

## SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CLIMATIZACIÓN DE VIVIENDAS

**Facundo Bre<sup>a,b</sup>, Víctor D. Fachinotti<sup>a</sup> y Gustavo Bearzot<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>*Centro de Investigación de Métodos Computacionales (CIMEC), Universidad Nacional del Litoral (UNL)/ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Predio CCT-CONICET Santa Fe, Ruta 168, Paraje El Pozo, 3000, Santa Fe, Argentina*

<sup>b</sup>*Grupo de Métodos Numéricos en Ingeniería, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional, Ing. Pereyra 676, 3260, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina*

<sup>c</sup>*Grupo de Investigación en Métodos Numéricos en Ingeniería (GIMNI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional Lavalse 610, 3000, Santa Fe, Argentina*

**Resumen.** En este trabajo, proponemos el uso de EnergyPlus<sup>®</sup>, software de simulación de energía en edificios desarrollado por el Departamento de Energía (DoE) de Estados Unidos, para mejorar la eficiencia energética en la climatización de viviendas, particularmente en el NE de la República Argentina (NEA).

EnergyPlus<sup>®</sup> toma como datos el diseño de la edificación, los materiales para su construcción, los equipos de climatización instalados, las cargas térmicas internas y externas. Para el cálculo de estas últimas, se vale del conocimiento de las variables climáticas de interés (temperatura, humedad, velocidad del viento, radiación solar, etc.) registradas localmente.

Como salida, EnergyPlus<sup>®</sup> entrega la evolución de las variables ambientales (temperatura, humedad, etc.) en el interior de la edificación en períodos de tiempo relativamente largos (un año entero, por ejemplo), en intervalos de tiempo eventualmente subhorarios. Cada vez que el código detecta discomfort dentro del edificio (de acuerdo a criterios de confort preestablecidos), se accionan los sistemas de climatización, registrando la energía demandada. Dicha energía puede provenir de distintas fuentes, más o menos económicas y más o menos dañinas para el medio ambiente.

Mejorar la eficiencia energética en el contexto de climatización de viviendas implica reducir el costo combinado de construcción e instalación (determinado por las variables de entrada a EnergyPlus<sup>®</sup>), operación e impacto ambiental del sistema de climatización (éstas últimas calculadas a partir de las variables de salida de EnergyPlus<sup>®</sup>), sujeto a restricciones arquitectónicas y tecnológicas, para el conjunto factible de variables de entrada. En este trabajo, como un primer paso en ese sentido, se estudiará el consumo de energía para climatizar una vivienda del NEA en función de la orientación cardinal de la vivienda, en busca de la orientación óptima.

## 1. INTRODUCCIÓN

Clarke (2001) sugiere que mejorar el diseño de los nuevos edificios reduciría en un 50-75 % el consumo de energía del edificio una vez construido, y que la intervención apropiada en edificios existentes produciría una reducción del 30 %. Sumadas las mejoras en edificios nuevos y existentes, se reduciría considerablemente la factura energética de un país, contribuyendo a la mitigación del impacto ambiental y del cambio climático, aliviando al mismo tiempo el discomfort que sufren muchos de sus ciudadanos. De hecho, podemos ver la eficiencia energética como una fuente de energía limpia sin explotar, de gran potencial.

Si bien existe mucho conocimiento empírico y experimental, en la actualidad la simulación energética de las edificaciones (BES, por Building Energy Simulation) se está tornando una herramienta muy importante en la etapa de diseño de nuevas construcciones. La simulación despierta gran interés por cuanto los edificios involucran aspectos muy complejos (flujos transitorios de energía, niveles de ocupación estocásticos, etc.), que los métodos de diseño tradicionales basados en la experiencia o la experimentación son incapaces de cuantificar satisfactoriamente.

El rendimiento térmico de un edificio depende principalmente de decisiones tomadas en las primeras etapas del diseño arquitectónico, como la volumetría del edificio, la orientación de las fachadas, la ubicación y el sombreado de las ventanas, los sistemas de construcción de paredes y techos, los colores de las superficies expuestas al sol, entre otros. Por lo tanto, la temperatura de ambientes interiores depende del efecto de todos estos parámetros, combinado con el clima específico del emplazamiento del edificio.

A su vez, BES permite al diseño arquitectónico retroalimentarse rápidamente con una previsión de cuánta energía consumirá el edificio planeado, la que eventualmente dará lugar a un re-diseño.

Uno de los softwares de simulación energética de edificios más difundidos mundialmente es EnergyPlus<sup>®</sup> DoE (2012a), software gratuito de fuente abierta desarrollado por el U.S. Department of Energy (DoE). Las principales variables de entrada a EnergyPlus<sup>®</sup> son el diseño de la edificación, su emplazamiento, los materiales para su construcción, los equipos instalados para climatización, las cargas térmicas internas y las cargas térmicas externas (función de la temperatura, la humedad, los vientos, la radiación solar, etc., registrados localmente).

