

*ENERGY FOR THE SUMMER
CONDITIONING OF STATE-OWNED
DWELLINGS IN THE NEA'S HOT-
HUMID CLIMATE, ACCORDING TO
DIFFERENT THERMAL BALANCE
PROCEDURES*

KEYWORDS

Social housing; environmental conditioning; energy efficiency.

ABSTRACT

The thermal performance of three types of urban state-owned dwellings for repetitive use in the cities of Resistencia, Corrientes, Posadas and Formosa (included in the very hot and humid bioenvironmental zone of the country, according to IRAM 11603 standard) was evaluated, with the aim of to determine its annual energy requirements for refrigeration, through two procedures: the quasi-stationary thermal balance established by the IRAM 11900:2017 standard and the stationary thermal balance established by the IRAM 11659-2:2007 standard. Both procedures are easy to apply (as long as they are carried out using computer applications) and allow the comparison of housing design alternatives in different locations, since they provide information on the variables with the highest incidence in energy consumption to condition them and identify possible ways of improvement.

ENERGÍA PARA EL ACONDICIONAMIENTO ESTIVAL DE VIVIENDAS DE PRODUCCIÓN ESTATAL EN EL CLIMA CÁLIDO-HÚMEDO DEL NEA, SEGÚN DISTINTOS PROCEDIMIENTOS DE BALANCES TÉRMICOS

ALÍAS, Herminia M.; JACOBO, Guillermo J.

heralias2001@yahoo.com.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

Viviendas sociales; acondicionamiento ambiental; eficiencia energética.

RESUMEN

Se evaluó el desempeño térmico de tres tipologías de viviendas urbanas de producción estatal de uso repetitivo en las ciudades de Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa (incluidas en la zona bioambiental muy cálida y húmeda del país, según norma IRAM 11603), con el objetivo de determinar sus requerimientos de energía anual para refrigeración, mediante dos procedimientos: el balance térmico cuasiestacionario establecido por la norma IRAM 11900: 2017 y el balance térmico estacionario establecido por la norma IRAM 11659-2: 2007. Ambos procedimientos resultan de sencilla aplicación (siempre que se los realice mediante aplicativos informáticos) y permiten comparar alternativas de diseño de viviendas, en distintas localidades, ya que brindan información referida a las variables de mayor incidencia en el consumo de energía para acondicionarlas e identifican posibles vías de mejoramiento.

INTRODUCCIÓN

La energía es un factor que forma parte de todas las dimensiones de la vida humana y las hace posibles. Es, además, un elemento que permite la existencia de la arquitectura. Desde el año 2005 persiste la tendencia de que un tercio de la energía en Argentina se destine al sector vivienda. En el Nordeste de Argentina (NEA), que en gran parte pertenece a la zona de clima muy cálido y húmedo del país e incluye las provincias de Chaco, Corrientes, Misiones y Formosa, la electricidad es el tipo de energía casi excluyente utilizado por las viviendas (el gas natural no constituye una fuente energética de uso masivo para climatización en la región, que no cuenta con gasoductos ni tendidos de redes), y la refrigeración es el rubro más significativo (50 a 60 % del consumo total). La demanda de energía promedio en las principales ciudades del NEA tiene un crecimiento sostenido en las dos últimas décadas. En este contexto, el sector residencial de producción estatal, que representa aproximadamente el 35 % del parque residencial de las principales ciudades del NEA, consiste principalmente en viviendas unifamiliares, en baja densidad, que se materializaron con características técnico-constructivas, morfológicas y funcionales similares a las de las ejecutadas en el resto del país, pese a la diversidad geográfica, climática y socio-cultural (Garganta & San Juan, 2012).

La necesidad de energía para acondicionar térmicamente una vivienda, como concepto, resulta indisolublemente ligado a las condiciones de bienestar y calidad de vida de sus habitantes, en conjunto. Sin embargo, no por ello una mejor calidad de vida supone una mayor demanda y consumo de energía, sino más bien un mejor uso de esta sobre la base de una adecuada planificación y diseño urbano-arquitectónico y de una gestión mejorada del uso. Frente a lo expuesto, para proyectar y construir viviendas ambiental y energéticamente eficientes, el rubro más importante que mejorar es el de la energía demandada para su climatización (acondicionamiento ambiental térmico interior). Una manera de hacerlo consiste en aplicar, tanto en su diseño (arquitectónico y urbano) como en su uso y gestión, criterios tendientes a la sustentabilidad (concepto dentro del cual la eficiencia en el uso de la energía resulta uno de los aspectos significativos). En este sentido, las herramientas de interpretación, evaluación y calificación de la energía necesaria para acondicionar (climatizar) dichas viviendas en el clima regional (como los procedimientos normativos que se abordan en este artículo) aportan conceptual e instrumentalmente en el camino de detectar variables significativas en cuanto a su incidencia en la necesidad de energía para el acondicionamiento ambiental de las viviendas, y pueden ser aplicados por aquellos actores involucrados en la planificación, producción y gestión del hábitat y de las ciudades.

En el marco de las políticas tendientes a la sustentabilidad y el uso más eficiente de la energía en el hábitat, para el sector residencial producido por el Estado, salvo en el caso de la provincia de Santa Fe (que a partir del año 2027 exigirá clase de eficiencia energética "C"), en el resto del país no existe aún obligatoriedad de evaluación de eficiencia energética (EE), fuera de los **Estándares Mínimos de Calidad para Viviendas de Interés Social** (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2006). Sin embargo, dichos estándares fueron recientemente revisados y actualizados (en agosto de 2019), por lo que a partir de seis meses de su entrada en vigencia (aún no rigen) se exigirá un informe de certificación de EE realizado conforme con la norma IRAM 11900, para toda vivienda realizada con fondos del Estado nacional, debiéndose verificar el valor del Índice de Prestaciones Energéticas (IPE) que surge de aplicar dicha norma IRAM 11900.

