación máxima sobre superficies horizontales en latitudes comprendidas entre 23° a 40° llega o supera los 1000 W/m², mientras que sobre superficies verticales (muros) alcanza valores algo menores (700 W/m², aproximadamente).

ticales de la envolvente (tanto opacas como vidriadas) del sobrecalentamiento (tanto por radiación solar directa como indirecta –por conducción–).

B. Protecciones específicas a vidrios: a) Fijas (aleros): los aleros y protecciones “altas” a las áreas vidriadas representan una opción que reduce las ganancias térmicas excesivas por radiación directa, considerando que en el clima muy cálido regional el sol estival tiene mayor altura y los obstáculos de baja altura tienen menor importancia. Como contrapartida, en épocas frías impiden las ganancias necesarias y favorables. b) Móviles (celosías, persianas, pantallas): corredizas, plegadizas o de abrir tienen la ventaja de que pueden accionarse para evitar ganancias solares en épocas cálidas, pero a la vez para permitirlas en épocas frías (cuando las mismas resultan beneficiosas). Sin embargo, el hecho de poder ser accionadas selectivamente según la época del año no significa que el uso que se haga de ellas resultará el apropiado.

C. Protecciones específicas a techos (fijas o móviles): las superficies horizontales reciben radiación durante todas las horas diurnas, por lo que una protección prioritaria a la misma tiene ventajas durante épocas cálidas. Las protecciones a techos mediante sobretechos constituyen una solución no difundida en el medio local y regional. Ellas pueden ser fijas (como los llamados techos-sombra, que generan un sobretecho abierto al exterior en todo el perímetro lateral, sobre el cerramiento horizontal de las viviendas) o bien pueden ser móviles (del tipo techo-toldo) con posibilidad de desplazarse en épocas frías, en que la ganancia solar resulta beneficiosa y debe aprovecharse. Hay que considerar que las protecciones fijas impiden las ganancias necesarias y favorables en épocas frías, dejando a la vivienda en sombra y generando aumentos importantes de la energía demandada para calefacción. Ambas opciones (fijas y móviles) representan la posibilidad de reducir las ganancias térmicas excesivas por radiación directa en épocas cálidas (reduciendo el consumo de energía para refrigeración), además de reducir los riesgos de condensaciones invernales por generarse una cubierta ventilada.

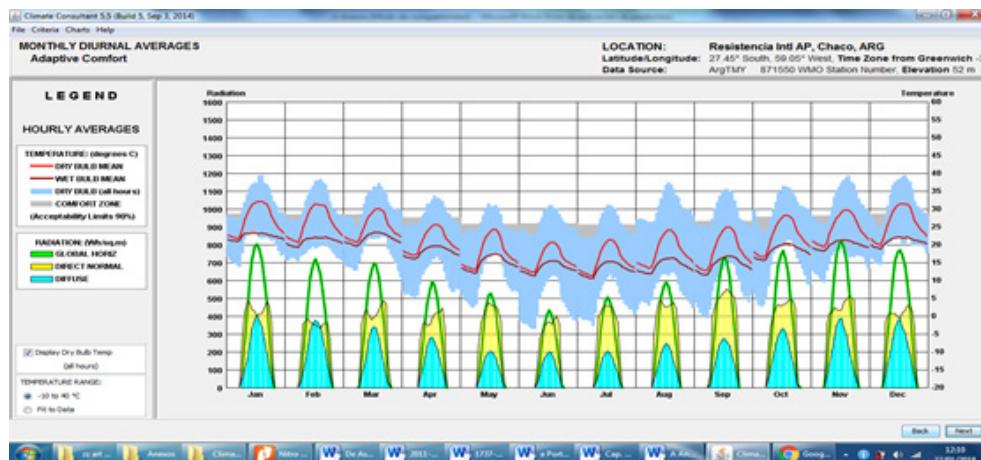


Figura 1. Promedios diarios mensuales de temperaturas medias (de bulbo seco y de bulbo húmedo) y de radiación (global, directa y difusa), ciudad de Resistencia. **Fuente:** Climate Consultant, v. 5.5 (UCLA, 2014).

micas excesivas por radiación directa en épocas cálidas (reduciendo el consumo de energía para refrigeración), además de reducir los riesgos de condensaciones invernales por generarse una cubierta ventilada.

