

ÁREA TEMÁTICA: INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

# Caracterización energética y térmica de un edificio de la Facultad de Ingeniería de la UNER

## Energy and thermal characterization of a building at the Faculty of Engineering of UNER

**Fernández, Francisco J.** | Universidad Nacional de Entre Ríos, Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía y Medio Ambiente (GIDEMA), CIT Rafaela – CONICET Santa fe, Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf),  
Contacto: [javier.fernandez@uner.edu.ar](mailto:javier.fernandez@uner.edu.ar)

**Silva, Luis I.** | CIT Rafaela – CONICET Santa fe, Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf),

**García, Martín S.** | CIT Rafaela – CONICET Santa fe, Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf),

**De Ángelo, Cristian H.** | IITEMA – CONICET - Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Río Cuarto, Argentina.

### RESUMEN

El presente artículo evalúa la caracterización térmica y energética del edificio del Centro de innovación, Emprendimiento y Vinculación (CiEV) de la Facultad de Ingeniería de la UNER, ubicado en Oro Verde, Entre Ríos. A partir de simulaciones realizadas con EnergyPlus, se evaluaron los flujos de calor, el comportamiento térmico y el consumo energético bajo diversas condiciones climáticas locales. Para el desarrollo del modelo computacional, se incorporaron aspectos de eficiencia energética, incluyendo el análisis del consumo eléctrico y la propuesta de estrategias de optimización como la incorporación de paneles solares, mejoras en la ventilación natural y técnicas para mitigar la radiación solar en verano. Los resultados permitieron identificar oportunidades para mejorar el

Recibido: 17/02/2025 | Aceptado: 26/03/2026 | Publicado: 20/04/2026

DOI: <https://doi.org/10.64876/radi.v27.2>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.



confort térmico y la sostenibilidad energética. A su vez, el modelo empleado constituye una herramienta replicable para edificaciones con características similares en la región. A través de este estudio se espera contribuir a la generación de soluciones aplicables al diseño y operación de edificios energéticamente eficientes.

## ABSTRACT

This article evaluates the thermal and energy characterization of the building of the Innovation, Entrepreneurship and Engagement Center (CiEV) of the Faculty of Engineering of UNER, located in Oro Verde, Entre Ríos. Based on simulations carried out with EnergyPlus, heat flows, thermal behavior and energy consumption were evaluated under various local climatic conditions. For the development of the computational model, aspects of energy efficiency were incorporated, including the analysis of electrical consumption and the proposal of optimization strategies such as the incorporation of solar panels, improvements in natural ventilation and techniques to mitigate solar radiation in summer. The results identified opportunities to improve thermal comfort and energy sustainability. Furthermore, the model employed constitutes a replicable tool for buildings with similar characteristics in the region. This study aims to contribute to the development of solutions applicable to the design and operation of energy-efficient buildings.

**Palabras clave:** Confort térmico, modelo, simulación, eficiencia energética, EnergyPlus.

**Keywords:** Thermal comfort, model, simulation, energy efficiency, EnergyPlus.

## INTRODUCCIÓN

Los edificios sustentables, también conocidos como edificaciones verdes o ecológicas, son construcciones diseñadas y construidas para tener un impacto mínimo en el ambiente, mientras maximizan la eficiencia en el uso de recursos naturales y energéticos. Estas construcciones van más allá de la estética, incorporando tecnologías y prácticas que minimizan el consumo de energía, reducen la huella de carbono y fomentan la utilización de materiales reciclables y energías renovables.

Una de las principales causas del cambio climático es el excesivo consumo energético de los edificios. En las ciudades, el sector de edificios es responsable de aproximadamente el 30% de las emisiones directas [1]. Cerca de un tercio de la energía producida en Argentina es consumida en la gestión de los edificios. De esta cantidad, casi la mitad se utiliza para satisfacer la demanda de calefacción y refrigeración, mientras que más del 30% del resto se pierde por los techos con deficiente aislación térmica y provocando fugas de calor en invierno o sobrecalentamiento en verano [2]. Mundialmente, alrededor del 40% del consumo total de energía involucra las actividades humanas relacionadas con las edificaciones incluyendo el empleo de aparatos eléctricos e iluminación [3].

En esta línea, es posible identificar diversos trabajos científicos a nivel internacional que abordan el estudio de los patrones de consumo en universidades y edificios educativos en general. Bastida-Molina et al. [4] desarrollaron un código computacional para

analizar el consumo eléctrico en universidades y utilizan como ejemplo el campus de Albacete de la Universidad de Castilla-La Mancha. Yang et al. [5] investigaron los patrones y los factores que influyen en el consumo eléctrico de residencias universitarias durante el verano en China e identificaron que el género resultó ser un factor importante en la determinación del consumo de base, mientras que el piso (altura), la ocupación y la ubicación de la habitación eran determinantes en el consumo por refrigeración. En la misma línea, Zhou et al. [6] evaluaron un conjunto de características similares, donde identifican la efectividad de ciertos incentivos para el ahorro energético. Chen et al. [7] desarrollaron un modelo predictivo para estimar la demanda mensual en la biblioteca YunTech a partir de conjuntos limitados de datos de consumo eléctrico.

En relación al estudio de la energía en edificios educativos universitarios, en Argentina se está llevando adelante el Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitario (PROFEE). Este se centra en el análisis del consumo de energía eléctrica en instituciones de educación superior y en la evaluación del impacto de la generación a partir de fuentes renovables sobre dichas instituciones y el medio ambiente. En este sentido, el proyecto pretende realizar diagnósticos energéticos en cada una de las instituciones intervinientes a fin de identificar cómo se desagregan los consumos eléctricos (iluminación, climatización, equipos especiales, etc.) y cuáles son sus factores determinantes (clima, usuarios, según el tipo de actividad y bandas horarias). Los datos relevados son procesados para obtener información sistematizada y determinar los perfiles de consumo de energía eléctrica de los edificios que conforman la red. Esto permitirá identificar oportunidades de mejora de la eficiencia energética y las posibilidades de incorporar sistemas de generación fotovoltaica. A su vez, esta información permitirá diseñar e implementar campañas de sensibilización sobre el uso energético en las instituciones [8].

El aprovechamiento de las orientaciones, parasoles, ventilación natural, materiales aislantes y envolventes verdes son factores asociados con la sustentabilidad del hábitat que contribuyen a mejorar la calidad de vida, la salud humana y del edificio, la eficiencia energética y los costos de construcción. Si bien el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) impulsa la aplicación de reglas que no son de carácter obligatorio, pero sientan las bases para la oficialización de las mismas, ningún código de edificación establece criterios claros sobre sustentabilidad. En general, las normas IRAM establecen los valores globales de los parámetros que caracterizan a los materiales usados en las edificaciones y la forma estandarizada de calcular el intercambio de calor a través de los muros bajo los diferentes procesos de transmisión para las distintas zonas bioclimáticas. La eficiencia de la aislación determina la categoría de la edificación entre los niveles A y H según la norma IRAM 11900 [9].

Antes de considerar cualquier propuesta de mejora sobre un edificio, es conveniente realizar una evaluación energética y térmica del mismo. La forma usual de evaluar el comportamiento térmico es integrando los aportes de las diversas componentes de la envolvente (muros, aberturas, techos, etc.). Para ello es necesario entender cómo contribuye cada proceso de transmisión del calor (conducción, convección, radiación) y la acumulación de energía en el interior y en las paredes. Este proceso puede llevarse a

cabo mediante aproximaciones ya que, en la práctica, los flujos de calor asociados con cada mecanismo de transferencia no son independientes. En efecto, en el intercambio de calor entre una superficie y el ambiente se solapan los flujos producidos por la radiación y la convección. Los flujos de calor por convección dependen de si el movimiento del aire es impulsado por el viento o por diferencias de densidad. A su vez, en la transmisión de calor por conducción, debe considerarse que la envolvente se compone de capas de diferentes materiales con propiedades físicas distintas, y en algunos casos existen materiales que transmiten con mayor facilidad el calor debido a una menor resistencia térmica (puentes térmicos). La conducción también es afectada por la generación transitoria de sumideros y fuentes de calor por pérdida o acumulación de energía en el interior de las paredes. Otro factor que suma dificultad es el comportamiento térmico de las puertas, ventanas, etc.; que resulta complejo de evaluar.