El objetivo de este trabajo fue analizar el comportamiento térmico de tres tipologías de vivienda de producción estatal, a través de la estimación de sus requerimientos de energía para refrigeración mediante dos procedimientos, comparando los requerimientos obtenidos mediante ambos:

- El establecido por la norma IRAM 11900: 2017, mediante el aplicativo informático para calcular el Índice

de Prestaciones Energéticas (IPE) –desarrollado por la Secretaría de Energía de la Provincia de Santa Fe en conjunto con la Secretaría de Energía de la Nación, con miras a implementar el etiquetado de eficiencia energética de viviendas a nivel nacional– con la particularidad de que no se consideraron los requerimientos de energía primaria de todos los rubros (refrigeración, calefacción, iluminación, agua caliente sanitaria), sino solo los de energía útil (térmica), y además solo para refrigeración. Quedó fuera de este estudio la aplicación del apartado de valoración de estrategias pasivas de diseño arquitectónico, que está incluido en IRAM 11900 (a partir de su modificación del año 2019), ya que se centró la atención en los resultados del balance térmico, exclusivamente.

- El establecido por la norma IRAM 11659-2: 2007, mediante una planilla informática de cálculo, desarrollada en el ámbito regional a tal efecto.

METODOLOGÍA

Se analizó el parque residencial de producción estatal construido desde el año 2004 en las ciudades de Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa (capitales de las provincias de Chaco, Corrientes, Misiones y Formosa, respectivamente) a través de los institutos de viviendas provinciales. El universo de análisis estuvo constituido por veintiún prototipos de viviendas urbanas. Las analogías y diferencias entre ellos permitieron

agruparlos en tres tipos principales de viviendas (emblemáticos de las situaciones de diseño arquitectónico y urbano más habituales). Así, se definió una muestra de tres tipologías de viviendas ampliamente difundidas en los principales centros urbanos de la región Nordeste del país (tablas 1 y 2). Ellas fueron: U1 (LP2: entre medianeras, en planta baja); U2 (PT 42: apareada, en planta baja); U3 (MBI Dx: apareada, en dúplex). En cuanto a su materialidad constructiva, dichas viviendas se resuelven mediante techos livianos en general (chapas galvanizadas con entretechos y cielorrasos independientes), muros exteriores más pesados (ladrillos cerámicos macizos comunes o ladrillos cerámicos huecos, de muy pequeños espesores y sin aislaciones) y carpinterías de madera o de perfiles de chapa (con áreas vidriadas que en ocasiones no cuentan con dispositivos de protección solar).

El interés residió en evaluar comparativamente las tres tipologías de viviendas, no solo entre sí, sino teniendo en cuenta dos procedimientos diferentes para estimar su requerimiento de energía para refrigeración, a efectos de tener una idea de la aplicabilidad y posibilidades de cada uno. Se analizó en forma general la incidencia en el desempeño de las distintas características de diseño (morfológicas, funcionales y constructivas) de estas tres viviendas.

Para la realización de los balances térmicos mediante ambos procedi-

mientos normativos, se consideraron las viviendas localizadas en la ciudad de Resistencia y con sus fachadas orientadas hacia el este, a efectos de normalizar las situaciones teniendo a la mayor comparabilidad de los resultados. Además, en los tres prototipos de viviendas el balance de refrigeración comparativo se hizo considerando toda la vivienda climatizada. Se estimó una temperatura interna de confort que mantener fija (26°C) durante todo el período de refrigeración. Los resultados de los balances térmicos dependen de los datos climáticos considerados y de las características de los distintos elementos materiales que constituyen las envolventes de los espacios climatizados de las viviendas, de sus condiciones de implantación y adyacencias (apareada, entre medianeras, etc.), así como de condiciones de ventilación y otras pautas de uso impuestas por los habitantes de las viviendas (esto último resulta difícil de considerar en el procedimiento de cálculo establecido en la norma IRAM 11900: 2017).

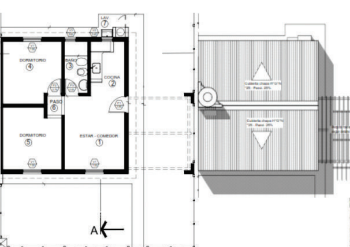
TRES TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS URBANAS DE PRODUCCIÓN ESTATAL DEL NEA						
UBICAC.		PARCELAMIENTO		EDIFICACIÓN		
Prov.	Nombre	Ancho Lote	Implantac.	Nº niv /S _{inc}	Plantas	Fachada / Volumen
U1 - RCIA. - CTES. - FORMOSA	LP2 3D	10 m.	Entre medianeras	1		
				62 m ²		
U2 - RCIA. - CTES. - POSADAS - FORMOSA	PT 42	10 m.	Apareada	1		
				43 m ²		
U3 - RCIA.	MBI DX 2D	11 m.	Apareada	2		
				50 m ²		

Tabla 1. Viviendas urbanas de producción estatal del NEA analizadas. Fuente: elaboración propia

VIVIENDAS DE LA MUESTRA	Sup. muros (m ²)	Sup. Techos (m ²)	Sup. vidrios (m ²)	Sup. cubierta total (m ²)	Sup. envolvente total (m ²)	Vol. interior a acondicionar (m ³)	Factor de Forma (FF)	Área Envolvente sobre Piso (FAEP)	"K" media (W/m ² K)
U1 (viv. LP2 3D)	53,00	62,20	8,10	62,20	123,30	191,6	0,6	2,0	1,72
U2 (viv. PT 42)	52,30	43,00	4,66	43,00	99,96	100,8	1,0	2,3	1,06
U3 (viv. MBI DX 2D)	104,42	28,40	4,92	50,00	137,74	132,62	1,0	2,7	2,3

Tabla 2. Características y factores dimensionales, geométricos, morfológicos y termofísicos de las tres viviendas analizadas. Fuente: elaboración propia

Balace térmico estacionario con corrección dinámica de base mensual, según IRAM 11900: 2017

Esta norma es la base del etiquetado de viviendas según su consumo de energía, que tiene proyección de

alcance nacional. Su obligatoriedad se incorporó ya en la provincia de Santa Fe, a través de la Ley Provincial N.º 13.903 (2019), que exige el etiquetado de eficiencia energética (EE) de viviendas como política pública, para regulación del consumo a través de incentivos (bonificaciones

en las tasas impositivas inmobiliarias anuales, a las viviendas con etiquetas más eficientes) y como herramienta informativa y de decisión para los usuarios de las viviendas (sean ellos propietarios, compradores o inquilinos).