En este trabajo, usaremos EnergyPlus<sup>®</sup> para mejorar la eficiencia energética en la climatización de viviendas situadas, particularmente en el NE de la Argentina (NEA), región que comprende las provincias de Formosa, Chaco, Misiones, Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe. La vivienda modelada tiene las características típicas, por volumetría y materiales usados en su construcción, de las viviendas de interés social en el NEA. A falta de registros en el formato exigido por EnergyPlus<sup>®</sup> para localidades del NEA, se opta por situar la vivienda en Uruguaiana (Brasil), ciudad para la que existen tales registros, de clima subtropical como el predominante en el centro-norte del NEA, caracterizado por veranos largos y muy cálidos e inviernos cortos pero demandantes de calefacción, y alta humedad a lo largo de todo el año.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA TÉRMICO EN ENERGYPLUS<sup>®</sup>

El programa EnergyPlus<sup>®</sup> es una colección de módulos para calcular la energía requerida para la climatización de un edificio usando diversos sistemas de climatización, alimentados con energía proveniente de diversas fuentes. EnergyPlus<sup>®</sup> simula el edificio y sus sistemas de climatización cuando son expuestos a diferentes condiciones ambientales y de operación.

En EnergyPlus<sup>®</sup>, el edificio es dividido en *zonas térmicas*. Una zona térmica comprende un volumen de aire a temperatura uniforme y todas las superficies de transferencia o almacena-

miento de calor, internas o que la bordean DoE (2012c). En cada zona, se plantea el balance de calor

$$\underbrace{\rho C_p \alpha \frac{dT_z}{dt}}_{(a)} = \underbrace{\sum_{i=1}^{N_{cic}} \dot{Q}_i}_{(b)} + \underbrace{\sum_{i=1}^{N_{surf}} h_i A_i (T_{surf_i} - T_z)}_{(c)} + \underbrace{\sum_{i=1}^{N_z} C_p \dot{m}_i (T_{z_i} - T_z)}_{(d)} + \underbrace{C_p \dot{m}_\infty (T_\infty - T_z)}_{(e)} + \underbrace{\sum_{i=1}^{N_{sys}} C_p \dot{m}_{sys_i} (T_{sys_i} - T_z)}_{(f)} \quad (1)$$

cuya incógnita es la evolución de la temperatura media de la zona  $T_z$  en el tiempo  $t$ , con

- (a) Energía almacenada en el aire de la zona, de densidad  $\rho$  y calor específico  $C_p$ ;  $\alpha \geq 1$  es el multiplicador de calor sensible de la zona, coeficiente de corrección para considerar equipos obviados en el análisis (humidificadores, difusores, ductos, etc.).
- (b) Suma de cargas internas convectivas programadas en función del horario del día: iluminación, personas, equipos, etc.
- (c) Transferencia de calor convectivo desde las superficies de la zona, siendo  $h_i$  el coeficiente de convección de la superficie  $A_i$  a temperatura  $T_{surf_i}$ .
- (d) Transferencia de calor por mezcla de aire entre zonas,  $\dot{m}_i$  es la tasa de intercambio de masa entre la zona  $i$ , a temperatura  $T_{z_i}$  y la zona estudiada, y  $C_p$  el calor específico del aire.
- (e) Transferencia de calor por infiltración del aire exterior, siendo  $\dot{m}_\infty$  la masa de aire, a temperatura  $T_\infty$ , que se infiltra por unidad de tiempo.
- (f) Fuente/sumidero de calor debido a los sistemas de climatización, con  $\dot{m}_{sys_i}$  la masa de aire, a temperatura  $T_{sys_i}$  (mayor o menor que  $T_z$ ), suministrada por el sistema de climatización  $i$  por unidad de tiempo,  $C_p$  es el calor específico del aire.

La ecuación diferencial (1) es integrada usando un esquema tipo Euler donde la derivada temporal al instante  $t = t_0 + \Delta t$  es aproximada como

$$\frac{dT_z}{dt} \approx \frac{T_z^t - T_z^{t_0}}{\Delta t} \quad (2)$$

Así  $T_z$  al instante  $t$  resulta determinada por la ecuación algebraica

$$\left( \frac{\rho C_p \alpha}{\Delta t} + \sum_{i=1}^{N_{surf}} h_i A_i + C_p \sum_{i=1}^{N_z} \dot{m}_i + C_p \dot{m}_\infty + C_p \sum_{i=1}^{N_{sys}} \dot{m}_{sys_i} \right) T_z^t = \rho C_p \alpha \frac{T_z^{t_0}}{\Delta t} + \sum_{i=1}^{N_{cic}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{sys}} C_p \dot{m}_{sys_i} T_{sys_i} + \left( \sum_{i=1}^{N_{surf}} h_i A_i T_{surf_i} + \sum_{i=1}^{N_z} C_p \dot{m}_i T_{z_i} + C_p \dot{m}_\infty T_\infty \right) \quad (3)$$