La caracterización térmica de un edificio no sólo involucra la transferencia de calor a través de la envolvente sino también su capacidad calorífica global o "masa térmica". La energía almacenada en la envolvente edilicia puede cuantificarse, pero la energía real acumulada o liberada en todo el edificio es más difícil de calcular porque involucra la masa térmica interior y su distribución, las fuentes térmicas internas y las condiciones reales de uso del edificio [10]. Si se conocen los valores de todos los parámetros edilicios involucrados, entonces el comportamiento térmico de una construcción puede determinarse resolviendo las ecuaciones diferenciales y/o integrales que rigen los procesos de transferencia de calor con las condiciones iniciales (distribución inicial de temperatura en todos los componentes) y de contorno (evolución de las condiciones del tiempo en el exterior) adecuadas. Si no es posible obtener una solución analítica, puede recurrirse a aproximaciones a través de simulación o métodos numéricos [11].

Otro aspecto importante en la caracterización térmica es la forma en la que se intercambia energía a través de la envolvente edilicia. En particular, el estudio de la conducción térmica a través de las paredes fue profuso y condujo al desarrollo de herramientas que posibilitaron notorios avances en la gestión energética de los edificios. A fin de simplificar los cálculos asociados con la transferencia de calor, es frecuente emplear aproximaciones como la conducción térmica unidimensional estacionaria a través de la envolvente. En estado estacionario, el flujo de calor se determina a partir de la ley de Fourier y depende de la diferencia de temperatura entre las dos caras de la pared y de la conductividad de los materiales de construcción [11]. Generalmente, la envolvente se compone de muros contruidos por capas de diferentes materiales y propiedades físicas, las aberturas y el techo. Como consecuencia de la complejidad involucrada en los cálculos, el comportamiento térmico de un edificio suele determinarse empleando simulaciones basadas en modelos que dan cuenta de los principales fenómenos físicos, a partir de los cuales es posible reproducir la evolución temporal de la temperatura interna para diferentes condiciones externas.

Las simulaciones permiten estimar el comportamiento térmico de las diferentes zonas que conforman un edificio, los consumos de energía y la producción asociada de CO<sub>2</sub> que conlleva, como así también analizar diferentes estrategias de control y comporta-

mientos de los sistemas o equipos de climatización, prever la evolución de temperatura o humedad relativa en las diferentes zonas del edificio, etc. Los efectos de cada una de las contribuciones al cálculo (materiales de la envolvente, construcciones, cantidad de espacios, fuentes internas, ganancia solar, etc.) varían con el tiempo y dependen de las condiciones ambientales, zona climática, tipo de edificio y sus características térmicas, y del uso y control que se establezca. También es importante tener en cuenta la "inercia térmica", es decir la propiedad de un material relacionada con la facilidad con que cambia su temperatura ante variaciones de la temperatura exterior. Como esta inercia nunca es despreciable, el uso de una aproximación estacionaria para establecer la demanda energética real del edificio puede conducir a resultados incorrectos [10].

Existe una gran variedad de software aplicados a la simulación energética y al análisis térmico de edificaciones. La utilización de estos programas implica conocer en detalle la descripción digital del edificio y los valores de todos los parámetros edilicios involucrados. Dada la incerteza sobre los valores de los parámetros característicos de los materiales empleados, se requieren validaciones específicas para definirlos. Si bien esta tarea conlleva un esfuerzo importante, los programas de simulación son herramientas potentes para determinar el balance térmico total del edificio o el parcial de cada componente de la envolvente, y también para analizar situaciones virtuales que son difíciles o costosas de estudiar de otra manera.

Con el objetivo de encontrar soluciones concretas y viables para reducir el consumo de energía en edificios públicos localizados en la Provincia de Entre Ríos, se calcula y analiza el flujo de calor intercambiado a través de la envolvente edilicia de un caso de estudio usando el programa EnergyPlus y las condiciones meteorológicas registradas durante el transcurso de un año. Para este caso en particular se tomó el edificio del Centro de innovación, Emprendimiento y Vinculación (CiEV) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos (FI-UNER), ubicado en el Campus Universitario de Oro Verde. El mismo fue construido en el año 2020 y forma parte del módulo 1 de esta facultad, involucrando una geometría y diseño particular; cuyos sistemas constructivos, componentes y materialidad (muros y aberturas) fueron pensados en la eficiencia energética sin afectar la calidad de vida de los ocupantes. En consecuencia, el análisis detallado de sus componentes edilicias puede constituir una base de información representativa aplicable a otras edificaciones.

Según el sistema de ventilación existente en el edificio y de acuerdo con la información disponible, el caudal de aire que ingresa a cada zona térmica se calcula de manera diferente [10]. Para la simulación de nuestro edificio fueron considerados los caudales de aire que ingresan por ventilación natural ( $q_{ve}$ ) y el caudal de aire debido a infiltraciones en las aberturas ( $q_{inf}$ ).

La ventilación natural se refiere al flujo de aire entre el interior y el exterior de un edificio. Este flujo ocurre a través de respiraderos, ventanas y aberturas controladas no necesariamente usadas para iluminar. Estos respiraderos suelen ser ventanas u orificios de formas definidas y su inclusión en el diseño de un edificio no presenta dificultades. El problema principal consiste en determinar la estructura y la intensidad del flujo de aire dentro de un edificio constituido de múltiples espacios interconectados por ventanas y

puertas. El desafío es comprender la física de la ventilación para proveer los mecanismos de control necesarios para asegurar la calidad del aire, remover el exceso de calor y contaminantes, y optimizar el costo de la ventilación y calefacción de los edificios.

La infiltración es el intercambio no controlado de aire a través de la envolvente edilicia debido a la diferencia de presión entre el interior y el exterior. La misma, permite la renovación del aire manteniendo la calidad del mismo, aún con el edificio cerrado, y evita la condensación indeseada [12]. No obstante, las cargas de calefacción y refrigeración pueden aumentar entre un 15% y 50% por el aire infiltrado [13]. Esto debe considerarse en el diseño de los sistemas de climatización y renovación del aire interior bajo las condiciones de temperatura y humedad relativa acordes con el uso del edificio.

## METODOLOGÍA

### Descripción de la zona y del edificio evaluado

La localidad de Oro Verde se ubica al oeste de la provincia de Entre Ríos, en el distrito Sauce al sur del Departamento Paraná (31° 49' 30" S, 60° 31' 03" O; 80 msnm). Además, Oro Verde se encuentra a solo 10 km al sur de la ciudad de Paraná, capital de la provincia. Esto constituye a su alrededor una red de ciudades equilibradas y casi regularmente distribuidas.

Según lo propuesto por la norma IRAM 11603 [14], la provincia de Entre Ríos se caracteriza como una zona bioambiental II: cálida, subzona II-b. Esta zona se encuentra limitada entre las isótermas de TEC 26,3 °C y 24,6 °C, comprende el conjunto de dos porciones del territorio, una de extensión Este-Oeste centrada alrededor del paralelo 30° y otra, de extensión Norte-Sur recortada sobre la falda oriental de la Cordillera de los Andes. En esta zona, el verano es la estación crítica, con valores de temperatura media mayores a 24 °C y temperatura máxima superior a 30°C. Las mayores amplitudes térmicas ocurren en esta época del año, con valores de 16 °C como máximo. Las presiones parciales de vapor de agua más altas se dan también en el período de verano, con valores medios menores que 2135 Pa (16 mmHg). El invierno es más seco, con bajas amplitudes térmicas y temperaturas medias comprendidas entre 8 °C y 12 °C [14].

