

Modeling and Analysis of an Energy Performance Index for Hospital Inpatient Areas Using Visual Programming and Simulation

Santiago Tomás Fondoso Ossola¹ , José Germán Anido¹ , Dante Andrés Barbero¹  and Irene Martini¹ 

¹ Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido – CONICET/UNLP, La Plata
BA 1900, Argentina
santiagofondoso@iipac.laplata-conicet.gov.ar

Abstract. Currently, a number of projects are under way worldwide to improve the energy efficiency of existing buildings. In this regard, hospitals are considered energy-intensive buildings; they operate 24 hours a day, 365 days a year, and their structures often exhibit hygrothermal deficiencies. These buildings can be analyzed by dividing them into the following areas: inpatient care, outpatient care, surgery, administration, diagnosis and treatment, auxiliary and support services, and circulation areas and restrooms. In this study, the inpatient area is analyzed due to its high net energy consumption and the potential for energy savings through technical and construction interventions. An energy performance index (EPI) is compiled with the aim of quantifying the effect of energy-efficiency refurbishment strategies. Then, a simulation model is developed in a visual programming environment, using Rhinoceros 3D and Grasshopper, to calculate the EPI and assess retrofit strategies. The results reveal, on the one hand, the impact of the variables affecting total consumption and, secondly, the most effective strategies for achieving greater energy efficiency.

Keywords: energy performance index, energy efficiency, renewable energies, hospitals, inpatient care, simulation

Modelado y análisis de un índice de prestaciones energéticas para el área de internación utilizando programación visual y simulación

Resumen. Actualmente, a nivel global, se encuentran en desarrollo diversos proyectos para la rehabilitación energética en edificios existentes. En este sentido, los hospitales son considerados edificios energo-intensivos, operan las 24hs del día, los 365 días del año y su edificación construida suele presentar deficiencias higrotérmicas. Estos establecimientos pueden analizarse dividiéndolos en las siguientes áreas: internación, atención ambulatoria, cirugía, administración, diagnóstico y tratamiento, servicios auxiliares y de apoyo, y circulaciones y baños. En este trabajo, se propone analizar el área de internación debido a su elevado consumo neto y por el potencial de ahorro energético que

posee desde la intervención técnico-constructiva. Se elabora un índice de prestaciones energéticas (IPE) con el objetivo de cuantificar el efecto de estrategias para la rehabilitación energética. Luego, se desarrolla un modelo de simulación en un entorno de programación visual, mediante Rhinoceros3D y Grasshopper, para calcular el IPE y ensayar estrategias de rehabilitación energética. Los resultados exponen, por un lado, el impacto de las variables que intervienen en el consumo total y, por otro, las estrategias más influyentes para la obtención de una mayor eficiencia energética.

Palabras clave: índice de prestaciones energéticas, hospitales, eficiencia energética, energías renovables, área de internación, simulación

1. Introducción

En el contexto actual de crisis energética, asociado al consumo sostenido de recursos finitos y al aumento de la contaminación ambiental, diversos organismos internacionales han impulsado la rehabilitación energética de edificios existentes como una línea prioritaria de acción. En este sentido, el sector salud presenta establecimientos energo-intensivos. Los hospitales operan 24hs, los 365 días del año y, para garantizar condiciones confortables en el interior, demandan elevadas cantidades de energía. Asimismo, dicho consumo se ve incrementado al contar con una infraestructura deficiente con bajo o nulo mantenimiento (Urteneche et al., 2022).

Según Martini (2010) los establecimientos hospitalarios pueden analizarse dividiéndolos en siete áreas hospitalarias: internación, atención ambulatoria, cirugía, administración, diagnóstico y tratamiento, servicios auxiliares y de apoyo, y circulaciones y baños. De las mencionadas áreas, internación mantiene el mayor consumo neto a nivel red (Fondoso Ossola, 2025), además de presentar consumos energéticos indirectos por utilizar más o menos recursos según la cantidad de pacientes y su tiempo de estadía. Al mismo tiempo el área de internación resulta un espacio con potencial en el ahorro energético desde el campo de la construcción por ser aquella con mayor cantidad de superficie expuesta al exterior. También, al mejorar las condiciones de confort interior favorecería la recuperación de pacientes (Jain, 2024), disminuyendo el consumo energético indirecto.