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Viviendas-caso: se consideraron viviendas individuales, producidas mediante operatorias estatales en las ciudades capitales de las provincias de Chaco, Corrientes, Misiones y Formosa, que se sintetizaron en cinco casos tipológicos de viviendas, repetitivos en las cuatro ciudades (según la documentación de obra de las operatorias urbanas implementadas), representativos de las situaciones de diseño arquitectónico y urbano más habituales. Dichas viviendas son (tabla 1): Caso U1: PROMHIB 2D; Caso U2: LP2 3D; Caso U3: PT 42; Caso U4: MBI Dx 2D (en dúplex) y Caso U5: PT 60 Universal. Los casos analizados conforman grupos pequeños y muy similares de viviendas individuales, en baja densidad, de planta baja (y en escasos casos en dúplex), de entre 20 y 100 unidades, en los que coexisten dos o tres prototipos de viviendas,

muy próximos entre sí (que no son, en realidad, tipológicamente diferentes). Se implantan en zonas periurbanas, aparentemente o bien entre medianeras y constructivamente se resuelven mediante techos metálicos, muros exteriores de ladrillos cerámicos huecos (de 12 a 18 cm) o de ladrillos comunes macizos (de 12 cm) y por carpinterías de madera o de perfiles de chapa (con o sin postigos exteriores).

Monitoreos higrotérmicos: en dos de las viviendas (en condiciones habituales de uso), la del Caso U1 (ciudad de Resistencia) y la del Caso U2 (ciudad de Corrientes), se realizaron monitoreos. Mediciones de evolución horaria de temperatura interior y humedad relativa interior, además de variables meteorológicas exteriores: temperatura y humedad relativa (cada 10 minutos, mediante instrumental instalado en algunos locales principales). Los valores de radiación solar y velocidad de viento fueron suministrados por la estación meteorológica del Campus UNNE de la ciudad de Resistencia. Dichos monitoreos se realizaron, en cada vivienda, en cuatro períodos (dos en época fría y dos en época cálida), de aproximadamente diez días corridos cada uno.

Evaluación dinámica de desempeño térmico y consumo de energía: se realizaron simulaciones para las cinco viviendas –caso mediante el software EnergyPlus, versión 8.4 (DEPARTMENT OF ENERGY [DOE], 2016)–, realizando el diseño de cada modelo a simular mediante Google SketchUp y OpenStudio, versión 1.10 (NATIONAL LABORATORY OF THE U.S. DEPARTMENT OF ENERGY [NREL], 2015). El ajuste de los modelos introducidos al software se realizó a partir de los resultados de los monitoreos higrotérmicos realizados a las dos viviendas (Caso U1 y Caso U2), obteniéndose un ajuste aceptable entre temperaturas medidas y simuladas. Para realizar las simulaciones, se utilizaron cuatro archivos de clima de extensión Energy Plus Weather Files (EPW), específicos para las localidades de Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa. El objetivo fue lograr la determinación de rangos habituales de desempeño higrotérmico de las viviendas y de su consumo energético consecuente, considerando distintas posibilidades de protecciones solares: A. Protecciones específicas a techos (fijas o móviles); B. Protecciones generales a superficies verticales mediante espacios semicubiertos (galerías, pérgolas o toldos adosados); C. Protecciones específicas a vidrios (fijas –aleros- y móviles –celosías y pantallas–). Cada una de las cinco viviendas se simuló implantada en cada una de las cuatro ciudades cabecera (Resistencia, Corrientes, Posadas, Formosa) de la zona de clima muy cálido y húmedo del NEA (zona bioambiental "Ib", según IRAM 11603) y en su situación real de materialidad. Las simulaciones se realizaron para el período anual completo, según las determinaciones siguientes:

- Cada una de las viviendas-caso fue dividida en tres zonas: 1) zona cocina/estar/comedor (incluye el baño); 2) zona dormitorio frente, y 3) zona dormitorio fondo. El modelo de simulación de cada vivienda se graficó y caracterizó con el plugin OpenStudio para SketchUp (NREL, 2015).
- Las propiedades físicas de los materiales fueron obtenidas de la bibliografía específica

ca (norma IRAM 11601 y catálogos de fabricantes, avalados por certificaciones).

• Se consideró a cada vivienda habitada por cinco personas. El horario de permanencia y la cantidad de personas en simultáneo en cada zona térmica se consideró variable a cada hora del día, introduciéndose tales horarios (los mismos para las 5 viviendas-caso) en diferentes schedules (o calendarios de horarios) de ocupación que se crean y modelizan en el programa.

• El horario de uso de los artefactos, equipos y electrodomésticos (heladera común, televisor, horno a gas para cocción) se introdujo al software en diferentes schedules, según un promedio diario de horas de uso, el mismo para los cinco casos de viviendas.

• Tanto en época cálida como fría, los habitantes ventilan periódicamente las viviendas. Este flujo intencional de aire del ambiente exterior fue simulado. La tasa de flujo de ventilación natural fue controlada también mediante diferentes schedules² aplicados a cada zona térmica. Para las viviendas simuladas, las ventanas exteriores se consideraron con apertura total (multiplier fraction=1) durante el horario de apertura. Estos calendarios de ventilación se establecieron en forma diferenciada para cada zona térmica, en función de los horarios de apertura de puertas y ventanas, así como en función del uso de los equipos de climatización³ y del uso particular de cada zona térmica conectada al exterior (a través de ventanas y/o puertas) que fue tipificado.