El edificio tomado como objeto de estudio y que fue construido según los estándares recomendados para la zona; es aquel donde funciona el Centro de innovación, Emprendimiento y Vinculación (CiEV) de la FI-UNER. Se encuentra ubicado en una zona de baja densidad poblacional a 1 km del centro urbano. Está situado en la planta alta con una superficie de 150 m<sup>2</sup>, una fachada frontal de 85 m<sup>2</sup>, construida mayormente de superficie vidriada. Las aberturas de doble vidriado hermético (DVH) con cámara de aire de 0.006 m de espesor abarcan un área de 51 m<sup>2</sup>, mientras que las puertas y los paneles fijos vidriados internos de simple vidrio ocupan 24 m<sup>2</sup>. El resto de la fachada y ambas paredes laterales se componen de muros de 0.20 m de espesor compuestos de revoque fino y grueso, ladrillo alivianado de HCCA y revoque fino y grueso interno, cubriendo un área total de 77 m<sup>2</sup>. La pared posterior orientada al sur se compone de muros de 0.45 m de espesor compuestos de revoque fino y grueso, aislante hidrófugo y ladrillo visto, cubriendo

un área total de 85 m<sup>2</sup>. La relación vidrio/muro es 32% distribuida de la siguiente manera: 78% del área vidriada se ubica al norte (N), 7% al este (E) y 15% al oeste (O).

### Detalles de la simulación con EnergyPlus

La simulación del intercambio de energía con el exterior y los efectos de las principales cargas térmicas del edificio del CiEV de la FI-UNER se realizó con la versión 23.2 del programa EnergyPlus (Crawley et al., 2001; <https://energyplus.net/>). EnergyPlus emplea múltiples opciones o comandos y funciona con los datos proporcionados por dos tipos de archivos principales: *.idf* y *.epw* relacionados con el diseño 3D del edificio y con los datos meteorológicos respectivamente. El modelo tridimensional del edificio y la generación inicial del archivo *.idf* se realizó con las aplicaciones del programa OpenStudio® y SketchUp® donde se consideraron los materiales empleados en la construcción y sus propiedades térmicas. También, es posible configurar el archivo de datos meteorológicos y otros datos de entrada, así como los archivos de salida, utilizando programas auxiliares.

El programa auxiliar "Weather Statics and Conversions" emplea dos archivos de datos como entrada: un archivo *.csv* que contiene los datos meteorológicos adquiridos hora por hora en estaciones ubicadas en la zona, y un archivo de texto *.def* en el que se especifican las unidades, los factores de conversión, la localización geográfica del edificio, la altura sobre el nivel del mar, etc. La ejecución de este programa genera un archivo en formato *.epw* preparado para ser leído por EnergyPlus. Con este programa auxiliar se pueden agregar, cambiar o quitar las variables meteorológicas consideradas en las simulaciones. Para este caso, se utilizaron los datos meteorológicos (temperatura y humedad del aire, presión, intensidad y dirección del viento) registrados por la estación del SMN comprendidos entre el 01/01/2017 y el 31/12/2017, y los datos de radiación solar provistos por la estación del Aeropuerto J.J. de Urquiza de la ciudad de Paraná.

El edificio del CiEV se describe mediante 151 superficies que conforman 5 zonas térmicas o espacios (oficina, espacio común, sala de reuniones, hall de entrada y baños) distribuidos en la planta alta (PA). Cada zona térmica es un "volumen" con características térmicas únicas que pueden llegar a afectar el comportamiento térmico global de la construcción. Mediante una escalera metálica se accede al hall de entrada del edificio. En la Figura 1 se puede observar la representación digital del edificio en los que las paredes se representan con amarillo opaco, las puertas y ventanas vidriadas con celeste transparente, las superficies del techo de chapa de zinc representadas con color violeta oscuro y los pisos están representados con gris oscuro.

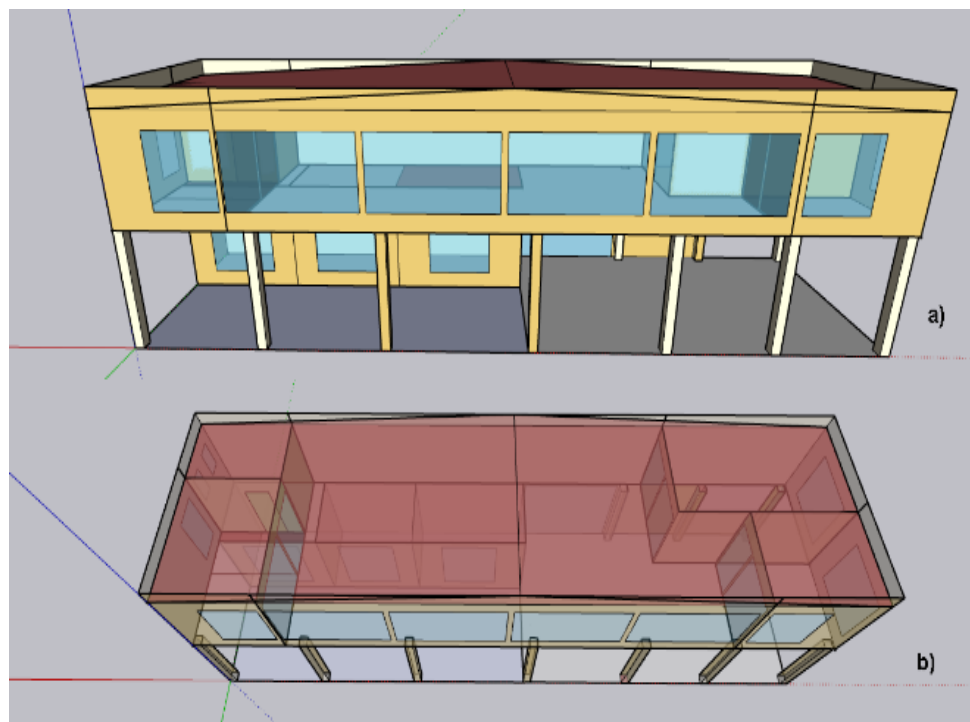


Figura 1: Geometría del edificio. (a) Envolvente, (b) Interior de la PA.

### Relevamiento de ocupación y cargas del edificio

Las cargas térmicas de verano son distintas a las de invierno y en ambas estaciones hay periodos en los que es posible evitarlas. Por ejemplo, durante los periodos de vacaciones, el edificio permanece cerrado y la ventilación es mínima, el número de usuarios y la disipación energética generada por la actividad metabólica de los mismos pueden desprejarse, como así también la carga térmica generada por la iluminación y los equipos eléctricos y electrónicos. Por lo tanto, la simulación del comportamiento térmico del CiEV durante los recesos resulta más sencilla con una notoria disminución de los parámetros utilizados. En caso contrario, la simulación que contempla la operación de los equipos de acondicionamiento de aire (refrigeración y calefacción), ventilación natural requiere definir lo mejor posible las cargas internas, introducir los parámetros que se correspondan con los equipos disponibles y programar los horarios de funcionamiento correspondientes de acuerdo con la ocupación horaria en los diferentes días de la semana.

Para definir los diferentes calendarios (schedules) programados para la simulación, se realizó un relevamiento del uso y del consumo de todos los equipos utilizados. En el edificio asisten durante el año académico en promedio 36 personas distribuidas de la siguiente manera: 1 en la oficina, 10 en la sala de reuniones y 25 en el espacio común. En la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos en el relevamiento de los equipos discriminados por zonas térmicas.

Tabla 1: Relevamiento de cargas y consumos de los equipos por zonas térmicas.