A partir de lo expuesto es que se propone desarrollar un modelo para la evaluación del área de internación a partir de un índice de prestaciones energéticas (IPE). El mismo se compone de los principales vectores que constituyen el consumo final de energía secundaria (energía eléctrica y gas natural, según corresponda) y permite cuantificar el estado de un determinado espacio interior, en términos de eficiencia energética. De esta manera, resulta posible establecer una situación actual (de base) y compararla con otras posibles situaciones del mismo espacio, incorporando estrategias de rehabilitación energética. En estudios previos se ha demostrado que medidas como el reciclado de la envolvente edilicia, el recambio de equipamiento termo-mecánico, la inserción de paneles fotovoltaicos y sistemas solares térmicos en edificios reducen el consumo de fuentes fósiles y mejoran las condiciones interiores de confort (Melgar et al., 2020). Sin embargo, el impacto de estas medidas depende en gran parte de las condiciones existentes de la edificación a analizar.

Actualmente, en el sector residencial, se utiliza un IPE en el marco del Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas (PRONEV). Su aplicativo *online*, si bien resulta práctico e intuitivo para el uso de profesionales de la construcción, no es replicable en establecimientos hospitalarios. El principal motivo es la complejidad que presenta un hospital frente a una vivienda y que cada área hospitalaria mantiene contrastes significativos en cuanto a flujos energéticos, tanto entre áreas hospitalarias como entre distintos niveles de análisis de una misma área hospitalaria.

Existen trabajos como los de Michailidis et al. (2026) que utilizan DesignBuilder para evaluar estrategias de rehabilitación energética por áreas hospitalarias. Los autores adoptan seis tipologías de hospitales en Grecia con requerimientos preestablecidos. La metodología empleada posibilita explorar el impacto de medidas como el reciclado de la envolvente edilicia y el recambio de luminarias, para las tipologías adoptadas y en distintos climas. Sin embargo, el IPE utilizado incorpora los componentes del total de un área hospitalaria. En dicho trabajo, para toda el área de internación se consideran los mismos requerimientos (temperatura, iluminación, calor metabólico por persona, ocupación, etc.), cuando existen subniveles con contrastes significativos (Fondoso Ossola et al., 2026).

El presente trabajo tiene por objetivo determinar y analizar los distintos valores del IPE que pueden obtenerse en distintos niveles de análisis del área de internación (servicio (N₁), unidad funcional (N₂) o módulos edilicios energéticos productivos (MEEP) (N₃)). Es decir, en el área de internación puede contarse con el servicio de “internación general”, el cual —a su vez— se compone por los MEEPs “estación”, “control”, “office” e “insumos”. De este modo, se propone adoptar un entorno que permita identificar los componentes más influyentes en el desempeño energético. Asimismo, se busca un modelo flexible, para ser replicado en otros espacios de misma jerarquía, y escalable, para ser implementado en otros niveles de análisis del área de internación.

2. Metodología

Se elabora un flujo de datos para la obtención de un IPE de un sector específico del área hospitalaria de internación, con la posibilidad de evaluar estrategias de rehabilitación energética. El enfoque metodológico se organiza a partir de la definición de requerimientos hospitalarios, la caracterización técnico-constructiva del espacio, la simulación de su desempeño energético y el posterior cálculo del indicador. Para ello, se adopta un entorno de programación visual que permite articular dichas dimensiones en un modelo modificable y replicable.

El procedimiento metodológico comprende tres instancias. En primer lugar, se definen los requerimientos funcionales del servicio, unidad funcional o MEEP a analizar, a partir de manuales y trabajos de referencia del campo hospitalario y ambiental. En segundo lugar, se construye una situación de base que representa el estado actual o proyectado del espacio. Finalmente, se ensayan situaciones mejoradas mediante la modificación de parámetros asociados a estrategias de rehabilitación energética.

La Fig. 1 sintetiza esta secuencia metodológica general, mientras que la sección siguiente describe la estructura operativa del modelo de simulación y los grupos de componentes que permiten calcular el IPE de energía útil y de energía secundaria.