• Los coeficientes convectivos se fijaron en 6 W/m K para muros interiores. Los coeficientes convectivos restantes fueron autocalculados por el software.

• Las condiciones del entorno de instalación correspondieron a áreas suburbanas (periferias urbanas) de cada una de las cuatro ciudades.

Para la calibración de los modelos introducidos al software, se siguió el siguiente procedimiento:

• El modelo térmico básico se basó en una de las viviendas en las que se hicieron las mediciones experimentales o monitoreos; ella fue la U1 (PROMHIB, en la ciudad de Resistencia, figura 2), que estuvo en condiciones normales de uso durante los citados

monitoreos, uso que incluyó climatización electromecánica en zonas de dormir, tanto en el período cálido como en el frío.

• De los cuatro períodos monitoreados en la vivienda U1 (2 períodos en época cálida y 2 en época fría), solamente se consideraron, a efectos de la calibración, los segundos períodos de monitoreo de cada época. Los datos medidos de temperatura y humedad relativa durante los períodos de monitoreo representan las condiciones climáticas de la zona muy cálida y húmeda del NEA durante los períodos que se analizan (verano e invierno típicos).

• Primeramente, para realizar el ajuste de datos climáticos, se definió el período de tiempo correspondiente para hacer la simulación (el mismo período monitoreado) y sobre un archivo de clima disponible de la ciudad de Resistencia se reemplazaron, para cada día del período de monitoreo definido, los valores meteorológicos medidos in situ de las variables de interés (temperatura ambiente exterior, humedad relativa

2. Respecto a la ventilación natural, se consideraron los siguientes horarios de apertura de ventanas: cocina sin climatización electromecánica (abierta gran parte del día), apertura entre las 8 y las 22 en verano y entre las 11 y las 15 en invierno. Cocina con climatización electromecánica (cerrada gran parte del día): apertura de 10 a 14 y de 18 a 20 en verano, y entre las 12 y las 14 en invierno. Dormitorios: apertura entre las 10 y las 13, con variantes según se trate de verano o invierno.

3. Para la climatización electromecánica, se consideraron los siguientes horarios y condiciones de uso: cocina, termostato de refrigeración, 25 °C (entre las 8 y las 14 y entre las 16 y las 22). Cocina, termostato de calefacción, 21°C (entre las 8 y las 22). Leves diferencias para los fines de semana. Dormitorio, termostato de refrigeración, 25 °C (funcionando entre las 22 y las 7 y entre las 14 y las 16). Dormitorio, termostato de calefacción, 21 °C (entre las 22 y las 6).

exterior, irradiación solar global sobre superficie horizontal⁴ y velocidad y dirección de viento).

- Tras hacer correr la simulación de la vivienda U1 (con sus respectivos períodos de tiempo de simulación definidos y editados), se obtuvieron las temperaturas interiores del aire simuladas de cada zona, que luego se compararon con las temperaturas del aire medidas en esas zonas en el período correspondiente. Así se establecieron los coeficientes de determinación R Cuadrado⁵ entre ambas series (datos medidos y datos simulados), resultando en las primeras instancias valores bajos (0,4 a 0,5).

- Para lograr la calibración, se fueron corrigiendo y ajustando, en sucesivas simulaciones, los schedules (horarios de calendarios) de ventilación, de infiltración y de perfiles de uso de las personas en las distintas zonas, así como algunos parámetros de cargas internas por uso de artefactos e iluminación, hasta que se obtuvo la mayor concordancia posible entre las temperaturas simuladas respecto a las temperaturas medidas.

- Este procedimiento de ajustes sucesivos y verificación demandó gran cantidad de iteraciones. Tras los sucesivos ajustes, correlacionando las tres zonas monitoreadas en la vivienda en cada uno de los dos períodos (cocina-estar-comedor, dormitorio frente y dormitorio fondo, en período cálido y en período frío) mediante gráficos de dispersión (a los que se agregó línea de tendencia), los coeficientes de correlación R2 obtenidos llegaron a 0,73 en promedio, valor considerado aceptable (figuras 3 y 4).

4. Los valores de irradiación solar global sobre superficie horizontal, así como los de velocidad y dirección de viento para los días de monitoreo en la ciudad de Resistencia, fueron proporcionados por el Depto. de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (FI-UNNE).

5. El valor del R Cuadrado (R^2) oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe, mayor será el ajuste del modelo a la variable que se está intentando explicar.