El proceso en la provincia de Santa Fe se inició en el año 2016 y logró un consenso que derivó en la modificación (en el año 2017) de la norma IRAM 11900 (la versión original de esta norma es del año 2010). La modificación consistió en incorporar un Procedimiento de Cálculo del Índice de Prestaciones Energéticas (IPE), elaborado a su vez sobre la base de la norma ISO 13.790: 2008. El cálculo del IPE establecido constituye la base a partir de la cual se realiza el etiquetado de EE de viviendas. Actualmente se cuenta para realizar el cálculo del IPE con un aplicativo informático en línea (desarrollado por la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa FE y la Secretaría de Energía de la Nación), que ya ha sido validado para algunas zonas bioambientales del país, a partir de auditorías a viviendas existentes.

El IPE de una vivienda, en kWh / m² año (IRAM 11900, 2017), es una estimación de la energía primaria que demandaría la normal utilización de dicha vivienda para su normal funcionamiento durante un año y por metro cuadrado de superficie útil para satisfacer las necesidades asociadas a calefacción en invierno, refrigeración en verano, producción de agua caliente sanitaria e iluminación (Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación & Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa Fe, 2016). El procedimiento está basado en un

modelo de cálculo a temperatura constante durante todo el período de calefacción o refrigeración. Se trata de un modelo estacionario con corrección dinámica de base mensual: considera que cada mes tiene todos sus días iguales, y cada día posee una temperatura constante igual a la media del mes estimado. De igual modo se considera la irradiación solar, que se asume igual a la media mensual, para todas las horas del día y todos los días del mes. El procedimiento se basa en un **modelo estacionario**, pero que, con ajustes globales, logra compensar y corregir el comportamiento del sistema para tener en cuenta algunos efectos dinámicos (como el de la capacidad o inercia térmica de los elementos constructivos). Por eso se lo denomina también **cuasiestacionario**.

Para este cálculo se consideran datos climáticos de un año típico y se normalizan las condiciones de utilización del inmueble y de los artefactos correspondientes. Asimismo, los patrones de utilización para los ambientes climatizados definidos se consideran iguales, independientemente del tipo de ambiente de que se trate. El procedimiento normalizado de IRAM 11900 realizado mediante el aplicativo no incluye en el cálculo el consumo energético proveniente de la cocción ni el uso de electrodomésticos, a diferencia del cálculo según IRAM 11659-2 y las simulaciones, que sí los incluyen. Si bien el IPE es la estimación de **energía primaria** de la vivienda (es decir, la energía disponible en la naturaleza antes de ser transformada: es la contenida en los combustibles crudos, la energía solar, la eólica, la geotérmica), el aplicativo informático también arroja los requerimientos

de **energía secundaria**, en kWh / m² año (la que se obtiene luego de varios procesos de transformación desde la fuente de energía primaria), considerando la electricidad como el vector energético para cada uno de los rubros (refrigeración, calefacción, producción de agua caliente sanitaria e iluminación). Para este trabajo se examinaron solo los requerimientos de refrigeración. Este cálculo no evalúa los rendimientos de los equipos activos ni el rendimiento del sistema energético en el proceso de conversión de energía primaria a energía secundaria, lo que hace comparables sus resultados con los arrojados por el balance térmico según IRAM 11659-2.

Balance térmico estacionario, según IRAM 11659-2: 2007

La norma IRAM 11659-2 (2007) establece un método de cálculo para determinar la carga térmica de refrigeración de viviendas (la energía que debe extraer el acondicionador de aire para mantener constante la temperatura interior durante un período dado, evaluando ganancias internas y externas). El procedimiento de cálculo consiste en un balance térmico mediante un **modelo estacionario**: considera que, para un período dado (en este caso, la hora pico del día más cálido para la ciudad de Resistencia), todas las variables permanecen constantes e iguales a sus valores medios y los flujos de calor no dependen del tiempo, con lo que no se contemplan los efectos de la capacidad —o inercia— térmica (se trata de un modelo simplificado). Para la aplicación del procedimiento normativo se examinan datos climáticos de la localidad correspondiente (en el caso de este trabajo, la ciudad

