

LA DIMENSIÓN HUMANA EN EL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS DE PRODUCCIÓN ESTATAL DE CIUDADES DEL NORDESTE ARGENTINO

Alías, Herminia M.; Jacobo, Guillermo J.
heralias@arq.unne.edu.ar - gjjacobo@arq.unne.edu.ar

- Investigadora SGCyT – UNNE y CIN. Profesora adjunta (FAU-UNNE).
- Investigador SGCyT – UNNE y CIN. Profesor titular (FAU-UNNE).

PALABRAS CLAVE

Hábitat, uso, climatización.

RESUMEN

Se consideraron viviendas de operatarias oficiales en las ciudades capitales del nordeste argentino, que se sintetizaron en cinco casos tipológicos. Se realizaron encuestas a habitantes, monitoreos (térmicos y ocupacionales) a viviendas-caso, evaluaciones tradicionales de desempeño higrotérmico y consumo de energía para climatización. Se configuró un diagnóstico de situación, se caracterizaron algunas modalidades de uso y se identificaron variables significativas incidentes en el desempeño. Dichas variables se agruparon en tres dimensiones: entorno, diseño arquitectónico de la vivienda y uso y gestión de sus habitantes. Se obtuvo un porcentual relativo de incidencia en el consumo para climatización de cada una: 10 %, 30 % y 60 %, respectivamente. Más allá de ciertas cualidades básicas de la vivienda, su desempeño depende principalmente del accionar de sus habitantes, constituyendo una primera aproximación a un modelo interpretativo de evaluación de eficiencia energético-ambiental de viviendas regionales.

<http://dx.doi.org/10.30972/adn.0106360>

THE HUMAN DIMENSION IN
THE THERMAL CONDITIONING
OF STATE-PRODUCED HOUSES
IN CITIES OF ARGENTINIAN
NORTHEAST

KEYWORDS

Habitat, use, air conditioning

ABSTRACT

Houses of official operations in the capital cities of Argentinian northeastern were considered, which were synthesized in five typological cases. Surveys of inhabitants, monitoring (thermal and occupational) of case-houses, traditional evaluations of hygrothermal performance and energy consumption for air conditioning were carried out. A diagnosis of the situation was configured, some modalities of use were characterized and significant incident variables in performance were identified. These variables were grouped into three dimensions: environment, architectural design of the dwelling, and use and management of its inhabitants. A relative percentage of incidence in the consumption for air conditioning of each one was obtained: 10%, 30% and 60%, respectively. Beyond certain basic qualities of housing, its performance depends mainly on the actions of its inhabitants, constituting a first approximation to an interpretive model for the evaluation of energy environmental performance of regional dwelling.

INTRODUCCIÓN

El nordeste argentino (NEA) como región, que responde más a similitudes socioeconómicas que geográficas (aunque toda la región tiene clima muy cálido), incluye las provincias de Chaco, Corrientes, Misiones y Formosa, siendo sus ciudades capitales Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa, respectivamente. Buena parte del NEA pertenece a la zona bioambiental muy cálida y húmeda (IRAM, 2012), con temperaturas máximas superiores a 34 °C, con sensaciones térmicas superiores potenciadas por las significativas humedades relativas (medias entre 65 y 85 % durante casi todo el año) y con amplitudes térmicas inferiores a 14 °C y valores máximos de irradiación solar global diaria de hasta 1000 W/m². Las condiciones estivales tienen una duración efectiva que excede ampliamente la extensión estacional teórica de tres meses. En las cuatro provincias se han construido a través de los respectivos Institutos de Vivienda unas 63.000 unidades en el período 2004-2014. De este total, casi un 40 % corresponde a las ciudades capitales, constituyendo grupos pequeños y muy similares de viviendas individuales, en baja densidad, de planta baja (y en muy pocos casos en dúplex), de entre veinte y cien unidades. Se implantan en zonas periurbanas, apareados o entre medianeras, y constructivamente se resuelven mediante cubiertas livianas metálicas y muros exteriores de ladrillos cerámicos (huecos o macizos, de poco espesor) y por carpinterías de madera o de perfilera metálica. Se ha detectado una producción de veintidós prototipos de viviendas individuales. Las analogías y diferencias entre ellos permitieron agruparlos en cinco casos principales de viviendas (tabla 1).

APROXIMACIONES CONCEPTUALES

La denominada "Transición Energética Argentina al 2050" tiene el objetivo de lograr la diversificación de la matriz energética con Energías Renovables, Eficiencia Energética (EE) en la vivienda y un escenario de estrategias para la reducción de emisiones, siguiendo la experiencia internacional (Fernández, 2019). Desde el año 2005, un tercio de la energía en Argentina se destina al sector vivienda (Ministerio de Hacienda, 2018), por lo que el sector residencial reviste potencial para una reducción energética significativa. Reducir el consumo energético general permite reducir el consumo de combustibles fósiles y la emisión de gases ligados al calentamiento global.

En el NEA la electricidad constituye el tipo de energía casi excluyente utilizado por las viviendas, siendo la refrigeración el rubro más significativo. La demanda de energía eléctrica promedio en las principales ciudades del NEA tiene un crecimiento sostenido en las tres últimas décadas, frente al uso intensivo y creciente de climatización electromecánica. Esto determina altos costos económicos para lograr condiciones de habitabilidad, o bien determina condiciones de vida deficientes cuando el habitante no cuenta con recursos para acceder al acondicionamiento electromecánico. Este panorama tiene consecuencias sociales, políticas y económicas negativas. De ello surge que, para proyectar y construir viviendas ambiental y energéticamente eficientes en el NEA, un aspecto que hay que mejorar es el de la energía demandada para su climatización, especialmente en los extensos y

rigurosos períodos cálidos (si bien no es posible prescindir de equipos de acondicionamiento, es factible que su uso resulte menos intensivo).