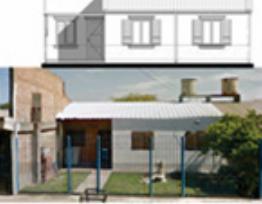
| DESIGNAC. PARCELAMIENTO | | | | EDIFICACIÓN | | |
|-------------------------|---|------------|------------------|--------------|---|--|
| Prov | Nombre | Ancho Lote | Implantac. | niveles sup. | Plantas | Fachada |
| PROMHI B 2D | U1 - RCIA. - CTES. - POSADAS - FORMOSA | 8 m. | Apareada | 1 45 m2 |  |   |
| LP2 3D | U2 - RCIA. - CTES. - FORMOSA | 10 m. | Entre medianeras | 1 62 m2 |  |   |
| PT 42 | U3 - RCIA. - CTES. - POSADAS - FORMOSA | 10 m. | Apareada | 1 43 m2 |  |   |
| MBI DX 2D | U4 - RCIA. | 11,1 m. | Apareada | 2 50 m2 |  |   |
| PT 60 universal | U5 - CTES. | 8-10m. | Apareada | 1 62 m2 |  |   |

Figura 1. Los casos de viviendas analizados. Fuente: elaboración propia.

Se advirtió que la mayor diferencia entre los valores medidos y simulados llegó a 3,7 °C en época cálida y a 4,5 °C en época fría en el dormitorio del fondo, que fue el espacio donde se obtuvo mayor disparidad. Estas diferencias máximas se obtuvieron en momentos de iniciar el uso de la climatización electromecánica. Las temperaturas medidas mostraron el descenso térmico (en período cálido) muy gradualmente tras el encendido de la climatización, mientras que las temperaturas simuladas, desde el inicio del horario de climatización (ingresado en el correspondiente schedule), acusaron con más rapidez la temperatura de termostato ingresada. Estas diferencias máximas obtenidas se atribuyen al hecho de que la vivienda estuvo en condiciones de uso habitual durante los monitoreos, lo que determinó condiciones de gran variabilidad y dificultosa parametrización y modelización horaria. En función del modelo de la vivienda U1 así ajustado (en cuanto a horarios de ventilación y de perfiles de uso) se procedió a ajustar también las modelizaciones de las restantes cuatro viviendas-caso definidas, considerando un patrón homogéneo en cuanto a las situaciones de ventilación natural y de uso de la climatización electromecánica establecidos para la U1. Los valores de ajuste térmico globales logrados (para período cálido y frío) para la vivienda U1 (figuras 3 y 4) se consideran suficientes para sostener la validez de los modelos introducidos al programa EnergyPlus (a través del plugin OpenStudio para SketchUp), que entonces pueden usarse con cierta confiabilidad para simulaciones posteriores bajo diferentes condiciones climáticas, aunque teniendo en cuenta que los factores de uso introducen una aleatoriedad tal que pueden derivar en resultados muy diferentes.

RESULTADOS

Mediante las simulaciones se han definido aquellos tipos de aporte o vías a través de las cuales se generan las cargas

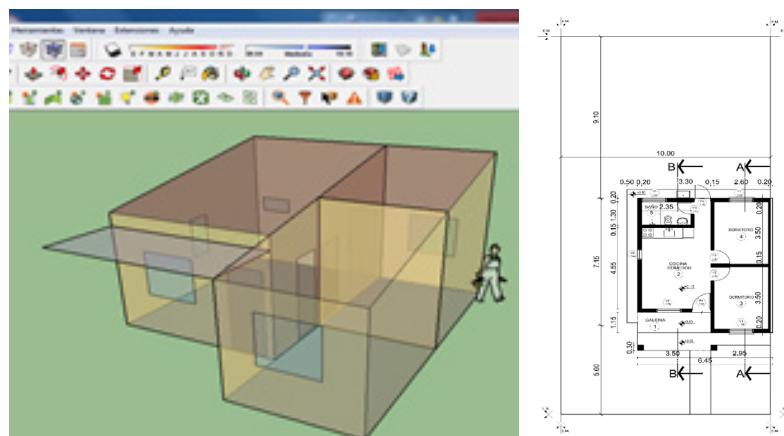


Figura 2. Esquemas de la vivienda U1 (PROMHIB), Resistencia, Chaco, monitoreada in situ y simulada mediante EnergyPlus. **Fuente:** elaboración propia.

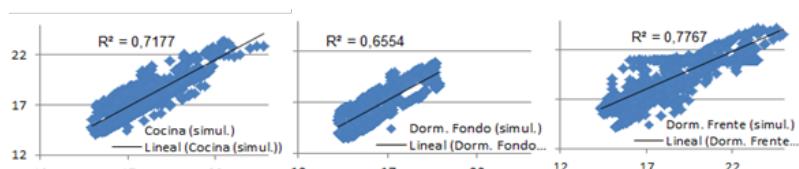


Figura 3. Correlación entre temperaturas medidas y temperaturas simuladas en 3 locales interiores de la vivienda U1 (PROMHIB), Resistencia, Chaco, en período frío. **Fuente:** elaboración propia.