Los términos entre paréntesis del lado derecho, desconocidos al tiempo actual  $t$ , son aproximados por sus valores al tiempo  $t_0$ . Finalmente, despejamos de la ecuación (3) la temperatura

media de la zona al instante  $t$ :

$$T_z^t = \left( \sum_{i=1}^{N_{\text{cic}}} \dot{Q}_i^t + \sum_{i=1}^{N_{\text{sys}}} C_p \dot{m}_{\text{sys}_i} T_{\text{sys}_i}^t + \left[ \frac{\rho C_p \alpha}{\Delta t} T_z + \sum_{i=1}^{N_{\text{surf}}} h_i A_i T_{\text{surf}_i} + \sum_{i=1}^{N_z} C_p \dot{m}_i T_{z_i} + C_p \dot{m}_{\infty} T_{\infty} \right]^{t_0} \right) / \left( \frac{\rho C_p \alpha}{\Delta t} + \sum_{i=1}^{N_{\text{surf}}} h_i A_i + C_p \sum_{i=1}^{N_z} \dot{m}_i + C_p \dot{m}_{\infty} + C_p \sum_{i=1}^{N_{\text{sys}}} \dot{m}_{\text{sys}_i} \right) \quad (4)$$

Para obtener una precisión satisfactoria en la simulación de un día entero o lapsos mayores (normalmente un año), el paso de tiempo  $\Delta t$  no debe superar una hora.

### 3. DEFINICIÓN DEL MODELO PARA ENERGYPLUS®

#### 3.1. Geometría

Se estudia una vivienda relativamente pequeña, de 48 m<sup>2</sup> cubiertos, con un dormitorio, un baño y cocina-estar-comedor. A los efectos del cálculo térmico, interesa la geometría de la vivienda en 3D, esquematizada en la Figura 1.

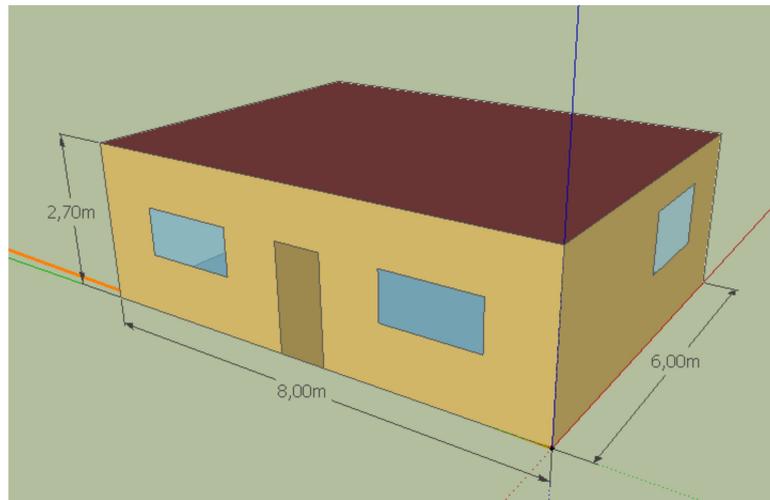


Figura 1: Geometría del modelo.

Dadas las reducidas dimensiones de la vivienda, se asume que toda la vivienda constituye una única zona térmica.

Las paredes, las ventanas, las puertas, el piso y el techo constituyen distintas porciones de la frontera o “envoltorio” (“envelope”) de la vivienda. Cada una de las partes del “envoltorio” tiene asociado un material o paquete de materiales (mampostería+revestimiento en el caso de paredes, por ejemplo), con sus correspondientes propiedades termofísicas.

#### 3.2. Materiales de construcción

La vivienda en estudio posee paredes de 15 cm de espesor, de ladrillos cerámicos huecos revocados; la cubierta es de chapas galvanizadas y por debajo cuenta con aislante de fibra de vidrio adosado, cámara de aire y cielorraso de yeso. El piso es una platea de hormigón pobre

de 10 cm de espesor; la puerta es de madera, y las ventanas cuentan con un vidrio común de 4 mm de espesor sin persianas ni otro medio de sombreado. La Tabla 1 muestra la conductividad térmica, la densidad y el calor específico de los materiales utilizados, obtenidos del catálogo de propiedades térmicas de paredes y techos de [Morishita et al. \(2011\)](#). Además, se supone que las superficies de las paredes tienen una absorptancia solar de 0.7 y una emitancia de 0.9, mientras la cubierta de chapa galvanizada tiene una absorptancia solar de 0.3 y una emitancia de 0.9.

Material	Conductividad térmica [W/m K]	Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/Kg K]
Pared:			
Ladrillo cerámico hueco	0.9	1600	920
Revoque	1.75	2000	1000
Cubierta:			
Chapa galvanizada	55	7800	460
Aislante de fibra de vidrio	0,04	12	840
Cielorraso de yeso	0,16	950	840
Piso de hormigón	1,7296	2243	837

Tabla 1: Propiedades térmicas y físicas de los materiales utilizados

EnergyPlus<sup>®</sup> tiene en cuenta las propiedades térmicas de todos los materiales que conforman cada grupo (paredes, cubierta, piso, puertas, ventanas) y sus respectivos espesores para definir las propiedades “efectivas” del grupo ([DoE, 2012b](#)).