Zona térmica	Equipamiento	Uso [horas/año]	Potencia [KW]	Energía [KWh/año]
Oficina	1 Notebook	504	0.23	115.92
	1 Monitor	504	0.36	181.44
	1 Teléfono	252	0.044	11.08
	1 AC Inv. F/C	336	3	1008
	1 Lum. Led	504	0.040	20.16
<b>Subtotal</b>		<b>2100</b>	<b>3.7</b>	<b>1336.6</b>
Sala de reuniones	4 Notebook	168	0.23	154.56
	1 Televisión	84	0.135	11.34
	1 Aire Inv F/C	224	4	896
	2 Lum. Led	84	0.040	6.72
<b>Subtotal</b>		<b>560</b>	<b>4.4</b>	<b>1068.6</b>
Espacio común	5 Notebooks	840	0.23	966
	1 Dispenser	1680	0.70	1176
	1 Televisor	840	0.26	218.4
	1 Pava Ele.	210	2	420
	1 Robot ABB	160	0.25	40
	1 Impresora	210	0.12	25.2
	1 Teléfono	420	0.044	18.48
	2 Aires F/C	560	9	10080
	14 Lum. Led	840	0.040 c/u	470.4
	1 Minibar	1680	1.55	2604
	1 Microondas	210	1.20	252
	Otros	31320	0.10	545
<b>Subtotal</b>		<b>38970</b>	<b>15.5</b>	<b>16815.4</b>
Hall de entrada	3 Lum. Led	840	0.040 c/u	100.8
Baños	2 Lum. Led	168	0.020 c/u	6.72
<b>Total</b>		<b>42638</b>	<b>23.66</b>	<b>19328.12</b>

### Ventilación natural e infiltraciones

En el contexto de esta simulación, por medio de la Ec. (1) se puede calcular de forma numérica el valor de diseño del caudal de ingreso de aire debido a la ventilación natural en el periodo de verano ( $q_{ve}$ ). En este periodo, se debe considerar la apertura de las ventanas a los fines de obtener una circulación de aire natural durante las horas nocturnas, es decir, cuando la temperatura exterior es menor a la temperatura interior de confort.

Para el cálculo del caudal de aire que ingresa en la zona térmica debido a la ventilación natural en verano, la norma IRAM 11900 [15] establece los valores de la tasa de renovación de aire por ventilación en verano,  $n$ . Por lo tanto,

$$q_{ve} = \frac{n \cdot V_{neto}}{3600} \cdot f_{ve} \quad (1)$$

Dónde,  $q_{ve}$  es el caudal de ingreso de aire, en  $m^3/s$ ;  $n$  es la tasa de renovación de aire, que para ventilación simple según el manual de ASHRAE (2005) se recomienda  $n = 25$ ;  $V_{neto}$  es el volumen neto de la zona térmica considerada, en  $m^3$  y  $f_{ve}$  la fracción de tiempo en que se considera la existencia de un flujo de aire nocturno para ventilación; dado que se producirá para el periodo de refrigeración se adopta un valor de 0.33 considerando que la ventilación se producirá entre las 23 hs. y las 7 hs.

A través de la Ec. (2) se obtiene el cálculo del caudal de aire debido a infiltraciones ( $q_{inf}$ ) que se producen en la zona térmica debido a fugas a través de la envolvente de la misma, la norma IRAM 11900 [15] establece los valores del área efectiva de fuga por metro lineal de junta,  $a_v$ . Por lo tanto,

$$q_{inf} = 2.5 \left( \sum_{i=1}^x a_{v,i} l_i + \sum_{j=1}^z A_{rv,j} \right) 10^{-4} \quad (2)$$

Dónde,  $l_i$  es la longitud de la junta de la  $i$ -ésima abertura (o su perímetro), en m;  $A_{rv,j}$  el área total de fuga del  $j$ -ésimo elemento de la envolvente térmica en  $cm^2$ ;  $x$  es el número total de aberturas de la zona térmica considerada y  $z$  el número total de elementos de la envolvente térmica. El factor de conversión  $10^{-4}$  de  $cm^2$  a  $m^2$  se usa para calcular  $q_{inf}$  en  $m^3/s$  cuando  $a_{v,i}$  se expresa en  $cm^2$ .

Para obtener el cálculo del caudal de infiltración total, la hermeticidad se establece usando  $a_{v,i} = 2.54 \text{ cm}^2/m$  para ventanas tipo batiente y puertas tipo oscilante, y  $a_{v,i} = 0 \text{ cm}^2/m$  para paños fijos.

### Simulación de la implementación de un Sistema Fotovoltaico

Se realizó una simulación de la implementación de un sistema fotovoltaico (FV) destinado a cubrir el consumo eléctrico asociado principalmente a la iluminación del edificio del CiEV de la FI-UNER, equivalente a aproximadamente el 30% de su demanda anual. Para ello, se utilizó el software PVSol en su versión de prueba, evaluando distintas configuraciones compatibles con las características geométricas y constructivas de la cubierta del sector.

El análisis contempló la estimación de la generación anual del sistema, la cobertura directa de la demanda eléctrica, la energía requerida de la red pública y el excedente potencial inyectable. Esta metodología permitió evaluar el desempeño energético del sistema propuesto e identificar alternativas orientadas a optimizar la cobertura de la demanda y promover un uso eficiente y racional de la energía eléctrica en el edificio.

## RESULTADOS

### Balance térmico

Inicialmente se simula el balance térmico sin considerar las cargas térmicas en el interior del edificio. Esto corresponde a zonas térmicas con poca ocupación y sin cargas térmicas significativas. En la Figura 2 se representa la temperatura para el año analizado;

donde la línea azul corresponde a la temperatura exterior ( $T_e$ ) y la línea roja corresponde a la interior ( $T_i$ ) en el espacio común del edificio proporcionada por la simulación.

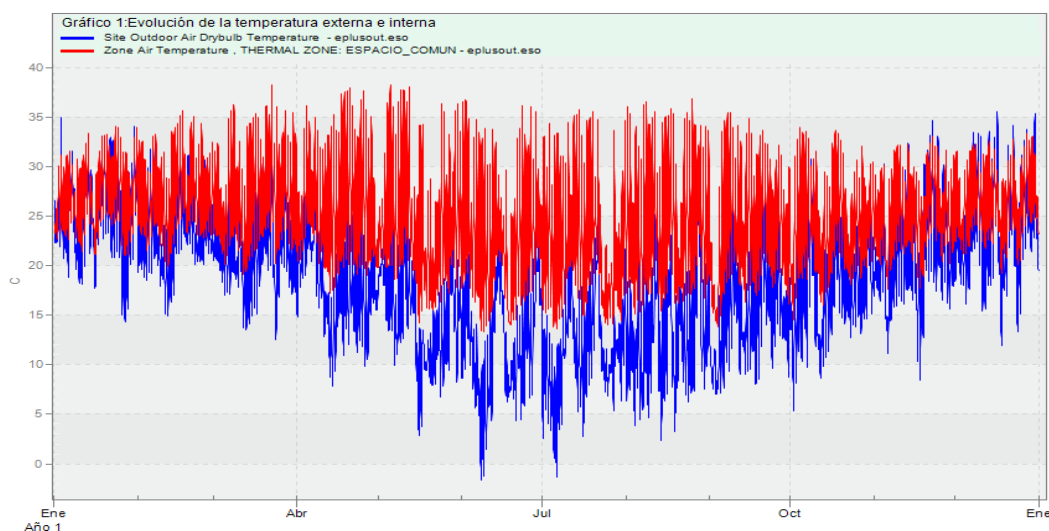
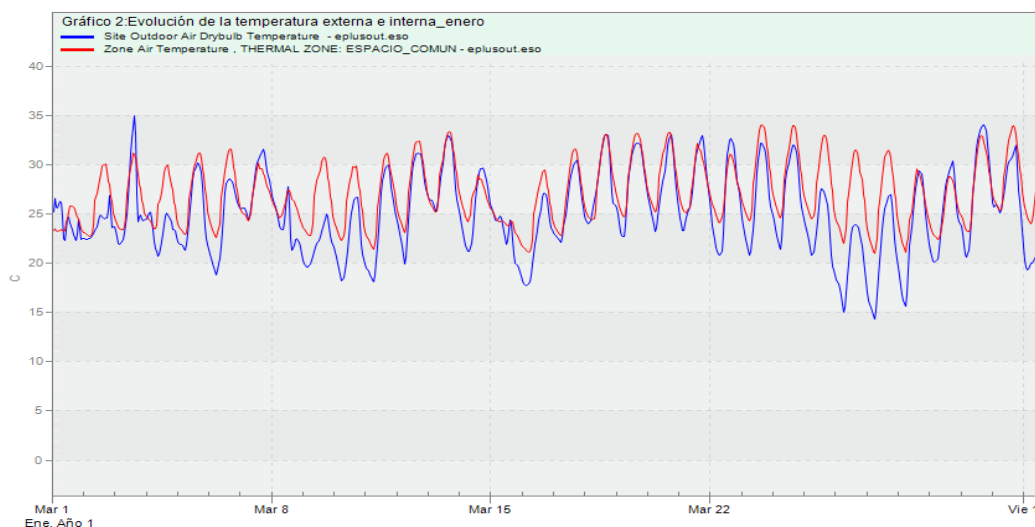