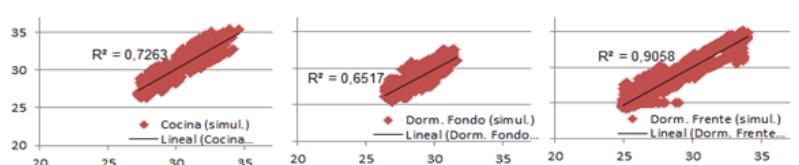


Figura 4. Correlación entre temperaturas medidas y temperaturas simuladas en 3 locales interiores de la vivienda U1 (PROMHIB), Resistencia, Chaco, en período cálido. **Fuente:** elaboración propia.

térmicas más significativas (ganancias o pérdidas), que luego hay que extraer o aportar (para refrigerar o calefaccionar, respectivamente) mediante energía eléctrica para acondicionar las viviendas-caso (figura 5). Generalizando, los mayores aportes a la carga térmica, tanto para el período de refrigeración como el de calefacción, para los cinco casos simulados, se produjeron a través de las superficies opacas (conducción por diferencia térmica entre el exterior y el inter-

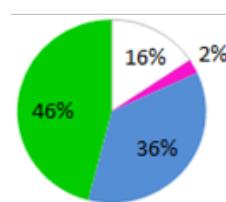
rior, más radiación indirecta) en porcentajes del 35 al 68% para refrigeración y del 60 al 70% para calefacción. Le siguen los aportes por ventilación, en porcentajes del 30 al 44% de ganancias en período cálido y del 16 al 24% de pérdidas en período frío. En tercer lugar, se registraron los aportes por fuentes internas (habitantes, luminarias, máquinas y equipos usados), en porcentajes del 12 al 20% de ganancias. En cuarto y último lugar se situaron los aportes por radiación direc-

ta (incidente sobre áreas vidriadas), en porcentajes del 4% promedio de ganancias, resultando los menos significativos para las dimensiones usuales de aberturas empleadas (y los factores de vidriado correspondientes). La incidencia de las superficies vidriadas habituales resulta así, evidentemente, muy baja, frente a las magnitudes significativas que asumen los aportes por superficies opacas, ventilación y fuentes internas. Ello podría responder a las dimensiones reducidas de vidriados, en comparación con las de áreas opacas, en las situaciones de materialidad detectadas.

A partir de identificar la situación y comportamiento de las viviendas-caso, y para profundizar en los efectos de las protecciones solares, se definió una referencia que representa a lo habitualmente realizado en materia de vivienda urbana de producción estatal de ciudades de la zona muy cálida y húmeda del NEA. Esta referencia constituyó el parámetro en función del cual se propuso ponderar cada estado posible o recurso arquitectónico planteado para cada estrategia de protección solar propuesta. Para dicha ponderación de los estados posibles de los recursos arquitectónicos propuestos respecto a la referencia, se realizaron nuevas simulaciones y evaluaciones de consumo de energía para climatización de las viviendas con EnergyPlus. Este proceso de asignación de valor y sus resultados se detallan a continuación.

A. Protecciones generales a superficies verticales mediante espacios semicubiertos (galerías, pérgolas o toldos adosados): se consideró como referencia del consumo de energía para climatización (anual por unidad de superficie) a la vivienda con protección a una cara vertical expuesta al exterior, situación predominante detectada en las viviendas analizadas. Los valores de consumo se exponen en la tabla 2, que resume los resultados de las simulaciones de las viviendas en estas distintas situaciones de espacios semicubiertos adosados:

Refrigeración: distintos tipos de aporte a la carga térmica horaria (valores positivos: energía que debe extraer el equipo de refrigeración. No se obtuvieron aportes gratuitos de energía).



Calefacción: distintos tipos de aporte a la carga térmica horaria (valores negativos: energía que debe inyectar el equipo de calefacción; valores positivos: aportes gratuitos de energía térmica).



Figura 5. Distintos tipos de aporte a la carga térmica total horaria de refrigeración (izquierda) y de calefacción (derecha) de las viviendas-caso (considerando toda la vivienda climatizada).

Fuente: elaboración propia.

- Espacio semicubierto en una cara vertical: corresponde a la situación habitual de las viviendas.
- Espacio semicubierto en dos caras verticales.

La valoración de estas protecciones se hizo según la tendencia porcentual obtenida (disminución o aumento del consumo de energía promedio, tanto para refrigeración como para calefacción) respecto a la referencia (o el 100% considerado: vivienda con vidrios sin protecciones). Las tendencias porcentuales se exponen en tabla 3.

B. Protecciones específicas a vidrios: se consideró como referencia del consumo de energía para climatización (anual por unidad de superficie) a la vivienda sin protecciones a vidriados, ya que es la situación predominante detectada en las viviendas analizadas. En función de la referencia, se valoraron los consumos de energía para los siguientes tipos de protecciones a vidrios (tabla 4):

- Sin protección: corresponde a la situación habitual de los vidriados de las viviendas-caso.
- Con aleros (fijos) sobre más del 50% de los vidriados.
- Con pantallas verticales (móviles) sobre más del 50% de los vidriados.