### 3.3. Cargas térmicas

Las cargas térmicas consideradas en la vivienda en estudio, internas y externas, se detallan a continuación.

#### 3.3.1. Cargas térmicas internas

La carga térmica interna proviene de los ocupantes, los artefactos de iluminación, electrodomésticos, electrónicos, cocina, horno, etc. Preliminarmente, sólo consideraremos la carga térmica debida a la iluminación artificial de la vivienda, para ilustrar cómo se tratan las cargas internas en EnergyPlus<sup>®</sup>.

Se supone que la iluminación interior es provista por lámparas fluorescentes dispuestas en luminarias montadas sobre la superficie del cielorraso. La potencia total instalada es de 350W para toda la zona, variando la fracción de potencia demandada instantáneamente según el horario del día.

EnergyPlus<sup>®</sup> divide la ganancia de calor en el aire interior de la zona debido a la iluminación en cuatro fracciones diferentes: fracción de retorno al aire, fracción radiante, la fracción visible y fracción por convección al aire a la zona ([DoE, 2012b](#)).

Estas fracciones dependen del tipo de lámpara y luminaria, si la luminaria se ventila, etc. La Tabla 2 muestra los valores correspondientes a lámparas fluorescentes sobre la superficie del cielorraso ([Rea, 1993](#)), como las usadas en este ejemplo.

#### 3.3.2. Cargas térmicas externas

Las cargas externas se definen en el modelo mediante un archivo de datos que contiene un gran número de variables meteorológicas (24 en total, incluyendo temperatura, humedad, presión, radiación solar, nubosidad, vientos, precipitaciones, etc., más sus respectivas incertidum-

Fracción de retorno al aire	0
Fracción Radiante	0.72
Fracción Visible	0.18
Fracción convectiva	0.1

Tabla 2: Fracción de potencia para lámparas fluorescentes adosadas al cielorraso

bres, ver [Crawley et al. \(1999\)](#)), registradas a intervalos de una hora o menos, para un año típico. Para la República Argentina, a nuestro conocimiento, no se disponen de datos de tal completitud excepto para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires ([DoE, 2012d](#)). Para tener un modelo más apropiado para el centro-norte del NEA, donde predomina el clima cálido sub-tropical como se muestra en la Figura 2, usaremos el archivo climático correspondiente a la ciudad brasileña de Uruguaiana ([Roriz, 2012](#)). La Figura 3 muestra la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa para un año típico, según aparecen en dicho archivo.

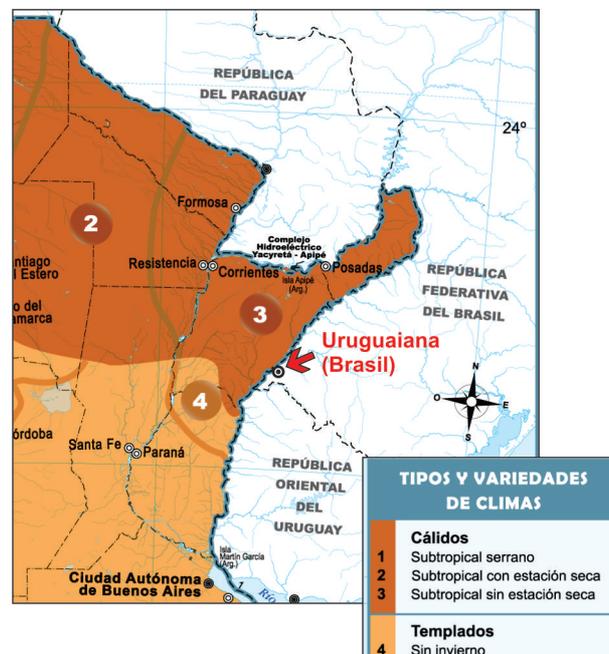


Figura 2: Clima del NEA. Fuente: <http://mapoteca.educ.ar> (Ministerio de Educación de la República Argentina).

Cabe aclarar que en este estudio, de carácter preliminar, no se considera la renovación del aire interior.

### 3.4. Temperatura del aire interior y confort

De acuerdo a [ASHRAE \(2001\)](#), el confort térmico es un estado de ánimo que refleja la satisfacción de la persona con el ambiente térmico que la rodea. El confort térmico depende de distintas variables, algunas ambientales tales como la temperatura del aire, temperatura radiante, humedad relativa y velocidad del aire, otras fisiológicas como el estado físico, la edad o el sexo de la persona, la vestimenta, etc.