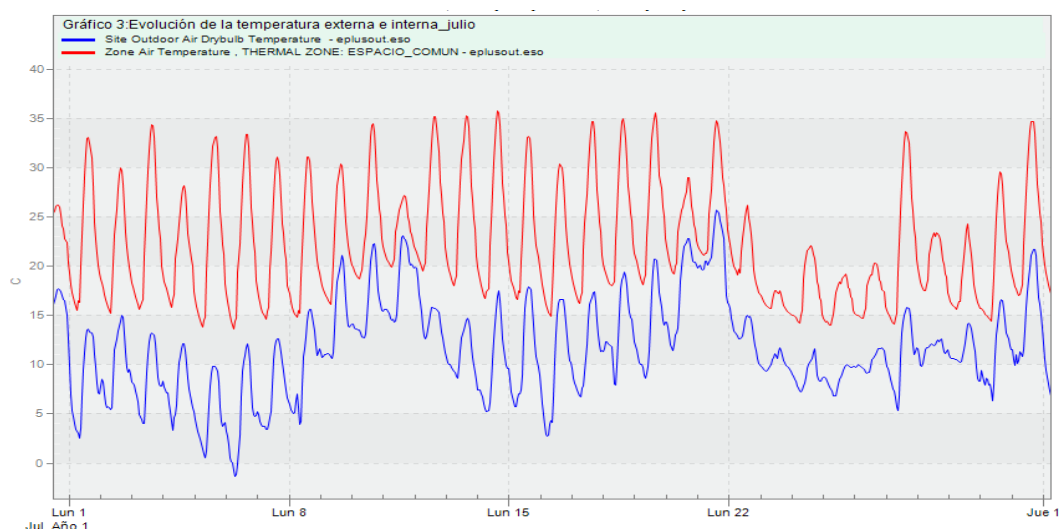
Figura 2: Evolución de la temperatura externa (línea azul) y la temperatura interna del espacio común (línea roja) que resulta de la simulación sin considerar las cargas térmicas.

### Comportamiento térmico en verano e invierno

Durante el mes de enero, el edificio del CiEV permanece cerrado o con poca ocupación y sin cargas térmicas significativas. En la Figura 3 se muestra la simulación de la temperatura correspondiente a este mes, donde se aprecia una correlación en los tiempos de ocurrencia de los máximos y mínimos diarios de  $T_i$  y  $T_e$ , y también los tramos de las curvas correspondientes al enfriamiento nocturno. Las mayores diferencias se observan durante las variaciones bruscas de la  $T_e$  producidas el 3 y el 28 de enero. Se puede observar que  $T_i$  se encuentra entre 23°C y 32°C, con máximos de 34°C, siendo notorio el sobrecalentamiento del interior de esta zona durante enero. En la Figura 4 se muestra la simulación de la temperatura correspondiente al mes de julio, donde se encuentra el periodo de tiempo coincidente con el receso universitario de invierno comprendido entre el 15 y 30 de julio. La  $T_i$  simulada en el espacio común sin calefacción (línea roja) se mantiene por arriba de los valores máximos de  $T_e$  siendo más notorio el sobrecalentamiento o masa térmica de esta zona térmica.



**Figura 3: Evolución de la temperatura externa (línea azul) y la temperatura interna del espacio común (línea roja) sin considerar las cargas térmicas durante enero.**



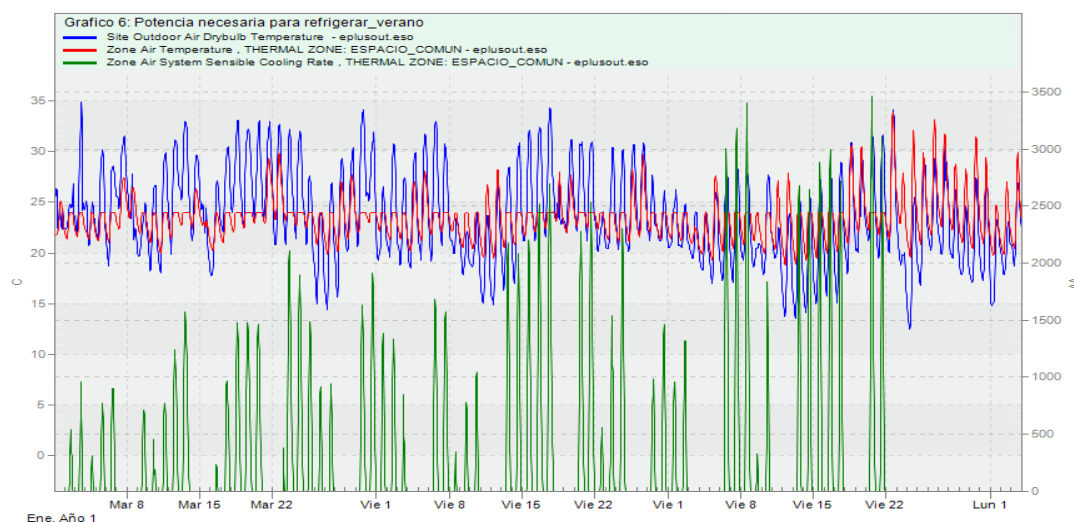
**Figura 4: Evolución de la temperatura externa (línea azul) y la temperatura interna del espacio común (línea roja) sin considerar las cargas térmicas durante julio.**

### Potencia necesaria para refrigerar y calefaccionar

Para determinar las potencias necesarias para lograr refrigerar todas las zonas térmicas durante verano y calefaccionarlas en invierno, fue necesario definir un schedules (calendario) de tipo control de *temperatura* (termostato), donde se establece las temperaturas de invierno en 21°C y la del verano en 24°C como parámetros límites. Luego, a través de la simulación se obtiene la potencia del aire acondicionado para mantener estables dichas temperaturas.

Para el caso de verano se puede observar en la Figura 5 como la temperatura máxima del espacio común (línea roja) se mantiene en 24°C durante los días de ocupación de la zona térmica. También se puede observar la potencia necesaria del equipo de refrige-

ración (AC) para acondicionar el espacio común sin cargas térmicas (línea verde). Se observa que en algunos días en particular se obtiene un máximo entre 3.000 W y 3.500 W.



**Figura 5: Evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna (línea roja) y la potencia necesaria para refrigerar el espacio común (línea verde) para verano sin cargas térmicas.**

Para el caso de la temporada de invierno, se puede observar en la Figura 6 como la temperatura del espacio común (línea roja) se mantiene en 21°C durante los días de ocupación de la zona térmica. También se puede observar la potencia necesaria del AC para calefaccionar el espacio común sin cargas térmicas durante invierno (línea verde). Se puede observar que en algunos días en particular esta potencia supera los 3.500 W.

En la Figura 7 se puede observar la potencia necesaria del aire acondicionado para refrigerar el espacio común en verano, considerando el uso y todas las cargas térmicas (línea verde). Para este caso, se observa que en algunos días en particular se obtiene un máximo entre 9.000 W y 10.000 W. También, se puede apreciar el funcionamiento del termostato según los días definidos en el calendario.