La valoración de estas protecciones se hizo según la tendencia porcentual obtenida (disminución o aumento del consumo de energía promedio, tanto para refrigeración como para calefacción) respecto a la referencia (o el 100% considerado: vivienda con vidrios sin protecciones). Las tendencias porcentuales se exponen en tabla 5.

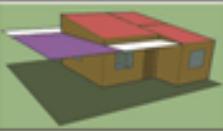
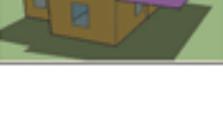
C. Protecciones específicas a techos (fijas o móviles): se consideró como referencia del consumo de energía para climatización (anual por unidad de superficie) a la vivienda sin protecciones a techos, ya que es la situación exclusiva detectada en las viviendas. En función de esta referencia se ponderaron los consumos de energía para los siguientes tipos de protecciones a techos (tabla 6):

- Sin protección: corresponde a la situación habitual de los techos de las viviendas-caso.
- Con techo-sombra (o sobretecho) fijo.
- Con techo-sombra (o sobretecho) corredizo (tipo toldo).

La valoración de estas protecciones se hizo según la tendencia porcentual obtenida (disminución o aumento del consumo de energía promedio, tanto para refrigeración como para calefacción) respecto a la referencia (o el 100% considerado: vivienda con techos sin protección). Las tendencias porcentuales se exponen en tabla 7.

TABLA 2

Consumos de energía para climatización (anuales por unidad de superficie) simulados de las viviendas, para distintas cantidades de protecciones a superficies verticales

| Protecciones gulares a sup. verticales mediante espacios semicubiertos (galerías / pérgolas / toldos) y consumos anuales de energía para climatización por unidad de superficie (kWh/m ² año) | | | | | |
|--|-------------------------------------|--|---|---|---|
| Implantación en Resistencia. Toda la vivienda con climatización | | Espacio semicubierto en 1 cara vertical | | Espacio semicubierto en 2 caras verticales | |
| U1 PROMHIB | refrig. (kWh/m ² año) | 552,5 |  | 535,0 |  |
| | calef. (kWh/m ² año) | 112,3 | | 113,6 | |
| U2 LP2 | refrig. (kWh/m ² año) | 395,3 |  | 383,2 |  |
| | calef. (kWh/m ² año) | 75,6 | | 77,4 | |
| U3 PT 42 | refrig. (kWh/m ² año) | 464,1 |  | 457,4 |  |
| | calef. (kWh/m ² año) | 101,3 | | 102,5 | |
| U4 MBI Dx | refrig. (kWh/m ² año) | 525,8 |  | 512,3 |  |
| | calef. (kWh/m ² año) | 104,0 | | 104,6 | |
| U5 PT 60 | refrig. (kWh/m ² año) | 516,5 |  | 509,9 |  |
| | calef. (kWh/m ² año) | 68,6 | | 70,4 | |

Fuente: elaboración propia.

TABLA 3

Tendencias porcentuales promedio de las cargas de climatización de las viviendas, según cantidad de protecciones a superficies verticales, respecto a las obtenidas para la referencia

| PROTECCIONES GENERALES A SUPERFICIES VERTICALES MEDIANTE ESPACIOS SEMICUBIERTOS | ESPACIO SEMICUBIERTO EN 1 CARA VERTICAL REFERENCIA | ESPACIO SEMICUBIERTO EN 2 CARAS VERTICALES |
|---|--|--|
| Refrigeración | 100% | 97,70 % (-2,30 %) |
| Calefacción | 100% | 101,60 % (1,60 %) |

Fuente: elaboración propia.

TABLA 4

Consumos de energía para climatización (anuales por unidad de superficie) simulados de las viviendas, para distintas situaciones de protecciones a los vidriados

| Protecciones específicas a vidriados (fijas y móviles) y consumos anuales de energía para climatización por unidad de superficie (kWh/m ² año) | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|------------------|--|---|--|--|--|
| Implantación en Resistencia. Toda la vivienda con climatización | | Sin protecciones | | Con Protecciones Fijas: aleros sobre el 50% o más de los vidriados | | Con Protecciones Móviles: pantallas verticales sobre 50% o más de los vidriados | |
| U1 PROMHIB | refrig. (kWh/m ² año) | 552,5 | | 543,8 | | 550,7 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 112,3 | | 113 | | 112,5 | |
| U2 LP2 | refrig. (kWh/m ² año) | 395,3 | | 389,9 | | 393,9 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 75,6 | | 76,2 | | 75,9 | |
| U3 PT 42 | refrig. (kWh/m ² año) | 464,1 | | 458,2 | | 462,8 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 101,3 | | 102,0 | | 101,5 | |
| U4 MBI Dx | refrig. (kWh/m ² año) | 525,8 | | 516,0 | | 523,6 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 104,0 | | 104,9 | | 104,5 | |
| U5 PT 60 | refrig. (kWh/m ² año) | 516,5 | | 511,4 | | 514,5 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 68,6 | | 69,3 | | 68,9 | |

Fuente: elaboración propia.