La temperatura del aire es tal vez el factor determinante más importante del confort térmico, pudiéndose establecer un estrecho intervalo de temperaturas de confort de manera casi independientemente de las demás variables. Luego, aquí controlaremos únicamente la temperatura del aire en el interior de la vivienda como índice de confort, activando el sistema de climatización

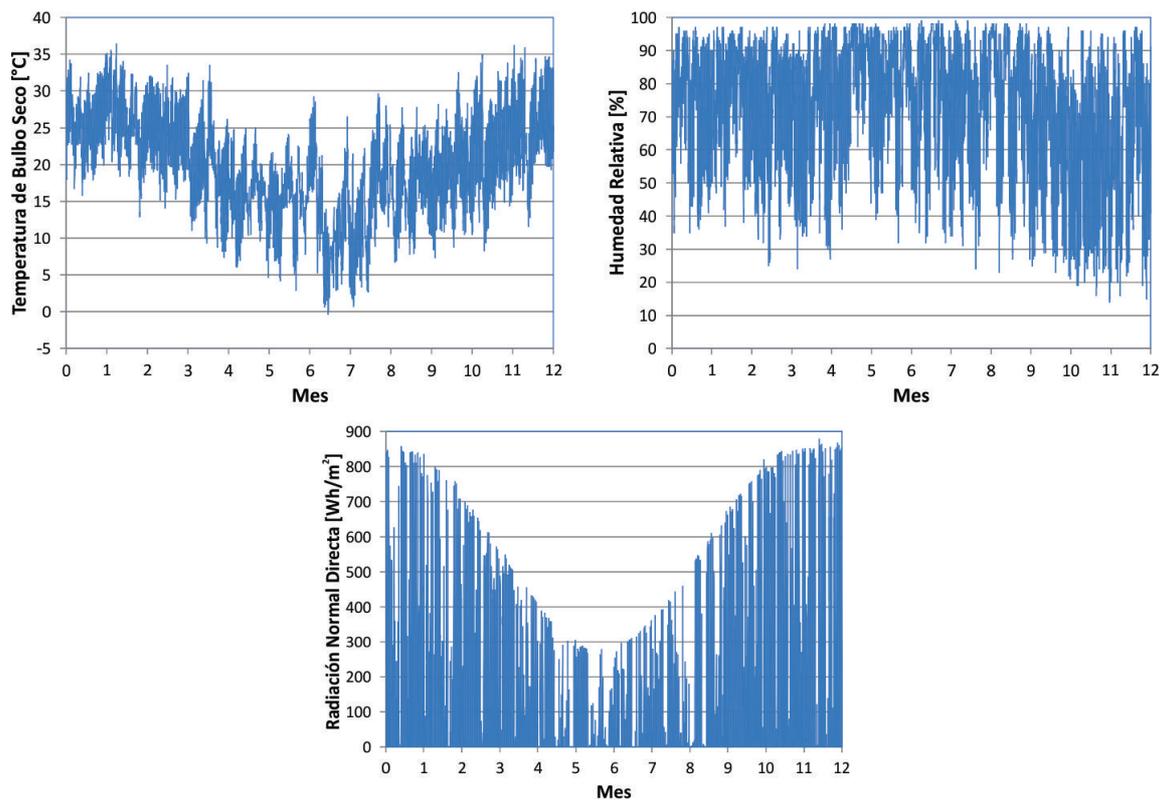


Figura 3: Temperatura de bulbo seco, humedad relativa y radiación normal directa, registradas en intervalos horarios, para un año típico en la ciudad de Uruguaiana (Brasil), extraídos del correspondiente archivo climático.

en cada paso de tiempo en el que dicha temperatura salga del intervalo de confort predefinido, variable con el horario del día como se muestra en la Tabla 3.

Horario	Temperatura del aire	Refrigeración	Calefacción
8:00 a 22:00	$T > 25^{\circ}\text{C}$	Sí	No
	$T < 18^{\circ}\text{C}$	No	Sí
	$18^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25^{\circ}\text{C}$	No	No
22:00 a 8:00	$T > 25^{\circ}\text{C}$	Sí	No
	$T < 10^{\circ}\text{C}$	No	Sí
	$10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25^{\circ}\text{C}$	No	No

Tabla 3: Programación del termostato de control.

## 4. RESULTADOS

Usando el modelo de la vivienda detallado en las secciones precedentes, variaremos su orientación cardinal definida por el ángulo  $\beta$  en la Figura 4.

### 4.1. Resultados anuales

En la Figura 5 se puede observar el consumo de energía para refrigerar la vivienda a lo largo de todo un año típico según la orientación de sus fachadas. Los resultados muestran que el consumo varía de forma prácticamente simétrica con respecto la orientación  $\beta = 180^{\circ}$  (frente orientado al N), donde se observa un mínimo local. El mínimo global es de 801.5 KWh y se da