PLANILLA DE CÁLCULO - BALANCE TÉRMICO DE REFRIGERACIÓN SEGUN NORMA IRAM 11659-2 - REGION NEA - ZONA BIOAMBIENTAL Ib						
DATOS GENERALES DEL LOCAL						
Proyecto			ASNMM	60,0	m	
Dirección	-		T _{DMX}	40,0	°C	
Provincia	Formosa		HR _e	35	%	
Localidad	Formosa		w _e	16,5	g/kg	
Zona bioambiental	Ib Muy cálida húmeda					
Destino del local	Vivienda		Nivel de confort		Recomendado	
Largo	-	m	T _{DI}	27,0	°C	
Ancho	-	m	HR _{DI}	50,0	%	
Altura	2,45	m	w _i	11,3	g/kg	
Superficie cubierta	80,57	m ²	Δt	13,0	°C	
Volumen	197,40	m ³	Δw	5,3	g/kg	
CARGA TÉRMICA POR CONDUCCIÓN (Q _c)						
Denom.	Características tecnológicas y constructivas		A (m ²)	K (W/m ² K)	q _c (W)	
Cerramientos exteriores						
M1	Muro ladrillo hueco portante con revoque en ambas ca		51,75	1,49	1002,30	
V1-V8	Ventanas y puertas ventanas de aluminio con vidrio lar		37,69	5,82	2851,63	
P1	Puerta de Ch°C		1,85	3,22	77,23	
T1	Techo de losa de viguetas con cielorraso aplicado		45,78	3,87	2302,60	
E1	Entrepiso de losa de viguetas con cielorraso suspendi		7,93	8,55	881,32	
Cerramientos interiores						
M1	Muro ladrillo hueco portante con revoque en ambas ca		53,32	1,49	516,40	
					0,00	
					0,00	
					0,00	
					0,00	
Total Q _c					7631,48	
CARGA TÉRMICA POR RADIACIÓN SOLAR (Q _s)						
Denom.	Tipo de vidrio y protección	Orientación	A (m ²)	I _s (W/m ²)	F _{es}	q _s (W)
V1-V5	Float 4mm s/ protección	Norte	9,00	312	1	2806,44
V2-V3, V7	Float 4mm s/ protección	Este	11,48	276	1	3167,10
V4, V6, V8	Float 4mm s/ protección	Sur	16,80	276	1	4636,80
					#N/A	
					0,00	
Total Q _s					10610,34	
CARGA TÉRMICA POR FUENTES INTERNAS (Q _o)						
Ganancia de calor por personas			N ^o _{pers}	M (W/pers.)	Q _{pers} (W)	
Sentado en reposo			5	77	385,00	
				0	0,00	
Ganancia de calor por iluminación			A (m ²)	C _T	q _{ilum} (W/m ²)	Q _{ilum} (W)
Vviviendas	200 lx	Fluorescente	80,57	1,25	8	805,70
				0	0	0,00
				0	0	0,00
Ganancia de calor por artefactos			N ^o _{art}	Q (W/art.)	Q _{art} (W)	
Artefactos que emiten sólo calor sensible						
Heladera con freezer			1	360	360,00	
Televisor			1	300	300,00	
				0	0,00	
Artefactos que emiten calor sensible y calor latente						
				0	0,00	
				0	0,00	
				0	0,00	
Total Q _o (Q _{pers} +Q _{ilum} +Q _{art})					1850,70	
CARGA TÉRMICA POR VENTILACIÓN (Q _v)						
N ^o _{pers.}	Destino del local	C _{aire} (m ³ /h.per)	C _{AR} (m ³ /h)	Δt (°C)	Δw (g/kg)	Q _A (W)
5	Vviviendas	15	75	13	5,25	483,94
Total (Q _v)					483,94	
CARGA TÉRMICA TOTAL EN REFRIGERACIÓN (Q _r)						
Carga térmica por conducción (Q _c)			7631,48	W		
Carga térmica por radiación solar (Q _s)			10610,34	W		
Carga térmica por fuentes internas (Q _o)			1850,70	W		
Carga térmica por ventilación (Q _v)			483,94	W		
Carga térmica por radiación indirecta (Q _{si})			483,94	W		
TOTAL				21060,39	W	

Datos generales

Carga térmica por conducción

CARGA TÉRMICA POR RADIACIÓN SOLAR INDIRECTA (q _{si})					
Orientación	Coef. Absorción α	I (irradiación solar) W/m ²	T _{sa} (temp. Sol-Aire) °C	Q _{si} (W)	
Cerramientos exteriores opacos (muros, techos y puertas) expuestos a radiación solar					
muros al NE (10 am)	0,70	397	50,52	1320,66	
muros al NO (14 pm)	0,70	397	50,52	1315,01	
muros al SO (16 pm)	0,70	422	51,22	1011,26	
muros al SE (8 am)	0,70	422	51,22	0,00	
techo	0,5	801	55,42	1348,10	
Total Q _{si}					4995,04

Carga térmica por radiación indirecta (cálculo agregado: la norma no lo incluye)

Carga térmica por radiación directa

Carga térmica por fuentes internas

Carga térmica por ventilación

Resumen

Tabla 3. Planilla de cálculo de la carga térmica total de refrigeración de viviendas, de acuerdo con norma IRAM 11659-2 (IRAM, 2007a). A la derecha, el agregado del cálculo de las cargas térmicas por radiación sobre elementos opacos. Fuente: reelaboración propia según Yakimchuk & Alías (2015)

de Resistencia), según los datos meteorológicos proporcionados por la Norma IRAM 11603 (2012). El procedimiento según la norma no considera las ganancias de calor por radiación sobre los elementos opacos de la envolvente o **radiación indirecta** (es decir, la que primero por conducción atraviesa la masa de dichos paños, para luego, en el interior de los recintos, constituirse en carga térmica por radiación y convección nuevamente), sino que solamente tiene en cuenta las ganancias por **radiación directa** (la que incide sobre superficies vidriadas). Por ello para este trabajo se incorporó al cálculo según esta norma la determinación de la radiación indirecta. La tabla 3, que expone la síntesis del procedimiento, corresponde a una planilla informática en hoja de cálculo que fue desarrollada localmente para realizar el balance térmico según el procedimiento normativo de IRAM 11659-2 (Yakimchuk & Alías, 2015), a la cual se le incorporaron datos climáticos de la amplia mayoría de localidades de las provincias de Corrientes, Chaco, Formosa y Santa Fe.

Para determinar la carga térmica por **fuentes internas** (personas, iluminación y artefactos, equipos y motores), se estimó a cada vivienda habitada por cinco personas, como base homogénea para la aplicación de los otros procedimientos de evaluación tradicionales. El nivel de iluminación considerado en los locales fue de 200 lux, dado por artefactos fluorescentes. Los ar-

tefactos tenidos en cuenta como utilizados en forma permanente fueron heladera y televisor. El horno a gas para cocción se contempló como artefacto utilizado solo en determinados horarios (el tiempo promedio diario de uso de estos es de 2,2 horas, según las encuestas y monitoreos), por lo que el cálculo del balance que lo incluye se realizó en forma independiente, para estimar su incidencia porcentual en la carga térmica total determinada sin evaluar su funcionamiento. Para determinar la carga térmica por **ventilación**, se adoptó un caudal de aire de renovación de 15 m³ por hora por persona (recomendado según tabla 8 de la norma IRAM 11659-1). Estos puntos referidos a cantidad de personas, uso de artefactos, equipos y motores y a ventilación son los que más diferencia introducen con el cálculo del IPE establecido en IRAM 11900, realizado mediante el aplicativo informático, en el que se normalizan las condiciones de utilización del inmueble y de los artefactos correspondientes, que no es posible modificar desde el aplicativo.