Así como el clima influye en la vida del hombre determinando parte de sus comportamientos y las características de su hábitat, también el hombre, en la búsqueda del bienestar y en la interacción con su vivienda, impacta fuertemente en el desempeño térmico y energético del sector residencial (Andreoni Trentacoste & Ganem Karlen, 2017). Cuando prototipos de vivienda diseñados para una "familia tipo" son habitados por grupos heterogéneos y sometidos a usos imprevistos, pueden generarse situaciones extremas (Sulaiman *et al.*, 2009). Las gestiones de los habitantes para adecuar a sus preferencias las condiciones ambientales de la vivienda, influenciados por factores socioeconómicos y culturales, quedan fuera del control y del diseño arquitectónico, y determinan que el funcionamiento del edificio dependa del comportamiento humano y del modo en que se opere la vivienda (Re & Blasco Lucas, 2010; Wagner & O'Brien, 2018). Tanto en la planificación, diseño y producción del hábitat residencial estatal como en su tradicional evaluación de desempeño, los habitantes son usualmente considerados como "usuario tipo", independientemente de sus costumbres en las distintas regiones socio-geográficas del país.

La vivienda producida con fondos estatales en Argentina ha utilizado históricamente criterios de diseño subordinados a aspectos económicos y/o técnicos, sin considerar suficientemente aspectos socioculturales, ambientales ni energéticos. En este sentido, urge producir viviendas que

causen el menor impacto ambiental negativo en su ciclo de vida y que garanticen la inclusión social y calidad de vida de sus habitantes, apuntando al derecho a una vivienda digna desde las ópticas política, social, económica y ambiental, y de esta forma hagan un uso efectivo de los recursos públicos, a través del enfoque sustentable (Ferreira & Czajkowski, 2019). En función de ello, se hace necesario contar con modelos de evaluación de la vivienda social tendientes a incorporar una visión lo más integradora y contextualizada posible, tanto de los recursos físico-materiales y energético-ambientales como de sus habitantes, a la vez que orientados a un uso simplificado. Existe en general cierta carencia de tales modelos. No es ajeno a ello el sector de las viviendas de producción estatal del clima muy cálido y húmedo argentino.

En América Latina, más del 80 % de las iniciativas tendientes a mejorar la Eficiencia Energética (EE) y ambiental de las edificaciones evalúa el desempeño de estas a partir de la demanda energética y del cumplimiento de valores admisibles de ciertos indicadores (transmitancia térmica, factor solar, etc.), lo que no permite realizar una evaluación integral de los edificios; mientras el 20 % lo evalúa a partir del consumo energético (Reus-Netto *et al.*, 2019).

Hasta fines de 2017, la evaluación general de desempeño energético edilicio estuvo parcialmente contemplada por dos normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM): la N.º 11659-2 y la N.º 11900. Esta última fue modificada en el año 2017 incluyendo un método de cálculo en régimen cuasiestacionario

de las "**Prestaciones energéticas en viviendas**" (IRAM, 2017), que es el que actualmente está incluido en la Ley 13.093 de **Etiquetado de EE de Viviendas** de la provincia de Santa Fe (en etapa de reglamentación) y que está en vías de sancionarse en algunas otras provincias argentinas. Dicha evaluación energética no incorpora aún aspectos cualitativos determinantes del consumo de energía para climatización, como los referidos a la influencia del uso de los habitantes. Para el sector residencial producido por el Estado, por su parte, no existe obligatoriedad de evaluación integral de la calidad ambiental que incluya una evaluación de EE para climatización, fuera de los **Estándares Mínimos de Calidad para Viviendas de Interés Social**, que actualizados en agosto de 2019, aunque aún sin aplicación efectiva, exigirán la presentación de un informe de certificación de EE realizado conforme a la norma IRAM 11900 (Ministerio del Interior, Secretaría de Vivienda, 2019). En dichos estándares no se incorporan tampoco aspectos determinantes del desempeño, como los modos de uso y gestión.

El concepto de Eficiencia Energética (EE) refiere a funcionar prestando más servicios y consumiendo la misma cantidad de energía, o bien los mismos servicios consumiendo menos energía (OCDE y IEA, 2015). Un camino para lograrla consiste en mejorar el comportamiento térmico de la vivienda, con la aplicación de ciertas estrategias pasivas de diseño y de uso. La mejora ambiental, urbano-arquitectónica y energética de viviendas de producción estatal (reduciendo su demanda de energía para climatización, principal rubro de su consumo) es factible mediante

un proceso de planificación, diseño, producción y gestión que permita la aplicación y combinación de variables (y estrategias) de diseño urbano, edilicio y de uso, tendientes al logro de las condiciones de bienestar sin generar excesivo gasto energético. Dicha mejora puede interpretarse y gestionarse desde un modelo conceptual y metodológico de análisis y evaluación de EE, incorporando la valoración cualitativa (a las tradicionales valoraciones cuantitativas), integrando variables urbanas, arquitectónicas y de uso (Alías, 2020). Este modelo puede desarrollarse a partir de la previa identificación de los principios climáticos generadores, así como de las pautas de apropiación y comportamiento de los habitantes de las viviendas, lo que constituye la base para generar una mejor solución arquitectónica. En este sentido, las evaluaciones térmicas y energéticas, de edificios en general y de viviendas en particular, no consideran suficientemente la incidencia del habitante como factor determinante, sino que lo consideran una "invariante". **Pero la consideración del habitante, en su dimensión humana, supone una afectación a la mayoría de los puntos de discusión sobre la evaluación térmico-energética** (Alías, 2020).