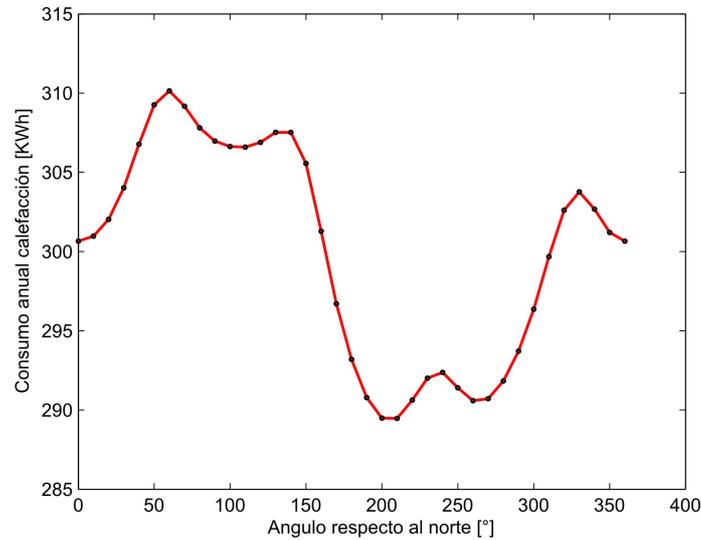


Figura 6: Consumo anual para calefacción según la orientación.

típico varía con la orientación de acuerdo a la Figura 6, resultando inferior a la requerida para refrigeración, como era de esperar atendiendo al clima subtropical del emplazamiento. El consumo mínimo (condición más favorable) es de 289.4 KWh para  $\beta = 210^\circ$  (frente orientado al NNE). El máximo consumo (condición más desfavorable), 310.1 KWh, se da para una orientación  $\beta = 60^\circ$  (frente orientado al OSO).

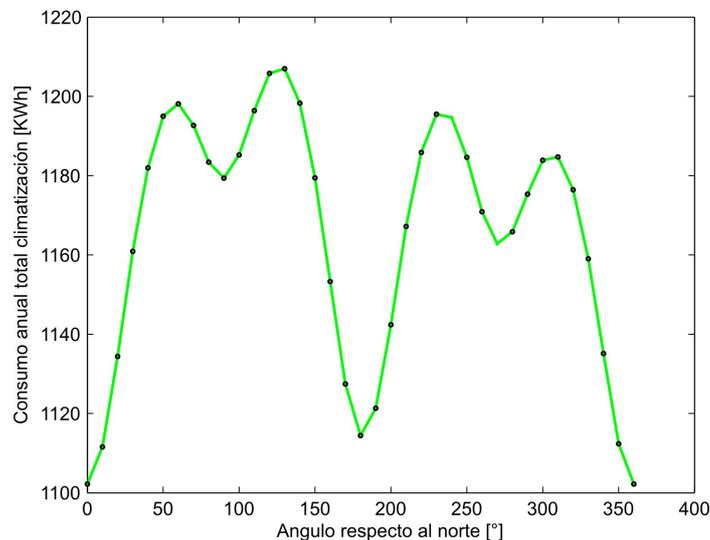


Figura 7: Consumo anual climatización según la orientación.

El consumo energético anual para la climatización según la orientación de las fachadas se puede observar en la Figura 7, donde se evidencia la preponderancia del consumo destinado a refrigeración dadas las características del clima. La orientación de menor consumo (1102.1 KWh) coincide con la determinada para refrigeración, esto es,  $\beta = 0^\circ$  (frente de la vivienda

orientado al S). El mayor consumo, 1207 KWh, se presenta para  $\beta = 130^\circ$  (frente al NO). Los resultados se resumen en la Tabla 4.

Tipo	Peor situación		Mejor situación		Diferencia
	Consumo	Orientación	Consumo	Orientación	
Refrigeración	903.5 KWh	230°	801.5 KWh	0°	11.2 %
Calefacción	310.1 KWh	210°	289.4 KWh	60°	6.7 %
Refr.+Calef.	1207.0 KWh	130°	1102.1 KWh	0°	8.7 %

Tabla 4: Demanda energética para climatización en un año típico.

Vale mencionar que las orientaciones más/menos favorables se han determinado únicamente en función de la energía requerida para climatizar la vivienda a lo largo de todo un año típico. No se ha tenido en cuenta la eficiencia ni el costo de instalación del sistema de climatización, ni que la energía para refrigerar y calefaccionar provenga de distintas fuentes, más o menos contaminantes, más o menos costosas. Cuando se consideren dichos factores en trabajos futuros, se tendrá una idea más precisa de la orientación óptima de una vivienda en el NEA en términos de costo e impacto ambiental.

## 4.2. Resultados diarios

Para obtener más información sobre la incidencia de la orientación de la vivienda sobre su demanda energética para climatización, nos focalizaremos en un día típico de verano (30/1) y un día típico de invierno (15/7).

### 4.2.1. Día típico de verano

Durante un día típico de verano la temperatura exterior se encuentra gran parte del tiempo fuera (por exceso) del intervalo de temperaturas de confort, activándose durante ese período la refrigeración. En la Figura 8 se muestra la evolución de la temperatura exterior, la temperatura interior controlada y sin controlar (sin refrigerar el ambiente). La Figura 9 muestra el consumo a lo largo de todo este día típico de verano en función de la orientación de la vivienda, de donde se deducen orientaciones más/menos favorables coincidentes con las deducidas del análisis de refrigeración anual (Figura 5).