A través del cálculo del balance térmico de refrigeración, para cada una de las tres viviendas se obtuvo la carga térmica que ingresa y que se necesita luego extraer para mantenerlas en 27 °C (nivel "recomendado"). En este sentido, conviene destacar que el balance térmico de verano se calcula para el día más caluroso del año y para la hora térmica pico, por lo cual, para tener un comportamiento anual se requiere calcular un balance

hora a hora de cada día, y luego para todos los días de todo el período en que se usa la refrigeración en la zona climática y localidad de implantación bajo análisis (167 días para Resistencia, del 20 de octubre al 06 de abril, según tabla 4 de IRAM 11900: 2017). Esto implica la necesidad de realizar una serie de generalizaciones en cuanto a horas de uso de la refrigeración (se estimaron diez horas de uso por día), e introduce un grado de relatividad y variabilidad (y un margen de error asociado) que es necesario tener en cuenta.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos, con uno y otro procedimiento, se detallan en la tabla 4. El requerimiento promedio de energía obtenido a través del aplicativo fue de 333 kWh/m² año, mientras que el promedio obtenido a través del procedimiento de IRAM 11659-2 fue de 386 kWh/m² año.

La principal diferencia entre los resultados obtenidos aplicando uno y otro procedimiento para realizar el balance térmico de las viviendas se refiere a que el método de la norma IRAM 11900 calcula un **requerimiento**, que es teórico (calculado sobre la base de hipótesis específicas y condiciones estandarizadas de uso, que no se visualizan ni se editan desde el aplicativo informático: el procedimiento normalizado no incorpora el consumo de energía proveniente de la cocción ni del uso de artefactos y equipos electrodomésticos); en

TRES VIVIENDAS (refrigeración en toda la vivienda)	Balance térmico estacionario (IRAM 11659-2: 2007)		Balance térmico cuasiestacionario (IRAM 11900: 2017)	
	Carga de refrig. total anual por unidad de sup. (kWh/m ² /año)	Carga de refrig. horaria, en día y hora pico (kWh)	Requerimiento de energía secundaria p/ refrigeración. Vector energético: electricidad (kWh/año)	Requerimiento energía primaria p/ refrig. (kWh/m ² /año)
U1 (LP2 3D)	310,7	20,6	340,0	39,0
U2 (PT 42)	325,3	17,2	205,0	29,0
U3 (MBI DX)	524,0	24,7	455,0	48,0
PROMEDIOS	386,6	20,8	333,3	38,6

Tabla 4. Comparación general de resultados de consumos de energía obtenidos mediante los dos procedimientos de evaluación aplicados, para las viviendas de la muestra. Fuente: elaboración propia

cambio, la norma IRAM 11659-2 brinda la posibilidad de calcular un **consumo** (contemplando condiciones reales de uso). De esta manera, el balance según IRAM 11900, si bien por un lado introduce mayor precisión al ser un método cuasiestacionario (o

estacionario con corrección dinámica), resulta prioritariamente dependiente de las características constructivas y geométricas de las viviendas, ya que no pueden editarse las condiciones de uso. En cambio, el procedimiento de la norma IRAM 11659-2, aunque es

un método estacionario (y como tal, supone mayor generalidad y simplificación en cuanto a las condiciones climáticas del período de refrigeración), permite considerar una mayor aproximación a las pautas de uso y gestión de los habitantes de las viviendas.

Balance térmico estacionario con corrección dinámica de base mensual, según IRAM 11900: 2017

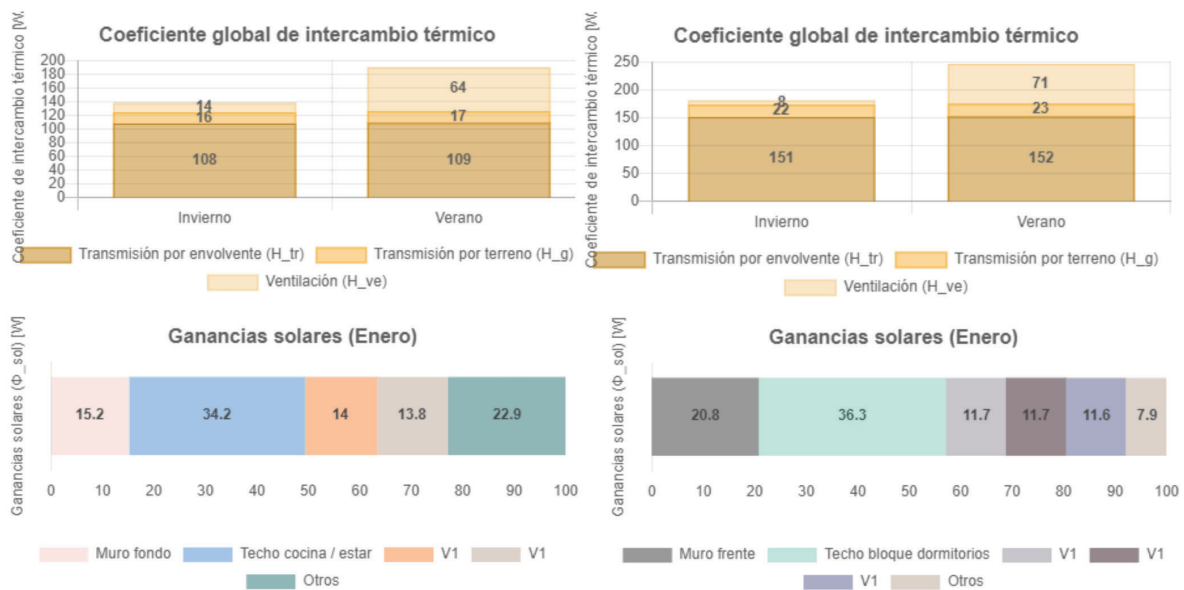


Figura 1. Algunos resultados obtenidos para la vivienda U1 (LP2 3D, entre medianeras), para la zona de estar-cocina (izquierda) y de dormitorios (derecha). Fuente: elaboración mediante el aplicativo informático Etiquetado de Viviendas (Ministerio de Hacienda, Secretaría de Energía, Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética, 2019)