Lo expuesto se inserta en una investigación mayor, cuyo objetivo fue definir lineamientos para la construcción de un modelo integrador de evaluación de eficiencia energética para climatización de viviendas de producción estatal del clima muy cálido y húmedo del NEA, orientado a un uso simplificado. En función de ello, se presenta aquí una caracterización de viviendas y modalidades de uso y gestión, desde el punto de vista del comportamiento ambiental térmico y el consumo energético para climatización consecuente, así como una identificación de algunas de las variables más significativas incidentes en ellos.

METODOLOGÍA

Se analizaron viviendas de producción estatal (construidas entre los años 2004 y 2014) en las ciudades de Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa (22.200 viviendas, de las que se consideró un subgrupo o **población** de 4300 viviendas), repetitivas en las cuatro ciudades, que se agruparon en cinco casos tipológicos principales (tabla 1). De las cinco viviendas-caso y sus habitantes se generaron datos acerca de su desempeño térmico y de consumo de energía para climatización (a través de instancias de evaluación cuantitativas) y se determinaron ciertas características comunes y correlaciones respecto de algunas modalidades de uso (a través de otras instancias cualicuantitativas). Mediante la interrelación entre los datos producidos se configuró un diagnóstico de **situación general habitual de las viviendas**, a la vez que se identificaron las **variables** de mayor incidencia en su desempeño y demanda de energía resultante. Se definieron **estados** posibles en que cada variable puede encontrarse, que luego fueron ponderados según su grado de acercamiento a la situación habitual, que se definió como la "referencia", y se generaron las **bases para un modelo regional de evaluación de**

eficiencia energética. Las instancias metodológicas y procedimentales llevadas a cabo fueron las siguientes:

Encuestas: se realizaron cien encuestas¹ a habitantes de viviendas de estos cinco casos (en las cuatro ciudades) acerca de aspectos como tiempo de permanencia simultánea en la casa; adaptaciones constructivas y funcionales realizadas; tiempo diario de apertura de puertas y ventanas y tiempo de uso de climatización artificial; percepciones de sensación térmica, entre otras. Luego se establecieron algunas correlaciones entre dichos aspectos. Las encuestas fueron analizadas estadísticamente por centro urbano, por época de realización (estival o invernal) y por tipo de vivienda. El formulario de la encuesta incluyó también una sección introductoria, que supuso una observación rápida y registro (por parte del encuestador) de condiciones físicas, espaciales y de uso de la vivienda: temperatura ambiente interior y humedad relativa del lugar donde se encuestaba (tomadas mediante un termohigrómetro manual), así como de su situación en cuanto a apertura de puertas y ventanas. También se incluyeron preguntas sobre las sensaciones térmicas y percepciones de los encuestados respecto de sus viviendas, tanto en general en épocas cálidas y frías, como específicamente sobre sus sensaciones en el momento mismo de la encuesta (se proporcionó una escala de sensaciones de confort térmico para cada período climático). Kuchen *et al.* (2011) destacan la importancia de relevar el voto de sensación térmica y la necesidad de que cualquier medición esté acompañada de una encuesta simultánea. Luego se analizaron las valoraciones de los encuestados para vincular las temperaturas interiores de las

viviendas y las sensaciones del habitante en relación a estas, teniendo en cuenta que la adaptabilidad de las personas y su percepción de confort varían de acuerdo con el clima y los aspectos biológicos, fisiológicos y psicológicos considerados por los modelos adaptativos (Arrieta & Maristany, 2020).

Monitoreos higrotérmicos y ocupacionales: en dos de las viviendas (en condiciones habituales de uso), la del Caso 1 y la del Caso 2, (en ciudades Resistencia y Corrientes, respectivamente), se realizaron **monitoreos higrotérmicos** y **monitoreos ocupacionales** (registros realizados por los propios habitantes de ciertas actividades horarias). Los **higrotérmicos** consistieron en mediciones de evolución horaria de **temperatura y humedad relativa**, interiores y exteriores (cada diez minutos, mediante adquirentes de datos modelo **Hobo** instalados en algunos locales y en espacios semicubiertos), así como de **radiación solar** y **velocidad de viento** (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 diez días corridos cada uno. Los **monitoreos ocupacionales**, realizados en las mismas viviendas y en simultáneo con los monitoreos higrotérmicos, aportaron a la definición de un marco general interpretativo respecto de rasgos de algunas actividades cotidianas y su incidencia en el desempeño térmico de las viviendas. Los datos de actividades por cada local (figura 1) se superpusieron a los datos aportados por los monitoreos térmicos de ese local.

1. *Tamaño de muestra para un nivel de confianza de 95 % (con margen de error de 10 %), para una población de aproximadamente 4300 viviendas consideradas dentro del universo.*

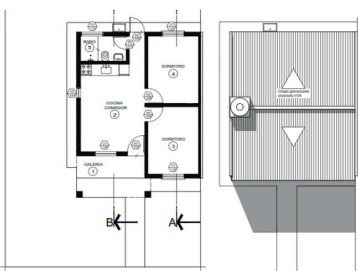


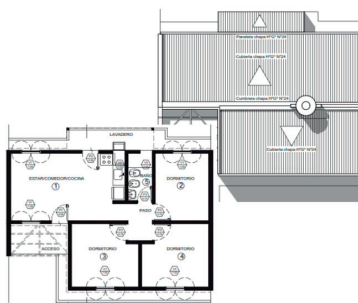


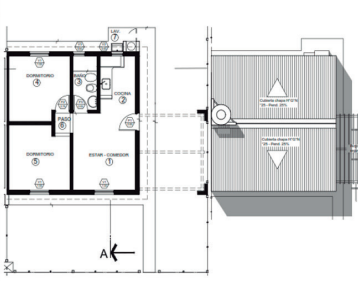
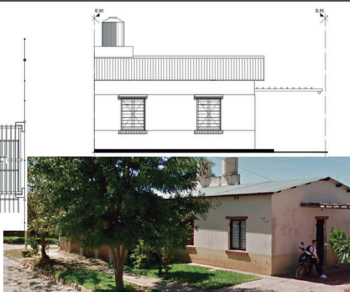