### 4.2.2. Día típico de invierno

Durante un día típico de invierno, la temperatura exterior se encuentra gran parte del tiempo por debajo de la temperatura de confort, activándose durante ese período la calefacción. La Figura 10 muestra la temperatura exterior y la temperatura interior, tanto controlada como sin controlar. La Figura 11 muestra el consumo a lo largo de todo este día típico de invierno en función de la orientación de la vivienda. Una vez más, las orientaciones más/menos favorables deducidas restringiéndonos a un único día de invierno son similares a las deducidas del análisis de calefacción anual (Figura 6).

El resumen de la energía demandada para los días típicos de verano e invierno se expone en la Tabla 5.

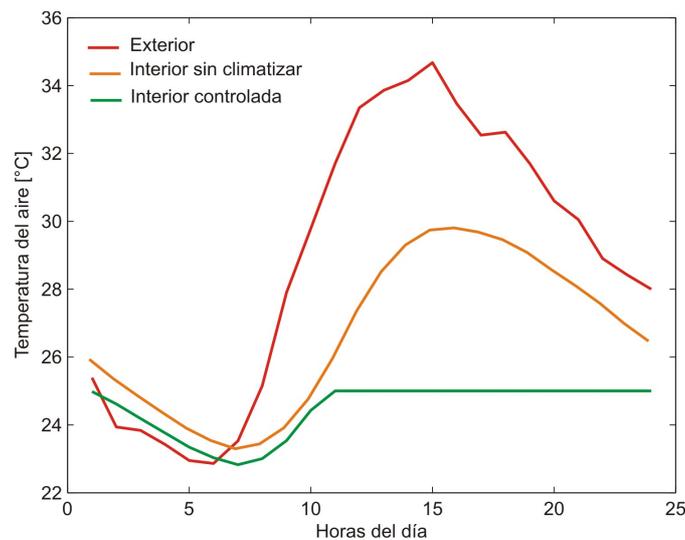


Figura 8: Temperatura del aire exterior para un día de verano (30/1), a comparar con la temperatura interior controlada y sin controlar para la orientación de  $0^\circ$ .

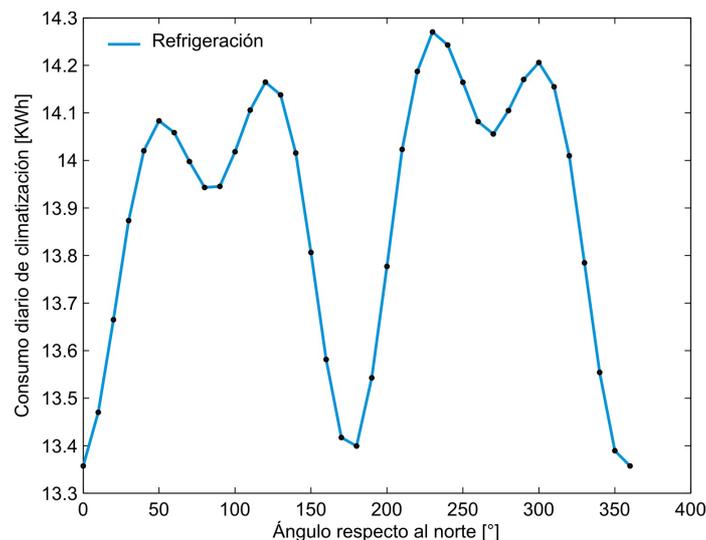


Figura 9: Consumo diario de refrigeración según la orientación para un día típico de verano (30/1).

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo, se evaluó la demanda energética de los sistemas de refrigeración y calefacción de una vivienda según su orientación cardinal, usando el software EnergyPlus<sup>®</sup>.

La vivienda estudiada posee las características típicas de las viviendas de interés social en el NEA y está situada en una localidad de clima húmedo y predominantemente cálido. Como era de esperar debido al emplazamiento, la energía demandada por refrigeración fue significativamente mayor a la demandada para calefacción a lo largo de un año típico. Ello explica que la orientación más favorable –la de menor consumo de energía para calefacción+refrigeración– resultara coincidente con la orientación de menor consumo de energía para refrigeración, a saber, aquella en que el frente de la vivienda estudiada diera al S. Más aún, el análisis de un solo día de verano (típico) condujo al mismo resultado.