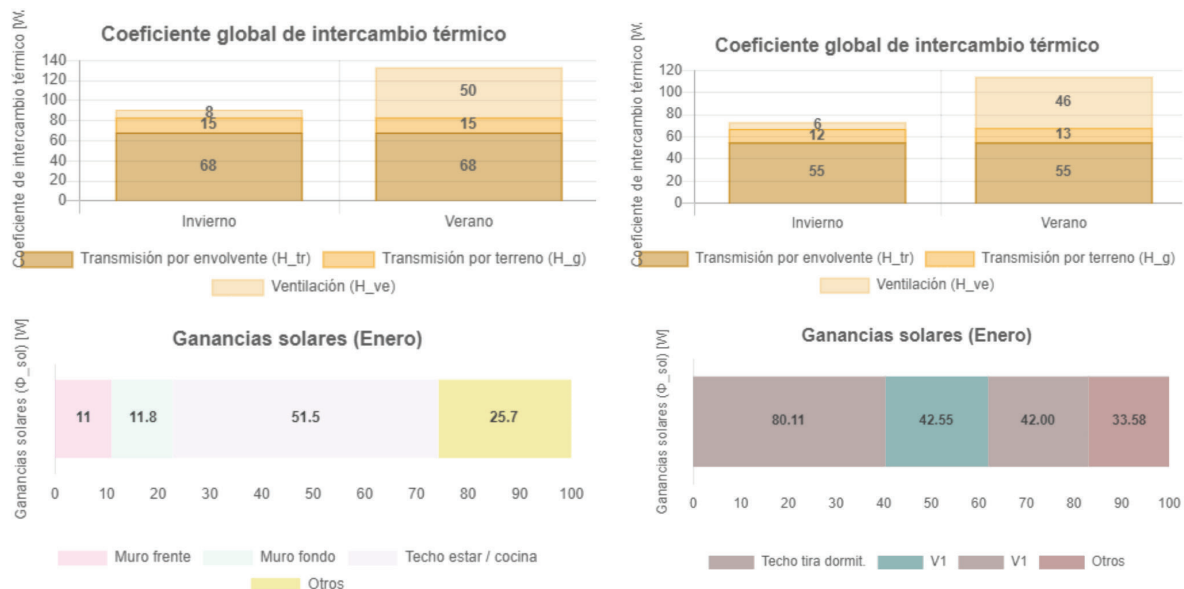


Figura 2. Algunos resultados obtenidos para la vivienda U2 (PT42 2D, apareada) para la zona de estar-cocina (izquierda) y de dormitorios (derecha). Fuente: elaboración mediante el aplicativo informático Etiquetado de Viviendas (Ministerio de Hacienda, Secretaría de Energía, Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética, 2019)

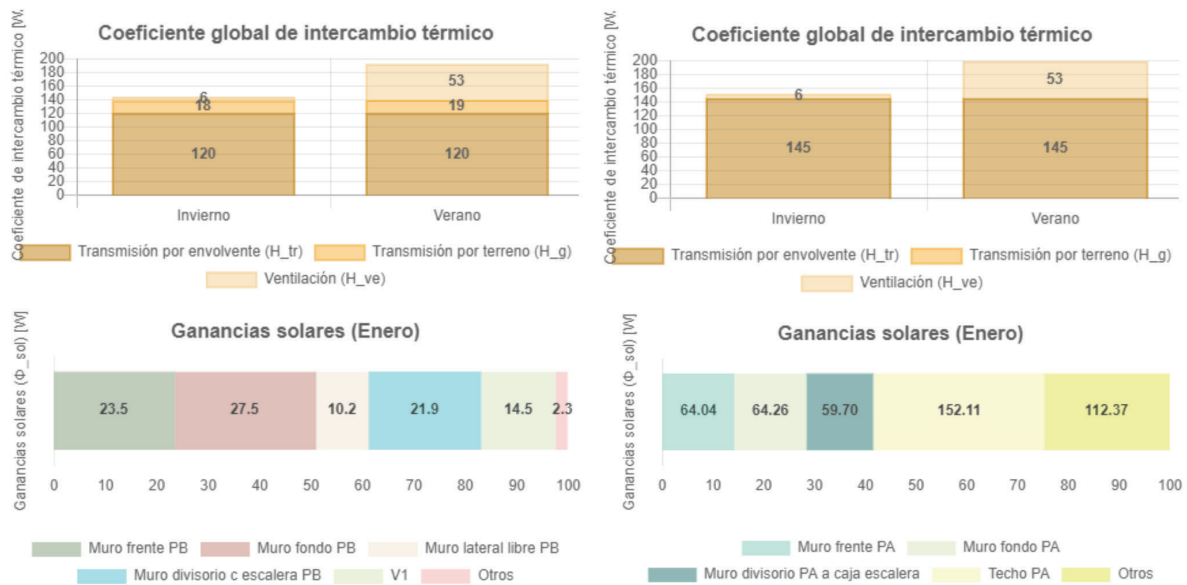


Figura 3. Algunos resultados obtenidos para la vivienda U3 (MBI Dx 2D, dúplex, apareada), para la zona de estar-cocina (izquierda) y de dormitorios (derecha). Fuente: elaboración mediante el aplicativo informático Etiquetado de Viviendas (Ministerio de Hacienda, Secretaría de Energía, Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética, 2019)

Una vez realizada la carga de datos de cada vivienda, requeridos por el aplicativo *online*, se procedió al cálculo a través de dicho aplicativo, que proporciona una gran cantidad de información sobre la vivienda. Esto permite obtener conclusiones sobre el desempeño térmico no solo de la vivienda en su totalidad, sino también de cada componente que constituye su envolvente material (muros exteriores, techos, carpinterías). Salvo para la vivienda U1, para las otras dos se obtuvieron valores de requerimientos de energía anuales para refrigeración menores a los obtenidos mediante los balances a través de IRAM 11659-2. En el marco de estos resultados generales (figuras 1, 2 y 3), algunas cuestiones en cuanto al desempeño energético de las viviendas analizadas según este aplicativo informático online se refieren a las siguientes cuestiones:

- Enero resulta el mes en que mayor es el requerimiento de energía para refrigeración, en las tres viviendas.
- Las ganancias solares por techos resultan altamente preponderantes respecto de las ganancias por muros exteriores.