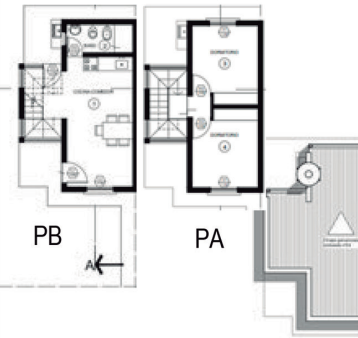


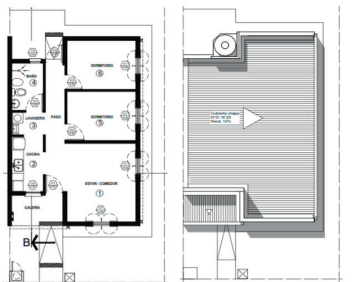
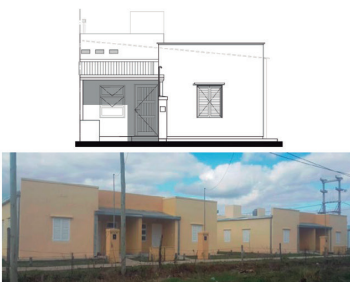

DESIGNACIÓN		PARCELAMIENTO			EDIFICACIÓN		
Pcia.	Nombre	Ancho Lote	Implantac.	cant niv/Sup	Plantas	Fachada	
CASO 1 - RCIA. - CTES. - POSADAS - FORMOSA	PROMHI B 2D	8 m.	Apareada	1			
		45 m ²					
CASO 2 - RCIA. - CTES. - FORMOSA	LP2 3D	10 m.	Entre medianeras	1			
		62 m ²					
CASO 3 - RCIA. - CTES. - POSADAS - FORMOSA	PT 42	10 m.	Apareada	1			
		43 m ²					
CASO 4 - RCIA.	MBI DX 2D	11,1 m.	Apareada	2			
		50 m ²					
CASO 5 - CTES.	PT 60 universal	8-10m.	Apareada	1			
		62 m ²					

Tabla 1. Los cinco casos tipológicos de viviendas identificados y analizados. Fuente: elaboración propia

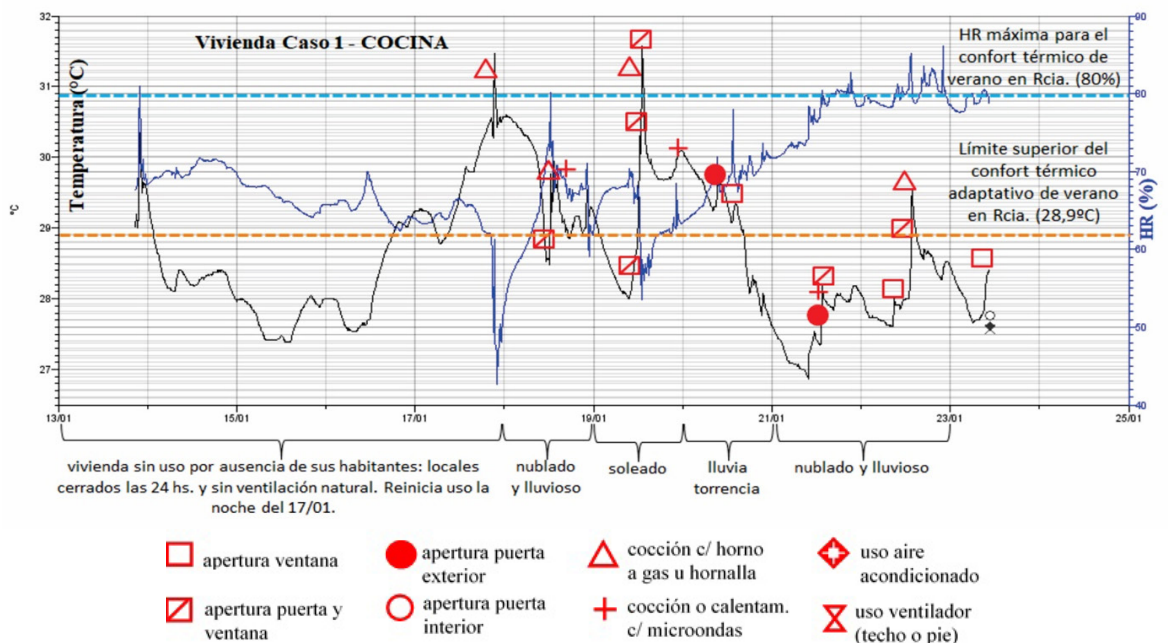


Figura 1. Superposición de datos de monitoreo ocupacional sobre monitoreo higrorémico simultáneo (ejemplo para el local Cocina de la 0 vivienda – caso 1). Fuente: gráfico arrojado por software HOBOWare (Onset, 2017), con intervenciones propias

Definición de indicadores: para el análisis de los resultados de los monitoreos se propusieron tres grupos de indicadores, para caracterizar cada local y permitir la comparación entre locales, viviendas y períodos climáticos. Dichos grupos de indicadores fueron:

Indicadores dimensionales-morfológicos: referidos a las condiciones derivadas de características geométricas y constructivas de la vivienda. Son de uso habitual en el campo de la EE edilicia y son invariantes para cada local de una misma vivienda en cualquier período: factor de vidriado en muros, factor de forma, factor de área envolvente / piso, transmitancia térmica media ponderada.