Luego, en una región de clima predominantemente cálido, basta con el análisis de un día típico de verano para determinar la orientación óptima de la vivienda, aquella para la cual la

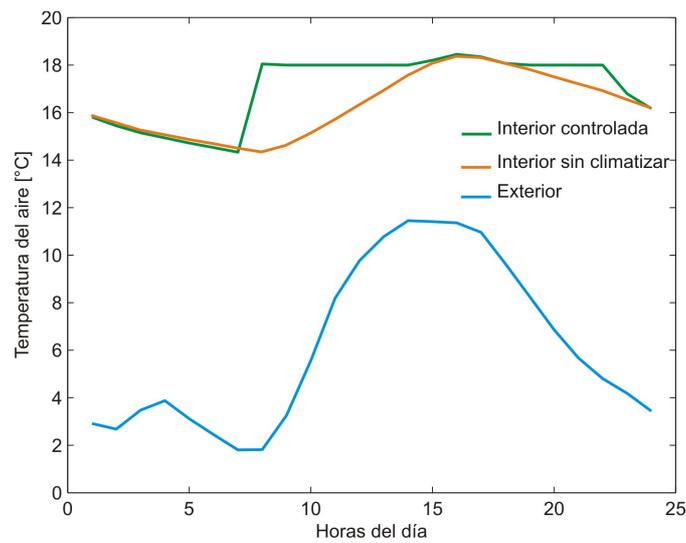


Figura 10: Temperatura del aire exterior para un día de invierno (15/7), a comparar con la temperatura interior controlada y sin controlar para la orientación de  $0^\circ$ .

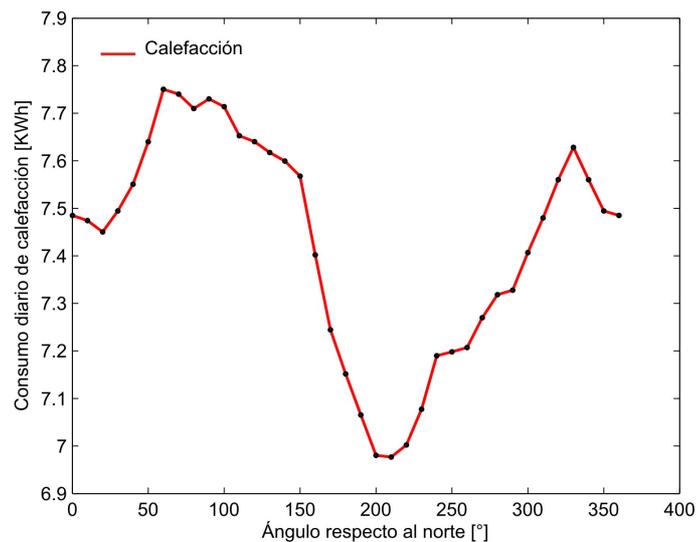


Figura 11: Consumo diario de climatización según la orientación para un día de invierno (15/7).

demanda de energía para climatización (no sólo refrigeración) es mínima.

No obstante, en la continuación de este trabajo, se revisará esta conclusión a la luz de modelos más sofisticados, completos y precisos. De hecho, no basta con analizar la energía demandada para climatizar, sino que debe considerarse la eficiencia de los sistemas de climatización, la separación entre sistemas de calefacción y refrigeración alimentados con energías de distintas fuentes, de distinto costo e impacto ambiental, etc.. Por ejemplo, si se usara una energía muy costosa y/o muy contaminante para calefaccionar, es de esperar que la orientación más favorable de la misma vivienda bajo el mismo clima cambie considerablemente.

Tipo	Peor situación		Mejor situación		Diferencia
	Consumo	Orientación	Consumo	Orientación	
Verano (refrigeración)	14.3 KWh	230°	13.4 KWh	0°	6.4 %
Invierno (calefacción)	7.8 KWh	210°	7.0 KWh	60°	10.0 %

Tabla 5: Demanda energética para climatización en días típicos de invierno y verano.

## REFERENCIAS

- ASHRAE. *2001 ASHRAE Handbook – Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.
- Clarke J. *Energy simulation in building design*. Routledge, 2001.
- Crawley D., Hand J., y Lawrie L. Improving the weather information available to simulation programs. En *Procs. of “Building Information ’99”*, volumen II, páginas 529–536. Kyoto, Japan, 1999.
- DoE. *EnergyPlus Engineering Reference – The reference to EnergyPlus Calculations*. U.S. Department of Energy (DoE), 2012a.
- DoE. *EnergyPlus, Input Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*. U.S. Department of Energy (DoE), 2012b.
- DoE. *Getting Started with EnergyPlus – Basic Concept Manual – Essential Information You Need about Running EnergyPlus*. U.S. Department of Energy (DoE), 2012c.
- DoE. Weather data: Buenos Aires 875760 (IWEC). Informe Técnico, Energy Efficiency & Renewable Energies (EERE), U.S. Department of Energy (DoE), 2012d.
- Morishita C., Sorgato M.J., Versage R., Triana M.A., Marinoski D.L., y Lamberts R. Catálogo de propiedades térmicas de paredes e coberturas (v.5). Informe Técnico, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2011.
- Rea M.S. *Lighting handbook: reference & application*. Illuminating Engineering Society of North America (IES), 1993.
- Roriz M. Arquivos climáticos de municípios brasileiros. Informe Técnico, Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), São Carlos, SP, Brasil, 2012.