Por otro lado, en la Figura 8 se puede observar la potencia necesaria del aire acondicionado para calefaccionar el espacio común en invierno, considerando el uso y todas las cargas térmicas (línea verde). Para este caso, se observa que en algunos días en particular se obtiene un máximo entre 3.000 W y 3.500 W. También, se puede apreciar el funcionamiento del termostato según los días definidos en el calendario.

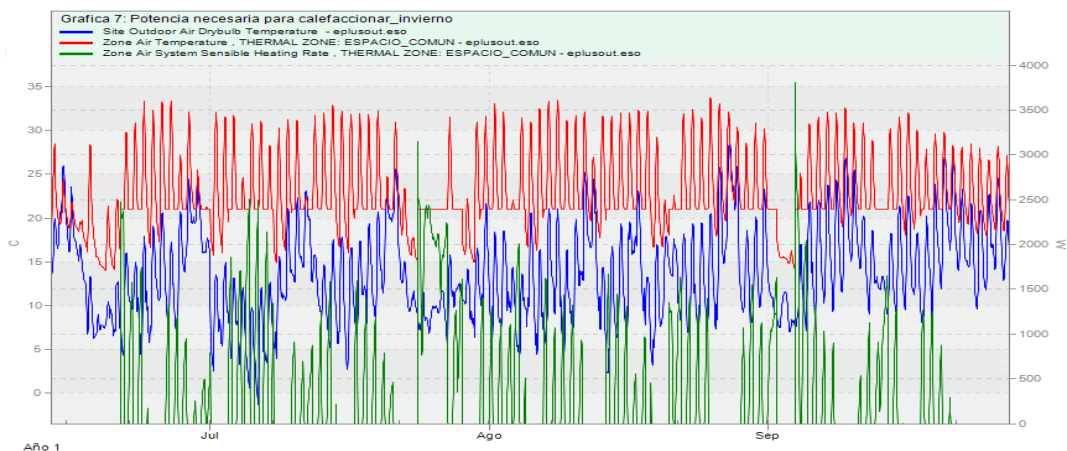


Figura 6: Evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna (línea roja) y la potencia necesaria para calefactar el espacio común (línea verde) para invierno sin cargas térmicas.

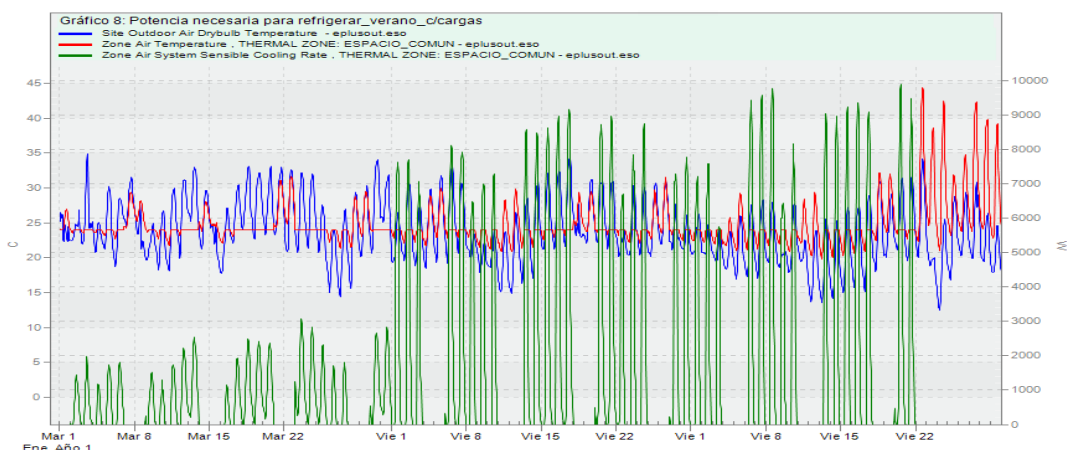


Figura 7: Evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna (línea roja) y la potencia necesaria para refrigerar el espacio común (línea verde) para verano considerando el uso y las cargas térmicas.

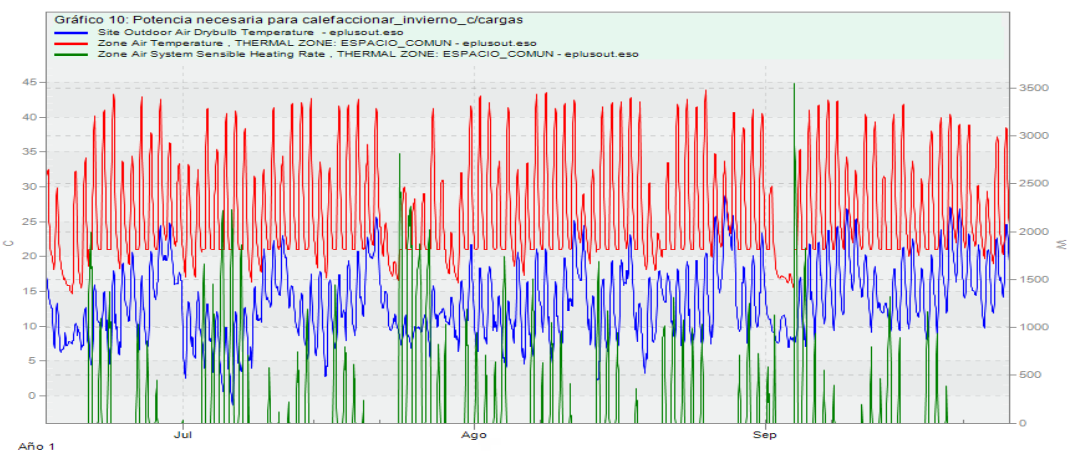


Figura 8: Evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna (línea roja) y la potencia necesaria para calefactar el espacio común (línea verde) para invierno considerando el uso y las cargas térmicas.

## Efecto de la ventilación natural

Para esta simulación se calculó de forma numérica el valor de diseño del caudal de ingreso de aire debido a la ventilación natural durante el mes de enero entre las 23 hs y las 7 hs. En este periodo, se consideró la apertura de las ventanas a los fines de obtener una circulación de aire natural durante las horas nocturnas, es decir, cuando la temperatura exterior es menor a la temperatura interior de confort.

A través de la Ec. (1) se obtuvo el valor numérico de diseño del caudal de aire que ingresa en la zona térmica debido a la ventilación natural en enero, siendo el mismo  $q_{ve} = 1.02 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la Figura 9 se observa la evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna sin ventilación natural (línea roja) y la temperatura interna del espacio común con ventilación durante el mes enero (línea verde). Como se deduce de estos resultados, existe la posibilidad de refrescar el interior del espacio común del CiEV en más de 5°C si se recurre a la ventilación nocturna en verano.

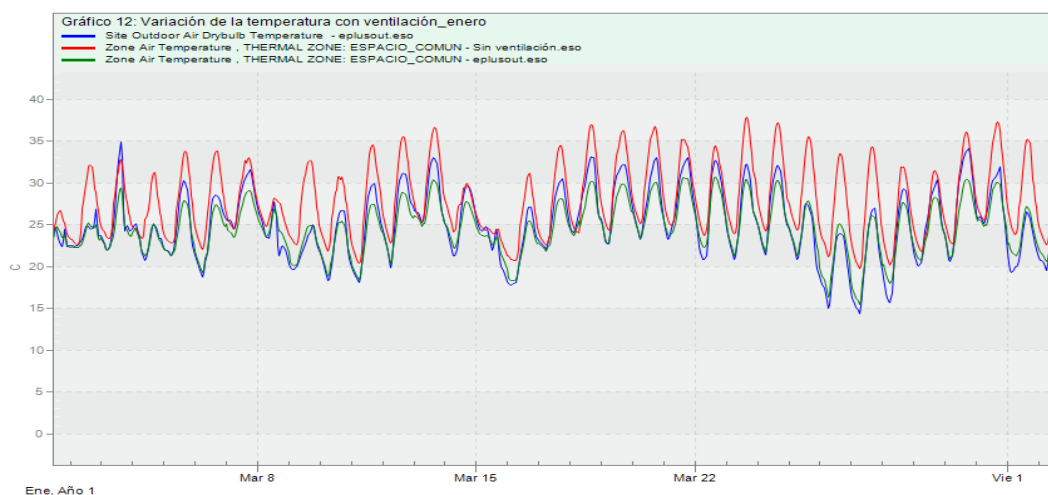


Figura 9: Evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna sin ventilación natural (línea roja) y la temperatura interna del espacio común con ventilación natural (línea verde) durante enero.