Indicadores higrorémicos: se tomaron algunos de los propuestos por Boutet (2017), que refieren a condiciones de temperatura y humedad del ambiente interior de un local en relación con dichas condiciones en el exterior y con las condiciones tolerables por las personas. Las condiciones higrorémicas consideradas como de confort fueron

previamente definidas, según el modelo de *confort adaptativo*, para los períodos de monitoreo de las dos viviendas-caso. Se utilizaron:

- Disconfort por calentamiento: expresa el grado de disconfort térmico de cada local monitoreado, respecto del disconfort en el exterior. Involucra la sumatoria de las medidas que resultan positivas (cuando la temperatura del local –o del exterior– es superior a 28,2 °C, o superior a la temperatura límite superior para el confort adaptativo que se determine para el período de monitoreo).
- Disconfort por enfriamiento: similar al anterior, pero referido a las condiciones invernales.
- Índice de bienestar higrorémico ($I_{T,yHR}$): expresa, por comparación, qué locales presentan mejor comportamiento en cuanto a la temperatura y la humedad relativa en forma combinada (aquellos cuyo índice se aproxime más a 1). Se expresa mediante la relación entre el número de medidas en que la temperatura del local monitoreado estuvo entre 20 °C y 28,2°C (y simultáneamente

la HR del local monitoreado estuvo entre 45 % y 70 % HR) y el número total de medidas del período monitoreado (Boutet, 2017).

Indicadores de uso: definidos a partir de incorporar los datos de los horarios de las actividades de los habitantes en las viviendas (obtenidos a través de los monitoreos ocupacionales) a los registros horarios de temperatura y HR de los locales (obtenidos a través de los monitoreos higrorémicos simultáneos). Constituyen un aporte original del trabajo:

- Índice de permanencia: relaciona la cantidad de tiempo que los habitantes pasan en un local determinado de la vivienda con el tiempo total que dura el monitoreo.
- Índice de uso de aire acondicionado: relaciona la cantidad de tiempo que se usa el aire acondicionado en un local determinado con el tiempo total que dura el monitoreo.
- Índice de local abierto: relaciona la cantidad de tiempo que se mantiene abierta una ventana y/o puerta al exterior en un local determinado con el tiempo total que dura el monitoreo.

- Modo horario estival de local abierto: relaciona la cantidad de tiempo que se mantienen abiertos vanos al exterior en épocas cálidas cuando la temperatura exterior es mínima, con el tiempo total que dura el monitoreo (cuanto más se acerque a 1, más favorable para el refrescamiento es el horario de apertura).

- Índice de uso de ventilación forzada e índice de tiempo de cocción de alimentos: con criterios de relación similares a los anteriores.

Análisis de indicadores y correlación con encuestas: se compararon los indicadores de los locales de las dos viviendas monitoreadas y se definió un diagnóstico general. Las modalidades de uso y gestión de los habitantes se consideraron, por sus repercusiones en el acondicionamiento de los ambientes y atendiendo a las sensaciones térmicas y las pautas de gestión y adaptación aplicadas, como insumos en la definición de lineamientos para un modelo conceptual de evaluación, a la vez que como base de las modelizaciones para las instancias de evaluación siguientes.

Evaluación tradicional de desempeño térmico y consumo de energía: las cinco viviendas-caso fueron evaluadas mediante tres metodologías tradicionales, para determinar rangos habituales de desempeño higrotérmico y de consumo energético para climatizar, definiendo un **desempeño general de referencia**, integrando y ponderando los aportes de cada metodología. Cada vivienda se consideró con climatización tanto en zonas de dormir como de estar (situación teórica). A modo referencial, se obtuvieron datos de consumos de electricidad reales de un período anual completo (que incluyó los períodos monitoreados) en las dos viviendas-caso. Dichas evaluaciones consistieron en las siguientes instancias:

- **Evaluación según métodos estacionarios:** se realizaron balances térmicos de las cinco viviendas-caso mediante norma IRAM 11659-2 (IRAM, 2007), que establece un método de cálculo para determinar la carga tér-

mica de refrigeración. A este balance se agregó el cálculo de las cargas térmicas por **radiación indirecta** (la que incide sobre elementos opacos), ya que la norma no lo incluye. Se consideró a cada vivienda habitada por cinco personas (promedio obtenido en las encuestas).

- **Evaluación según métodos cuasiestacionarios:** se determinaron las **Prestaciones Energéticas (PE)** de las cinco viviendas-caso, según la norma IRAM 11900 (IRAM, 2017). Las PE representan una estimación de la energía primaria que demandaría la normal utilización del inmueble durante un año y por metro cuadrado de superficie útil, para satisfacer las necesidades de calefacción, refrigeración, iluminación, agua caliente sanitaria y aportes por energías renovables (si los hubiera). En este trabajo se analizó la obtenida para refrigeración. Las PE fueron determinadas usando un **Aplicativo Informático** (Ministerio de Hacienda, Secretaría de Energía, 2019), que también arroja los requerimientos de **energía secundaria** (electricidad como vector energético) para cada uno de los rubros. Esta evaluación determina un **requerimiento** teórico, calculado con base en hipótesis y condiciones estandarizadas de uso (que no se editan desde el aplicativo informático).

- **Evaluación según métodos dinámicos:** se realizaron simulaciones para las cinco viviendas-caso mediante el **software Energy Plus (Department of Energy, 2016)**, realizando el diseño de cada modelo que se iba a simular mediante **Google Sketch Up** y **Open Studio (National Laboratory of the US Department of Energy, 2015)**.

El ajuste de los modelos introducidos al **software** se realizó a partir de los resultados de los monitoreos

efectuados en dos viviendas (casos 1 y 2), y se obtuvo un ajuste aceptable entre temperaturas medidas y simuladas. El horario de uso de los artefactos y equipos se introdujo en el **software** en diferentes programaciones, según el promedio diario detectado de horas de uso de aquellos. El programa permite representar el uso intermitente de las viviendas con mucho más nivel de detalle respecto del balance térmico estacionario y el cuasiestacionario. De todos modos, se acepta que los programas de simulación, al utilizar programaciones horarias fijas del comportamiento de las personas, también pueden arrojar resultados con diferencias respecto del comportamiento real edilicio.