- En el coeficiente global de intercambio térmico, la transmisión por envolvente es la que prevalece, por sobre la transmisión por terreno y por ventilación. No obstante, si se pudieran editar en el aplicativo las condiciones de operación de la ventilación selectiva, seguramente la transmisión por ventilación podría alcanzar porcentajes iguales o incluso mayores que los de transmisión por envolvente. Con los patrones de uso y ventilación adoptados por el programa (no editables) no pueden introducirse los datos surgidos de los modos de uso habituales en cuanto a las pautas de apertura al exterior. Cabe recordar que los patrones de uso para los distintos ambientes climatizados se consideran iguales en el aplicativo.
- La transmisión por envolvente es mayor, proporcionalmente, que la transmisión por ventilación y otras, en la vivienda U3 (en dúplex y apareada), que es la que tiene mayor superficie de envolvente (tabla 2), seguida por la vivienda U1 (en planta baja, entre medianeras), que le sigue en superficie de envolvente.

Balance térmico estacionario, según IRAM 11659-2: 2007

La carga térmica de refrigeración anual por unidad de superficie (kWh/m² año) surge de multiplicar la carga horaria total por unidad de superficie (kWh/m²) obtenida del balance térmico por la cantidad de días de refrigeración estimados, según tabla D.19 de la norma IRAM 11900 (IRAM, 2017). La cantidad de días de refrigeración para Resistencia son 167 (del 20/10 al 06/04).

Las mayores ganancias térmicas (que determinan los mayores consumos de energía para refrigerar), para los tres casos analizados (figura 4), se debieron a la **radiación indirecta** (en porcentajes del 33 al 50%) incidente sobre los elementos opacos de la envolvente (muros y techos), seguidos por los aportes por **conducción** (no debida a incidencia de radiación, sino a la diferencia térmica entre el exterior y el interior, en porcentajes del 30 % promedio). En tercer lugar, se registraron los aportes por **fuentes internas** (habitantes, luminarias, máquinas y equipos usados, en

porcentajes del 11 al 20 %), seguidos por las ganancias por **radiación directa** sobre áreas vidriadas (en porcentajes del 4 al 15 %, para los tipos y dimensiones más comunes de aventanamientos de las viviendas). Los aportes por **ventilación** (4 % promedio) ocupan el último lugar, según esta metodología de evaluación, y son los menos significativos para las viviendas analizadas. Entre las **fuentes internas**, el factor más significativo lo constituyeron los **equipos y artefactos** (82 % del aporte, siendo los principales las cocinas con hornallas y hornos), seguidos de la **iluminación** (12 %) y, por último, de las **personas** que habitan los espacios (6 %).

Se detectó cierta correlación entre superficie de envolvente y carga de refrigeración (tabla 4 y figura 5): a la vivienda con mayor superficie de envolvente (U3, en dúplex) le correspondió la mayor carga de refrigeración, aunque luego ello no se verificó para la vivienda con menor superficie de envolvente (U2, apareada), a la que no le correspondió la menor carga de refrigeración. De mayor a menor, según su superficie de envolvente (tabla 2 y figura 5), se sitúan: U3 (dúplex); U1 (entre medianeras) y U2 (apareada). De mayor a menor, según su carga térmica de refrigeración total anual (tabla 4 y figura 5), se sitúan: U3 (dúplex); U2 (apareada) y U1 (entre medianeras). En cuanto a la compacidad del partido, al mayor valor de Factor de Área Envolvente sobre Piso (FAEP) y de Factor de Forma (FF) (U4, dúplex) le correspondió el mayor valor de carga de refrigeración (tabla 2, tabla 4 y figura 5), en tanto que al menor valor de FAEP y de FF (U1, entre medianeras) le correspondió el menor valor de carga de refrigeración. Se detectó, en general, que a mayor FAEP (mayor desarrollo de la envolvente respecto a la superficie de piso cubierta) aumentó la carga de refrigeración. Sin embargo, existen otras variables que podrían incidir aún más que el FAEP, como la materialidad de los muros y techos y sus respectivos niveles de aislación térmica.