## Efectos de las infiltraciones

Para el cálculo del caudal de aire debido a infiltraciones que se producen en las zonas térmicas generados por fugas a través de las envolventes, la norma IRAM 11900 establece los valores del área efectiva de fuga por metro lineal de junta. En esta simulación, se obtuvo a través de la Ec. (2) el valor de diseño del caudal de infiltración total, siendo el mismo  $q_{inf} = 0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la Figura 10 se observa la evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna sin infiltraciones (línea verde) y la temperatura interna del espacio común con infiltraciones (línea roja) durante el mes de enero. Se puede observar en la línea roja, una disminución de la temperatura por el efecto de la infiltración. En la Figura 11 se puede observar el mismo efecto durante el mes de julio; donde, como en el caso de las simulaciones anteriores es notorio el sobrecalentamiento o masa térmica de esta zona

térmica. Como se puede observar de estos resultados, las infiltraciones producen una reducción de la temperatura en el interior del espacio común del CiEV en un promedio de 5°C en verano y de 3°C en invierno.

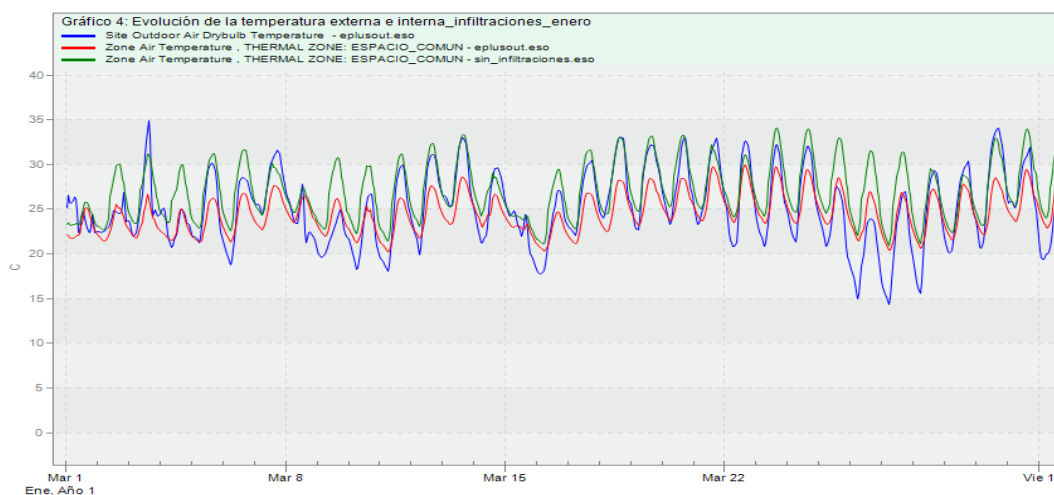


Figura 10: Evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna sin infiltraciones (línea verde) y la temperatura interna del espacio común con infiltraciones (línea roja) durante enero.

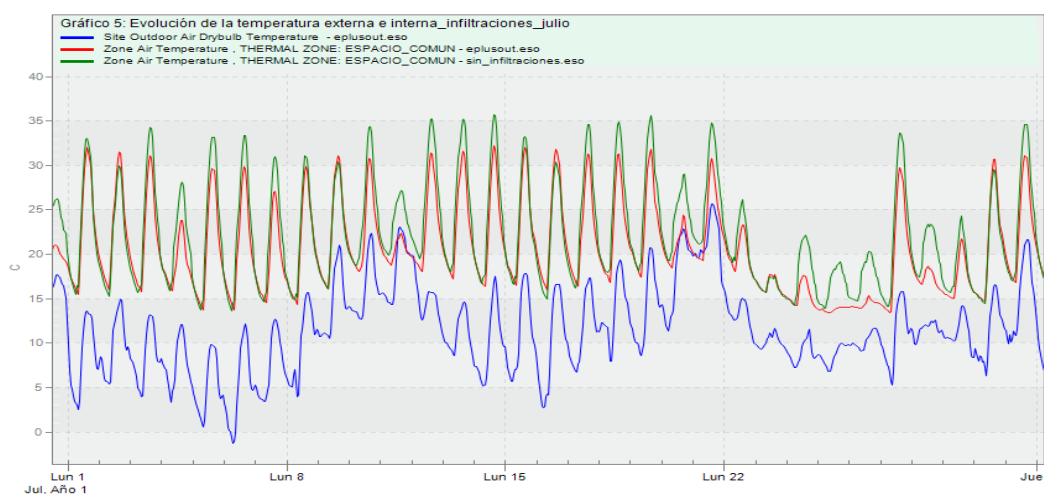


Figura 11: Evolución de la temperatura externa (línea azul), la temperatura interna sin infiltraciones (línea verde) y la temperatura interna del espacio común con infiltraciones (línea roja) durante julio.

### Simulaciones del sistema fotovoltaico

La simulación del sistema fotovoltaico (FV) para el sector CiEV (Tabla 2) se realizó considerando como demanda objetivo el consumo eléctrico asociado principalmente a la iluminación del edificio, estimado en 7.800 kWh/año. Este valor surge del análisis de la demanda anual del CiEV, donde se identificó que el consumo destinado a iluminación representa aproximadamente el 30% de la demanda eléctrica total anual del sector durante 2024.

La simulación contempló la utilización de un sector de la cubierta de chapa de zinc de aproximadamente 45 m<sup>2</sup>, con los módulos orientados al norte e inclinados 45°, mediante estructuras adaptadas a la pendiente del techo. El arreglo propuesto está compuesto por 27 módulos de 300 Wp (1,68 m<sup>2</sup> cada uno; eficiencia 18,1%), totalizando una potencia instalada de 8,1 kWp. Se consideró un inversor trifásico AEG modelo AS-IC02-6000-2, con potencia nominal de 6 kW y potencia máxima de entrada de 9 kW [16].

Según los resultados obtenidos con el software PVSol, la energía generada anualmente sería de 6.994,31 kWh, con una irradiación global sobre el plano del generador de 952,47 kWh/m<sup>2</sup>, un coeficiente de rendimiento (PR) de 84,20% y un rendimiento específico anual de 863,50 kWh/kWp.

**Tabla 2. Síntesis del sistema FV propuesto para el edificio del CiEV de la FI-UNER.**

Orientación/ Inclinación	Potencia [kWp]	N° de paneles (300 Wp)	Energía anual generada [kWh]	Demanda total anual [kWh]	Demanda cubierta por FV	Demanda cubierta por red	Energía inyectada a la red [kWh]	Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas [Kg/año]
180°/45°	8,1	27	6.994,31	7.800	46%	54%	3.406,3	3.281,4

## DISCUSIÓN

La integración de herramientas de modelado y simulación -SketchUp®, OpenStudio® y EnergyPlus- permitieron desarrollar un modelo térmico detallado del edificio, integrando información geométrica, constructiva y climática en un entorno de simulación dinámica. La modelización tridimensional facilitó la representación precisa de la envolvente y la definición de zonas térmicas, mientras que EnergyPlus posibilitó el cálculo simultáneo de los balances térmicos considerando conducción, convección, radiación e infiltraciones. Este enfoque supera aproximaciones simplificadas de tipo estacionario y permite capturar la dinámica real del comportamiento energético del edificio.