A partir de estas instancias procedimentales se configuró un **diagnóstico de la situación habitual general** y se identificaron las **variables significativas incidentes** en el comportamiento higrotérmico y en el consumo de energía para climatización. Con ellas se definieron los **lineamientos de un modelo de interpretación** del consumo de energía (y la EE) para climatización de las viviendas.

ALGUNOS RESULTADOS

Del procesamiento y análisis de las **encuestas**, las principales diferencias surgieron por período climático, no así por centro urbano ni por tipo de vivienda-caso, en cuanto a pautas de uso, sensaciones de confort térmico y modalidades de la ventilación selectiva (horarios y locales en que se aplica, en período frío y en período cálido). Las modalidades de tal ventilación se caracterizaron a partir de los promedios estadísticos de las respuestas obtenidas, cotejadas con los monitoreos ocupacionales.

En cuanto a los **monitoreos** en ambas viviendas-caso, en los períodos fríos en general, las temperaturas interiores se mantuvieron, durante la mitad del tiempo monitoreado, por debajo de los límites inferiores del confort adaptativo de invierno, mientras que en los períodos cálidos se mantuvieron, durante casi todo el tiempo de monitoreo, por encima de los límites superiores del confort adaptativo de verano. A partir de los monitoreos y mediante la interpretación de los indicadores definidos, se validaron los datos de las encuestas, caracterizándose algunas situaciones de uso:

- La ventilación selectiva en las viviendas se realiza, en **épocas cálidas**, con un criterio inapropiado (apertura de vanos en horarios de máximas temperaturas exteriores), mientras que en **épocas frías** prevalece un criterio apropiado, según surge de los análisis estadísticos realizados.
- El uso del aire acondicionado para refrigerar la totalidad de la vivienda no fue detectado: la prioridad para la instalación de los equipos de acondicionamiento la tienen los dormitorios. Solo un 13 % de las viviendas encuestadas dispone de equipos de calefacción.
- Las personas encuestadas expre-

saron mayor incomodidad térmica en sus viviendas en épocas cálidas respecto de épocas frías: la mayoría (82 %) valora la vivienda "calurosa" en verano, mientras que en invierno la mayoría (también un 82 %) la valora como "neutral". No obstante, las respuestas de sensaciones térmicas indicarían un rango muy ampliado de adaptación a las condiciones cálidas, ya que los extremos (y las temperaturas medias de 34 °C y 34,5 °C) en que los encuestados expresaron sensaciones de "demasiado calurosa" y "calurosa" en sus viviendas, resultaron 6 °C mayores a los del límite superior del **modelo adaptativo de confort** (28,3 °C), en tanto que los extremos (y la media de 33 °C) en que expresaron sensaciones de "neutralidad" resultaron 7 °C mayores a la temperatura de neutralidad media de dicho modelo (25,8 °C).

- La cocina-estar es el local con las temperaturas promedio más altas, con máximas en el horario del mediodía, coincidentes con el uso del horno para cocción, registrando los mayores tiempos diarios de ventilación natural en ese mismo horario, lo que ratifica la gran incidencia del uso en el desempeño.

Por su parte, la **facturación eléctrica anual** en las viviendas monitoreadas determinó que los consumos de la vivienda del caso 1 resultaron casi el doble de los de la vivienda del caso 2, pese a que la primera tiene menos habitantes y menor superficie cubierta, aunque tiene más cantidad de equipos de refrigeración y cuenta con equipos de calefacción. Esto ratifica la importancia decisiva del uso en el desempeño.

La **evaluación tradicional** de desempeño térmico y consumo de energía (tabla 2) arrojó un grado de ajuste razonable entre los resultados de las tres metodologías aplicadas y permitió determinar un **consumo de energía para climatización de referencia: 270 kWh/m² año para refrigeración y 84 kWh/m² año para calefacción**. A partir de los resultados obtenidos (tabla 2), se desarrolló una propuesta que interpreta y sistematiza los **tipos de aporte a las cargas térmicas** en las viviendas-caso (vías a través de las cuales se generan dichas cargas) y su incidencia en el consumo para climatización (tabla 3).

VÍA DE LAS CARGAS TÉRMICAS	BALANCE TÉRMICO SIMPLIFICADO (%)	SIMULACIONES ENERGY PLUS (%)
SUPERFICIES OPACAS (radiación indirecta + conducción)	30 al 50 % de ganancia	35 al 68 % de ganancias 60 al 70 % de pérdidas
VENTILACIÓN	4 % de ganancias	30 al 44 % de ganancias 16 al 24 % de pérdidas
FUENTES INTERNAS	11 al 20 % de ganancias	12 al 20 % de ganancias
RADIACIÓN DIRECTA	4 al 15 % de ganancias	3 % de ganancias 1 % de pérdidas

Tabla 2. Tipos de aporte a la carga térmica, según evaluación tradicional. Fuente: elaboración propia