TABLA 5

Tendencias porcentuales promedio de las cargas de climatización (anuales por unidad de superficie) de las viviendas-caso, obtenidas según existencia de protecciones solares a vidriados, respecto a las obtenidas para la situación sin protecciones (referencia)

| PROTECCIONES ESPECÍFICAS A VIDRIADOS | SIN PROTECCIONES REFERENCIA | PROTECCIONES FIJAS: ALEROS SOBRE EL 50% O MÁS DE LOS VIDRIOS | PROTECCIONES MÓVILES: CELOSÍAS SOBRE EL 50% O MÁS DE LOS VIDRIOS |
|--------------------------------------|-----------------------------|--|--|
| Refrigeración | 100% | 98,60% (-1,40%) | 99,60% (-0,40%) |
| Calefacción | 100% | 100,80% (0,80%) | 100,35% (0,35%) |

Fuente: elaboración propia a partir de simulaciones.

TABLA 6

Consumos de energía para climatización (anuales por unidad de superficie) de las viviendas, para distintas situaciones de protecciones a los techos, obtenidos mediante simulaciones

| Protecciones específicas a techos (fijas y móviles) y consumos anuales de energía para climatización por unidad de superficie (kWh/m ² año) | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|------------------|--|--|--|--|--|
| Implantación en Resistencia. Toda la vivienda con climatización | | Sin protecciones | | Con Protecciones Fijas: techo/sombra o sobretecho | | Con Protecciones Móviles: techo/sombra o sobretecho desplazable (tipo toldo) | |
| U1 PROMHIB | refrig. (kWh/m ² año) | 552,5 | | 504,7 | | 504,7 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 112,3 | | 114 | | 112,3 | |
| U2 LP2 | refrig. (kWh/m ² año) | 395,3 | | 377,1 | | 377,1 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 75,6 | | 79,7 | | 75,6 | |
| U3 PT 42 | refrig. (kWh/m ² año) | 464,1 | | 440,8 | | 440,8 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 101,3 | | 106,4 | | 101,3 | |
| U4 MBI Dx | refrig. (kWh/m ² año) | 525,8 | | 510,5 | | 510,5 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 104,0 | | 104,7 | | 104,0 | |
| U5 PT 60 | refrig. (kWh/m ² año) | 516,5 | | 489,6 | | 489,6 | |
| | calef. (kWh/m ² año) | 68,6 | | 70,9 | | 68,6 | |

Fuente: elaboración propia.

TABLA 7

Tendencias porcentuales promedio de las cargas de climatización (anuales por unidad de superficie) de las viviendas, obtenidas según existencia de protecciones solares a techos, respecto a las obtenidas para la situación sin protección (referencia)

| PROTECCIONES ESPECÍFICAS A TECHOS | SIN PROTECCIONES REFERENCIA | PROTECCIONES FIJAS (TECHO-SOMBRA) | PROTECCIONES MÓVILES (TECHO-SOMBRA TIPO TOLDO) |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|
| Refrigeración | 100% | 94,70% (-5,30%) | |
| Calefacción | 100% | 103,20% (3,20%) | 100% |

Fuente: elaboración propia a partir de simulaciones.

Las ponderaciones generales de las tres estrategias de protección solar y sus respectivas posibilidades en cuanto a estados o recursos arquitectónicos se exponen en la tabla 8 y en la figura 6.

Síntesis de porcentuales simulados de aumento o de reducción del consumo de energía, respecto a la situación habitual (o “referencia” –en amarillo–, considerada el valor “base”)

TABLA 8

| ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN SOLAR | A | | B | | | C | | |
|--|---|---------------------------------|--|---|---|---|----------------------------------|---|
| | Protección a sup. verticales mediante espacios semicub. | | Protecciones específicas a vidriados (fijas y móviles) | | | Protecciones específicas a techos (fijas y móviles) | | |
| RECURSOS ARQUITECTONICO-CONSTRUCTIVOS | galerías / pérgolas / toldos junto a espacios cubiertos | | | Fijas: aleros sobre más de 50% de vidriados | Móviles: pantallas vertic. exteriores sobre más de 50% de vidriados | | | |
| POSIBILIDADES ESTADO | en 1 cara vertical expuesta | en 2 caras verticales expuestas | Sin protección | | | Sin protección | Fijas: techo/sombra o sobretecho | Móviles: techo/sombra o sobretecho tipo toldo (corredizo) |
| VALORACIONES | Porcentajes de aumento o reducción del consumo eléctrico para climatizar, según simulaciones con Energy Plus. | | | | | | | |
| REFRIGERACIÓN: % de variación del consumo (respecto a la referencia) | Ref. | -2,3 | Ref. | -1,4 | -0,4 | Ref. | -5,3 | -5,3 |
| CALEFACCIÓN: % de variación del consumo (respecto a la referencia) | Ref. | 1,6 | Ref. | 0,8 | 0,4 | Ref. | 3,2 | 0,0 |