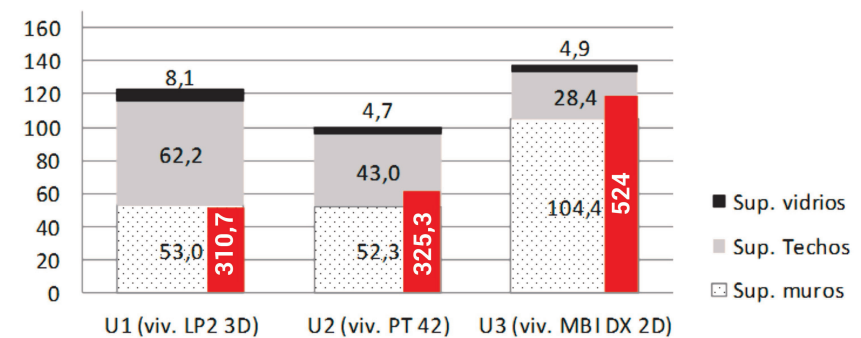
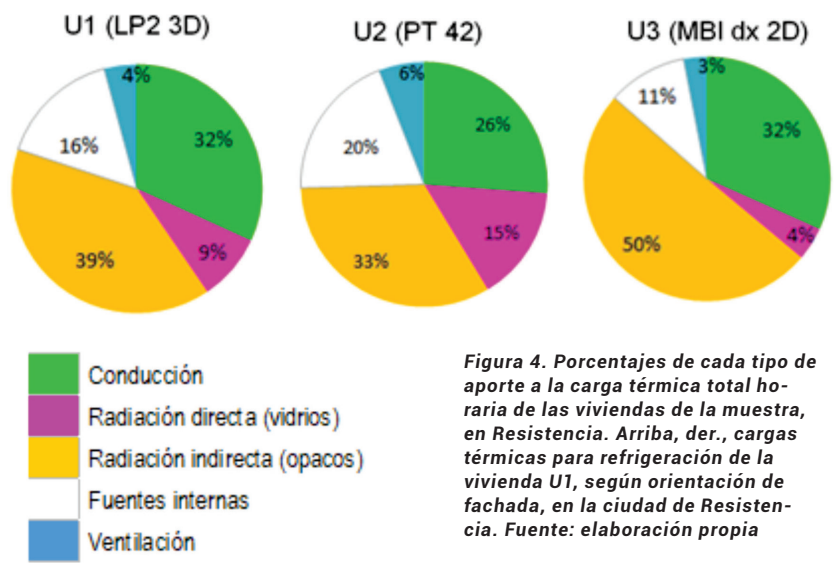


Figura 5. Cargas térmicas anuales totales para refrigeración (en kWh / m² / año) de las viviendas, según superficie de envolvente (discriminada en muros, techos y vidrios). Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

Según el procedimiento aplicado se obtuvieron diferencias, aunque no significativas, en los resultados. El balance térmico según IRAM 11659-2 permite regular las renovaciones horarias de aire provocadas por la ventilación selectiva impuesta por los habitantes de las viviendas, así como los artefactos electrodomésticos usados, lo que introduce consideraciones muy útiles cuando se quiere aproximar la evaluación de consumo a las pautas de gestión y de uso locales y regionales. Esto no puede intervenir ni editarse en el balance térmico según IRAM 11900, mediante el aplicativo informático.

Así, el balance estacionario mediante IRAM 11659-2 arrojó, en general, mayores valores de carga térmica respecto de los valores obtenidos mediante el aplicativo de IRAM 11900. Por otro lado, el balance térmico según IRAM 11659-2, al arrojar la carga térmica en Wh del día pico (el más cálido del año) y en la hora pico, supone luego, para traducir el consumo de refrigeración a un año, hacer una amplia generalización respecto de cantidad de horas de uso diario de la climatización, lo que puede llevar a estimaciones que no siempre resultan ajustadas a la realidad. Ambos procedimientos son de sencilla aplicación (siempre que se los realice mediante los aplicativos

informáticos) y brindan información referida a los aportes o variables de mayor incidencia en el consumo de energía para refrigerar una vivienda. Además, permiten identificar posibles vías de mejoramiento, tendientes a lograr una disminución del consumo de energía para refrigeración y posibilitan además realizar una rápida comprobación de los resultados de dichas mejoras. Ambos brindan la oportunidad de comparar rápidamente distintas tipologías de viviendas, soluciones constructivas y localidades, requisito para encarar la planificación, diseño y construcción del hábitat residencial social.

A partir de la entrada en vigencia de la norma IRAM 11900:2017, la norma 11659-2: 2007 se vio superada en cuanto a la mayor precisión del procedimiento para determinar el consumo de energía para climatización que brinda la 11900. No obstante, la simplicidad de la 11659-2 la hace un instrumento de apreciación general muy útil y ágil para la toma de decisiones de diseño y la verificación general de la procedencia de las cargas térmicas más significativas (lo que permite actuar sobre ellas). Si bien con métodos dinámicos (simulaciones mediante *software* específico, por ejemplo) se pueden obtener resultados más detallados en los balances térmicos para climatización, estos demandan una especialización exhaustiva, así como la disponibilidad de archivos climáticos específicos (y validados) para su funcionamiento confiable.

La aplicación a las situaciones locales y regionales de centros urbanos de la zona muy cálida y húmeda del NEA de estas dos normas del IRAM, referidas a la determinación de los consumos de energía para

climatización (y específicamente de refrigeración), podría revestir interés para la discusión de los criterios en función de los cuales se determinan los rangos usuales de valores de consumo de energía para climatización en viviendas de producción estatal de la región. Ello es así teniendo en cuenta, entre otras cuestiones, que la norma IRAM 11900 no establece aún valores de referencia de consumo para ciertas zonas bioambientales del país, entre ellas la zona de clima muy cálida y húmeda del NEA, con los cuales comparar los índices obtenidos.

REFERENCIAS

Garganta, M. L. & San Juan, G. (2012). Análisis del comportamiento energético y ambiental de la producción de viviendas sociales en la provincia de Buenos Aires (2003-2011). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 7-14.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM] (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. (N.º de publicación IRAM 11603).

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*. (N.º de publicación IRAM 11659-2).

Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM] (2017). *Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo*. (N.º de publicación IRAM 11900. Segunda edición).

Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación & Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa Fe (2016).

Procedimiento de cálculo del Índice de Prestaciones Energéticas. Versión 0. Documento de base técnica para prueba piloto Rosario 2017. Proyecto de calificación y certificación de inmuebles destinados a vivienda. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/indice_de_prestaciones_energeticas_0.pdf

Ministerio de Hacienda, Presidencia de la Nación, Secretaría de Energía, Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética (2019). *Etiquetado de Viviendas. Aplicativo informático*. <http://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/inicio>

Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (2006). *Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social - Revisión 2006*. <http://www.vivienda.gob.ar/normativa.php>

Yakimchuk, T. K. & Alías, H. M. (2015). *Planillas para calcular el ahorro de energía en refrigeración en edificios del Nordeste argentino según IRAM 11659-2*. Dirección Nacional de Derecho de Autor, Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, Presidencia de la Nación. Argentina.