APORTE				70% a 89%			11% a 20%		100%			
				% de Pérdidas de energía (en época fría), que se necesita aportar mediante calefacción			1%					
				60 a 70 %	1%	16 a 24 %	1%					
		% de Ganancias de energía (en época cálida), que se necesita extraer mediante refrigeración		30 a 68 %	3 a 15 %	30 a 44 %	4 a 6 %	7 a 18 %	100%			
DIMENSIONES Y VARIABLES DEL CONSUMO DE ENERGÍA PARA CLIMATIZACIÓN DE VIVIENDAS DE PRODUCCIÓN ESTATAL DEL NORDESTE ARGENTINO	C. DE LA MODALIDAD DE USO Y GESTIÓN	C.4	Gestión y control	Control de dispositivos de protección solar móviles		●				●	60%	
				Ampliaciones de superficie cubierta	●	●	●			●		
		C.3	Intensidad del uso cotidiano	Desarrollo de actividades económico-productivas					●	●		
				Tiempo diario de cocción con horno u hornalla					●			
				Cantidad de personas				●				
		C.2	Climatización electromecánica: gestión	Termostato de refrigeración					●			
				Tiempo diario de uso de climatización					●			
				Disponibilidad y zonas de climatización electromecánica					●			
		C.1	Ventilación selectiva	Modalidad de apertura de vanos			●					
		B. DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE LA VIVIENDA	B. DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE LA VIVIENDA	B.7	Ventilación natural				●			
				B.6	Compacidad del partido, según Factor de Area Envolvente / Piso (FAEP)		●		●			
				B.5	Inercia térmica de la envolvente, según retraso	Techos: retraso térmico	●					
	Muros exteriores: retraso térmico					●						
	B.4			Aislación térmica de la envolvente externa, según transmitancia	Carpinterías: transmitancia ponderada	●	●					
					Techos: transmitancia	●						
					Muros exteriores opacos: transmitancia	●						
	B.3			Protección solar	Protección por color de superficie expuesta	●						
					Protecciones a vidrios y/o a techos	●	●	●				
					Protecciones a superficies verticales	●	●					
	B.2	Porcentaje de vidriados			●	●						
	B.1	Orientación eje fachada / contrafachada		●	●	●						
	A. DEL DISEÑO URBANO DEL ENTORNO	A. DEL DISEÑO URBANO DEL ENTORNO	A.5	Tipo de implantación en lote		●	●	●				
			A.4	Arbolado en espacio exterior inmediato		●	●	●				
			A.3	Tipo de superficies de veredas, calles y espacios libres adyacentes		●	●					
			A.2	Densidad urbana inmediata		●	●	●				
			A.1	Centro urbano (y localidades asimilables)		●	●	●				
	DIMENSIONES	VARIABLES		SUP. OPACAS (rad. indirecta + conducción)	SUP. VIDRIADAS (rad. directa)	VENTILACIÓN	PERSONAS	EQUIPOS Y APARATOS-LUCES	% de incidencia en carga total climatización			
	INCIDENCIA EN LOS TIPOS DE APORTE O VÍAS DE LAS CARGAS TÉRMICAS				APORTES EXTERNOS		APORTES INTERNOS					

Tabla 3. Porcentuales generales de incidencia de cada tipo de aporte y de cada dimensión en el consumo total, según las evaluaciones realizadas. Dimensiones y variables incidentes en el consumo de energía para climatización. Fuente: elaboración propia

Cada tipo de aporte se interpreta como dependiente de una serie de variables, que se proponen agrupadas en tres dimensiones: la **del entorno**, la **del diseño arquitectónico** y la **del uso y gestión**, según el detalle de la tabla 3. Se definió un porcentual de incidencia de cada dimensión: 10 % para la **del diseño urbano del entorno**; 30 % para la **del diseño arquitectónico** y 60 % para la **de la modalidad de uso y gestión**, en función de los porcentajes aproximados obtenidos para cada tipo o vía de aporte (tabla 2). La **modalidad de uso** tiene incidencia en todas las vías a través de las cuales se producen las ganancias y pérdidas de energía (que la climatización debe equilibrar). Las **variables** que se definen en cada dimensión (tabla 3) son las siguientes:

- En la **del diseño urbano del entorno**: **centro urbano** al que pertenece la vivienda, **densidad del área de implantación**; **tipo de superficies de veredas, calles adyacentes y espacios libres**; **presencia de arbolado**; **tipo de implantación** de la vivienda en el lote y vínculo con viviendas contiguas.

- En la **del diseño arquitectónico** de la vivienda: **orientación** del eje fachada / contrafachada; **porcentaje de vidriados**; **protecciones solares** a muros, vidriados y techos; **aislación térmica de la envolvente**; **inercia térmica de la envolvente**; **compacidad del partido**; **posibilidad de ventilación natural**.

- En la **del uso y gestión** de los habitantes: **uso de la ventilación selectiva** (según modalidad de apertura de vanos); **gestión de la climatización electromecánica** (según la disponibilidad y zonas en que se instalan equipos de refrigeración y/o calefacción, y el tiempo diario y modo de uso de estos); **intensidad del uso cotidiano** (según la cantidad de personas y sus actividades habituales); **otra gestión y control** (a partir de cuestiones como la existencia de ampliaciones a la vivienda original, el control de los dispositivos de protección solar).

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Se sistematizaron y sintetizaron los aportes de los métodos tradicionales de evaluación de desempeños higrotérmicos y de consumos de energía para climatizar viviendas del clima muy cálido y húmedo regional, a los que se integraron los aportes de las instancias cualitativas de indagación acerca de los usos, preferencias y adaptaciones de los habitantes de las viviendas. Se tradujo dicha interacción cualicuantitativa a algunos indicadores-síntesis, que referencian la situación general, lo que permitió la comparación entre casos. Se diagnosticó un panorama actual de baja calidad del hábitat urbano de producción estatal, en relación con el ambiente y con el uso del recurso energético, que se verifica en el tratamiento de las variables urbanísticas y arquitectónicas, en deficiencias de adaptación a los habitantes, así como en los altos valores de consumo para climatización estival de las viviendas.