En términos de resultados, la simulación confirmó que, si bien las pérdidas térmicas invernales generan una demanda significativa de calefacción, el fenómeno más crítico es el sobrecalentamiento estival, asociado principalmente a las ganancias solares y a la acumulación térmica en la envolvente. Este comportamiento coincide con estudios recientes en edificios educativos de regiones templadas, donde el crecimiento del uso de sistemas de aire acondicionado ha desplazado el predominio histórico de la calefacción como principal carga energética. En este sentido, los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de estrategias pasivas de control solar y ventilación natural.

Particularmente, la simulación mostró que la incorporación de ventilación natural nocturna permitiría reducir las temperaturas internas en más de 5 °C durante el verano, lo que evidencia el potencial de estrategias pasivas de enfriamiento para disminuir la dependencia de sistemas activos de climatización. Asimismo, el análisis de infiltraciones permitió observar su doble efecto: si bien contribuyen a la reducción de temperaturas en

verano, también incrementan las pérdidas térmicas en invierno, lo que pone de manifiesto la importancia de un diseño equilibrado de la hermeticidad de la envolvente.

A partir de estos resultados, se plantearon propuestas de mejora orientadas a optimizar el desempeño térmico del edificio. Entre ellas, la reducción de la radiación solar incidente mediante soluciones de sombreado o cubiertas vegetales, que podrían disminuir la temperatura superficial de la envolvente y el flujo de calor entrante; y el aumento de la ventilación natural controlada en verano, como estrategia de enfriamiento pasivo. Estas medidas son consistentes con recomendaciones reportadas en [9][10] sobre la eficiencia energética en edificios institucionales, donde la combinación de mejora de envolvente y estrategias bioclimáticas permite reducciones significativas en la demanda de refrigeración.

Desde una perspectiva metodológica, el principal aporte del trabajo radica en la articulación entre monitoreo real, modelado dinámico y simulación energética, permitiendo no solo caracterizar el comportamiento térmico actual sino también evaluar escenarios de intervención. Esta integración constituye una herramienta replicable para otros edificios del campus y para construcciones con características similares en regiones bioclimáticas templadas.

En cuanto a la transferibilidad del modelo, si bien los resultados cuantitativos dependen de las condiciones climáticas locales de la región de Entre Ríos, la metodología empleada -basada en datos medidos, modelización detallada y simulación dinámica- es adaptable a otras zonas bioclimáticas ajustando parámetros meteorológicos, propiedades de la envolvente y patrones de uso. En climas más fríos, la calefacción podría representar la carga dominante, mientras que en regiones cálidas y húmedas la refrigeración tendría un peso aún mayor. No obstante, el enfoque de análisis integral conserva su validez como herramienta de diagnóstico energético.

Finalmente, debe señalarse que, como toda simulación, el modelo depende de la calidad de los datos de entrada y de los supuestos adoptados respecto a ocupación, horarios y patrones de uso. Futuras investigaciones podrían profundizar en la calibración del modelo mediante monitoreo de mayor resolución temporal y análisis de sensibilidad de parámetros críticos, fortaleciendo la robustez de los resultados.

## CONCLUSIONES

El análisis térmico y energético del edificio del CiEV de la FI-UNER permitió caracterizar su comportamiento dinámico e identificar los principales factores que inciden en la demanda eléctrica anual. Los resultados evidenciaron que, si bien existen pérdidas térmicas invernales relevantes, el sobrecalentamiento estival constituye el fenómeno más crítico, asociado principalmente a las ganancias solares y al uso intensivo de sistemas de refrigeración.

Las simulaciones realizadas con EnergyPlus mostraron que estrategias pasivas como la ventilación natural nocturna y la reducción de la radiación solar incidente podrían disminuir hasta 5 °C la temperatura interior en verano, reduciendo la dependencia de sistemas activos de climatización. Estos resultados confirman el potencial de intervenciones sobre la envolvente y el diseño bioclimático para mejorar el confort térmico y la eficiencia energética.

Por otra parte, la evaluación del sistema fotovoltaico indicó que la generación anual propuesta permitiría cubrir una proporción significativa de la demanda específica analizada, con una cobertura directa estimada del 44% debido a la asincronía entre generación y consumo, y una reducción anual de emisiones del orden de 3.281,4 kg de CO<sub>2</sub>.

En conjunto, el trabajo aporta una metodología replicable basada en monitoreo, modelado dinámico y simulación energética, útil para la planificación de estrategias de eficiencia y sostenibilidad en edificios universitarios. Se recomienda avanzar en la implementación progresiva de las medidas propuestas, así como en la validación experimental del modelo y la ampliación del análisis al resto de los módulos del campus.

## AGRADECIMIENTOS

A los profesionales que trabajan en el CiEV de la FI-UNER por permitirnos realizar la investigación en el edificio y brindarnos toda la información requerida.

A la Secretaría de Investigación y Posgrado de la FI-UNER por la ayuda constante y el apoyo económico para la realización de viajes a cursos de capacitación; y la participación en jornadas y congresos de difusión.

## REFERENCIAS

- [1] Deloitte (2019). Ciudades energéticamente sostenibles: la transición energética urbana a 2030. Monitor Deloitte, marzo 2019. Madrid.
- [2] INTI - Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2005). Ahorro y certificación energética: la envolvente de los edificios. "Saber cómo". N° 27, pp. 4. <http://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc27/inti5.php>.
- [3] UNEP- SBCI United Nations Environment Programme, Sustainable Buildings & Climate Initiative (2009) Buildings and Climate Change. Summary for Decision-Makers. <http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf>
- [4] Bastida-Molina, P.; Torres-Navarro, J.; Honrubia-Escribano, A.; Gallego-Giner, I.; Gómez-Lázaro, E. (2023). A detailed analysis of electricity consumption at the University of Castilla-La Mancha (Spain). *Energy and Buildings* (289), 113046. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113046>
- [5] Yang, H.; Ran, M; Zeng, P. (2023). Patterns and influencing factors analysis of electricity consumption in university dormitories based on balance point temperatures. *Building and Environment* (228), 109679. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109679>.
- [6] Zhou, Y.; Sun, L; Hu, X.; Ma, L. (2021). Clustering and statistical analyses of electricity consumption for university dormitories: A case study from China. *Energy and Buildings* (245), 110862, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110862>
- [7] Chen, W.; Wang, C.; Merrett, H.; Liu, S.; Chang, J. (2023). Electricity consumption prediction - A case study of a university library. *Journal of Building Engineering* (76), 106990. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106990>

- [8] PROFEE (2023). Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitaria. Resumen-documento interno.
- [9] Marino B. M., Muñoz N. y Thomas L. P (2019). Análisis del comportamiento térmico de un edificio complejo del centro bonaerense a partir de simulaciones con Energyplus. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 44, 29-38 (2019).
- [10] Muñoz N. (2019). Caracterización térmica de un edificio construido según los estándares recomendados para la región centro bonaerense. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- [11] Fernández F. J., García M. & Silva L. I. (2023). Desarrollo de un modelo computacional utilizado para evaluar la Eficiencia Energética de edificios, a través del análisis del comportamiento térmico de sus estructuras constructivas. XX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC). Oberá, Misiones. Noviembre 2023.
- [12] Guyot G., Sherman M.H. & Walke I.S (2018). Smart ventilation energy and indoor air quality performance in residential buildings: A review. *Energy and Buildings* 165, 416-430(2018). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.051>
- [13] Chan W. R., Johj. & ShermanM. H (2013). Analysis of air leakage measurements of US houses. *Energy and Buildings* 66,616-625 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.047>
- [14] IRAM 11603 (2011). Acondicionamiento térmico de edificios: Clasificación bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. [www.iram.org.ar](http://www.iram.org.ar).
- [15] IRAM 11900. Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética. 2017.
- [16] AEG (2023). AEG Grid-Tied Solar Inverters Technical Specifications. <https://acortar.link/5C6PME>.