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Luego de evaluar, mediante simulaciones dinámicas, distintos recursos arquitectónicos de protección solar aplicados a muros, a techos y a superficies vidriadas de envolventes de viviendas de producción estatal del Nordeste Argentino, se obtuvieron sus efectos en las condiciones ambientales interiores y, en consecuencia, en la necesidad de energía para climatización (refrigeración en verano y calefacción en invierno) en viviendas. Los rangos de reducción del consumo eléctrico asociados al empleo de los diferentes recursos analizados fueron cuantificados y expresados como un porcentual de aumento o de disminución de la energía para climatización que ellos generan (en períodos fríos y cálidos) en relación con la situación habitual detectada en las viviendas construidas (tabla 8). La protección solar a techos (mediante sobretechos o “techos-sombra”) fue la situación que más posibilidades de reducción de la carga de refrigeración generó (figura 6), si bien es una situación

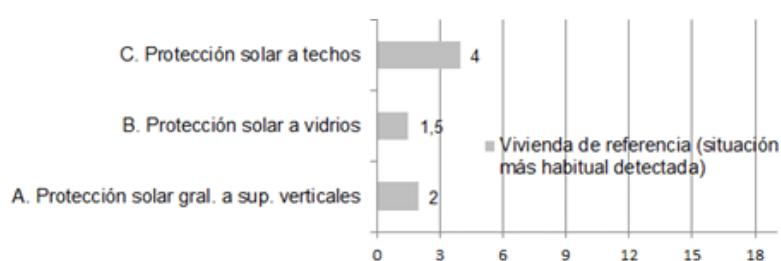


Figura 6. Eficacia proporcional comparativa promedio de las distintas posibilidades de protecciones solares aplicadas a las viviendas-caso, respecto al consumo de energía para refrigeración.

Fuente: elaboración propia.

que no se detecta habitualmente en la región. Le siguen, en cuanto a su significatividad, las protecciones a superficies verticales expuestas (mediante espacios semicubiertos, como galerías y pérgolas contiguas o adosadas). Por último, y comparativamente, la protección a vidriados fue la situación que menos posibilidades de reducción de la carga de refrigeración generó, dadas las reducidas

dimensiones de las aberturas que las viviendas-caso poseen, en relación con sus superficies opacas. En este sentido, líneas futuras de investigación podrían considerar el impacto de los aumentos de factor o porcentaje de vidriado en las diferentes caras expuestas de las viviendas y sus impactos en la carga térmica de climatización (y en la energía asociada a dicha carga).

REFERENCIAS

- Alías, H. M.** (2020). Eficiencia energética para climatización de viviendas de producción estatal del nordeste argentino: modelo metodológico para su evaluación integral y calificación en el clima muy cálido – húmedo [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Litoral (UNL)]. Biblioteca UNL.
- Department of Energy [DOE] (2016).** **EnergyPlus.** Energy Simulation Software (Versión 8.4). U.S. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- Ganem, C., Rodríguez, J., Avellaneda, J., Esteves, A. y Pattini, A.** (2003). Comparación del rendimiento lumínico de protecciones solares exteriores opacas y translúcidas en fachadas vidriadas. Casos de refuncionalización y nuevo diseño de oficinas en Barcelona. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 7(2), 79-84.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM]** (2019). Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética. N° de publicación IRAM 11900. Modificación N° 1.
- Mesa, N. y Morillón, D.** (2005). Metodología para el diseño optimizado de las herramientas de control solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 9, 37-42.
- National Laboratory of the U.S. Department of Energy [NREL], Office of Energy Efficiency and Renewable Energy** (2015). OpenStudio (Version 1.10). U.S. <https://www.openstudio.net/node/2136>
- Nota, V. M., Gonzalo, G. E. y Ledesma, S. L.** (2002). Evaluación de la iluminación natural y de las protecciones solares en edificios de oficinas de la ciudad de s. M. de Tucumán. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 6 (1), 7-12.
- Pattini, A., Villalba, A., Córica, L., Rodríguez, R. y Ferrón, L.** (2011). Características ópticas de chapas metálicas perforadas de control solar en fachadas vidriadas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 15, 123-132.
- Raspall Galli, C., Valeros, J. y Evans, J. M.** (2006). Protección solar en la envolvente edilicia: procesos y herramientas de evaluación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 10, 71-75.
- University of California [UCLA]** (2014). Climate Consultant (Versión 5.5). U.S.