Los incipientes lineamientos propuestos, de aproximación a un modelo de interpretación y evaluación de la eficiencia energética para climatización de viviendas del NEA, se basan en un esquema de tres dimensiones: **del entorno urbano**, **del diseño arquitectónico** y **del uso y gestión**. Dada la alta incidencia en el consumo obtenida para las variables de la **dimensión del uso**, surge que las pautas de comportamiento de los habitantes constituyen un aspecto relevante en la valoración del desempeño de viviendas urbanas producidas por el Estado. Entender el modo en el que las personas se relacionan con el ambiente de sus viviendas resulta importante para desarrollar criterios que permitan anticipar y considerar la manera en que estas personas (y las viviendas) podrían responder frente a ciertas condiciones de partida. Un diseño urbano y arquitectónico que tenga en cuenta solo las estrategias

edilicias y materiales no garantiza un uso eficiente de la energía para climatización. En el uso y gestión, naturalmente, tienen incidencia directa aspectos sociales y culturales de la población implicada: partir de su consideración representaría la posibilidad de un mayor acercamiento al mejoramiento de la calidad de vida en el hábitat.

Las variables que definen a cada dimensión podrían ser ponderadas, a partir de aquí, según su proximidad, por un lado, a la **vivienda real habitual construida** y, por otro lado, según su proximidad a una **vivienda mejorada energéticamente** en el clima muy cálido y húmedo de los principales centros urbanos del NEA. Un modelo simplificado de interpretación y evaluación de la energía necesaria para climatizar las viviendas en el clima regional podría tener un impacto conceptual para mejorar variables de diseño y de uso, con factibilidad de aplicación en buena parte de los sectores involucrados.

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, Santa Fe, Argentina.
- Andreoni Trentacoste, S. E. & Ganem Karlen, C. (2017). Influencia del uso y gestión de la envolvente en el comportamiento térmico de verano de una vivienda en la ciudad de Mendoza, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(2), 64-75. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.06>

- Arrieta, G. & Maristany, A.** (2020). Rangos de confort estival de viviendas en Córdoba como referencia para el acondicionamiento natural. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 24, 7-18. [Consultado el 10 de enero de 2021]. Disponible en: <https://avermaexa.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/8/3>
- Boutet, M. L.** (2017). *Acondicionamiento higrotérmico-lumínico de edificios escolares en zonas urbanas de la región NEA. Auditorías energéticas y propuestas de mejoras mediante diseño solar pasivo*. [Tesis Doctoral], Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- Department Of Energy [DOE]** (2016). *EnergyPlus Energy Simulation Software* (Versión 8.4). U.S. [Descargado el 6 de enero de 2017]. Disponible en: <https://energyplus.net/downloads>
- Fernández, R.** (Coord.). (2019). *Transición Energética 2050. Hacia una visión compartida de la transición energética argentina al 2050: propuesta de objetivos y metas*. (Edición: J. Dumas y D. Ryan). Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética (UBA), Instituto Tecnológico de Buenos Aires, PNUD, Secretaría de Gobierno de Energía. [Consultado el 4 de septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.ceare.org/investigaciones/inv2019_2.pdf
- Ferreira, M. & Czajkowski, J.** (2019). Propuesta de análisis de eficiencia energética e impacto ambiental de la vivienda pública. *Acta de la XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7, 01.69–01.74. [Consultado el 8 de octubre de 2020]. Disponible en: <http://www.exporenovables.com.ar/2019/descargas/actas/tema1/2574.pdf>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM]** (2007). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Viviendas*. (Nº de publicación IRAM 11659-2).
- IRAM** (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. (Nº de publicación IRAM 11603).
- IRAM** (2017). *Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo*. (Nº de publicación IRAM 11900).
- Kuchen, E., Fisch, M. N. & Gonzalo, G. E.** (2011). Modelo de Confort. Rangos de Aceptación Térmica. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2(1), 35-41. [Consultado el 21 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/99375>
- Ministerio de Hacienda, Presidencia de la Nación** (2019). *Balances Energéticos Nacionales 2016 y anteriores* (2018). [Consultado el 15 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/energia/hidrocarburos/balances-energeticos-0>
- Ministerio de Hacienda, Secretaría de Energía** (2019). *Etiquetado de Viviendas. Aplicativo informático*. [Consultado el 3 de julio de 2019]. Disponible en: <https://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/>
- Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, Secretaría de Vivienda** (2019). *Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social - Revisión 2019. Marco para la promoción de viviendas inclusivas, asequibles y sostenibles*. [Consultado el 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/if-2019-72275570-apn-dnasyfmi.pdf>
- National Laboratory of the U.S. Department of Energy [NREL]** (2015). *Open Studio* (Version 1.10). U.S. [Descargado el 10 de enero de 2017]. Disponible en: <https://www.openstudio.net/node/2136>
- Onset Computer Corporation** (2017). *HOBOWare* (Versión 3.7.13). Software de gestión de datos para dispositivos y registradores de datos HOBOWare. U.S. [Descargado el 15 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.onsetcomp.com/products/software/hoboware>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y Agencia Internacional de Energía [OCDE y IEA]** (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*. [Consultado el 12 de noviembre de 2016]. Disponible en: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00333.pdf>
- Re, M. G. & Blasco Lucas, I.** (2010). Comportamiento higrotérmico, lumínico y energético de edificios residenciales ubicados en la ciudad de San Juan. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14, 181-188.
- Reus-Netto, G., Mercader Moyano, P. & Czajkowski, J.** (2019). Methodological Approach for the Development of a Simplified Residential Building Energy Estimation in Temperate Climate. *Sustainability*, 11(15), 4040. <https://doi.org/10.3390/su11154040>
- Sulaiman, H., Blasco Lucas, I. & Filippín, C.** (2009). Incidencia del usuario en el comportamiento higrotérmico estival de una vivienda convencional en San Juan. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 53-60.
- Wagner, A. & O'Brien, W.** (2018). *Exploring Occupant Behavior in Buildings* (A. Wagner, W. O'Brien y B. Dong, Eds.). Switzerland: Springer International Publishing AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61464-9>