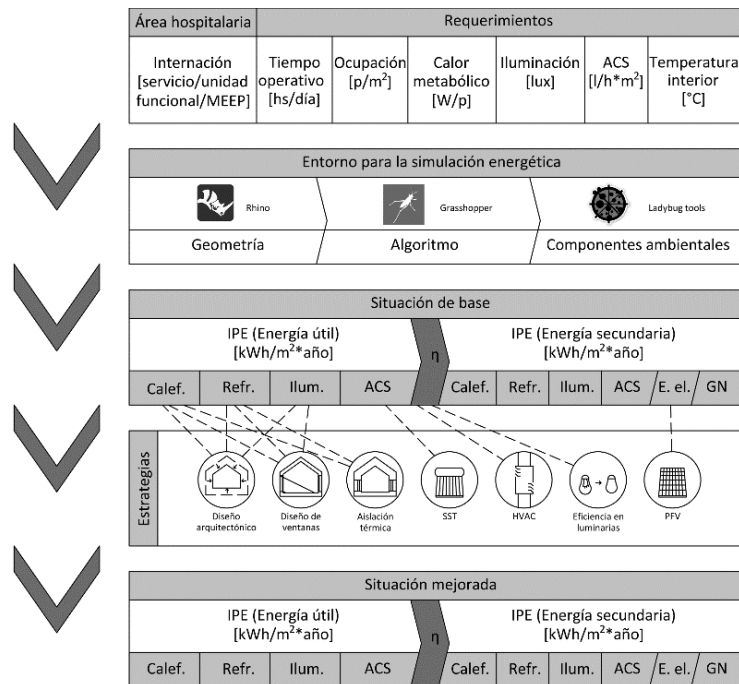


Fig. 1. Secuencia metodológica general para la elaboración del IPE en distintos niveles de análisis del área de internación.

3. Modelo de simulación para el cálculo del IPE

El modelo de simulación planteado desarrolla operativamente el enfoque metodológico descrito previamente. Para este estudio se emplea Rhinoceros3D (Rhino) junto con Grasshopper (GH), incorporando componentes de Ladybug Tools (LBTs) para articular la geometría con motores de simulación como EnergyPlus y OpenStudio. A partir de este entorno, el modelo integra entradas vinculadas con requerimientos hospitalarios, condiciones técnico-constructivas, geometría, clima y rendimientos tecnológicos; las procesa mediante una estructura determinística y parametrizable; y obtiene como salidas el IPE de energía útil, el IPE de energía secundaria y sus componentes específicos. Su estructura modular y flexible permite su aplicación en distintos subniveles del área de internación: servicio, unidad funcional o MEEP.

3.1. Requerimientos

Previo al desarrollo del modelo, se analizan las demandas en los niveles de análisis del área hospitalaria de internación (servicios, unidades funcionales o MEEPs). Los requerimientos, en este sentido, son condiciones preestablecidas según la función y el programa del espacio a analizar. En primer lugar, se determina el tiempo operativo con el fin de calcular consumos y demandas diarias. Para el caso de la temperatura requerida, en este caso se consideran los valores establecidos en el “Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado para hospitales y clínicas” (ASHRAE, 2018), las recomendaciones de la Asociación Argentina de Arquitectura e Ingeniería Hospitalaria (AADAIH) (López, 2011) y el documento titulado “Hospital Seguro” (Carrizo et al., 2023). La ocupación es un requerimiento que también altera la demanda en calefacción y refrigeración, ya que el calor metabólico de las personas representa parte de las denominadas cargas internas. Siguiendo esta línea, según la actividad que realice una persona, el calor metabólico también varía. Tanto para la ocupación como para el calor metabólico por actividad, se utilizan los valores establecidos por el documento del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2004). Para iluminación se considera la iluminancia mínima según el espacio a analizar. En este caso se adopta la norma europea para iluminación de interiores (Diputación de Barcelona, 2021). Finalmente, para ACS se utiliza un estudio local. El trabajo de Salerno et al. (2011), detalla el tiempo de uso promedio de duchas y canillas en el área de internación.

3.2. Situación de base

La elaboración de la situación de base corresponde al estado actual del espacio a analizar, ya sea construido o en fases de proyecto. En caso de que se trate de una situación existente, se calibra un modelo inicial a partir del registro de valores de temperatura interior y exterior, con el fin de trabajar sobre un modelo digital calibrado que se asemeje a las condiciones reales. Se adopta un espacio para simularlo en *free running*, es decir sin el uso de sistemas termo-mecánicos y en periodos críticos (verano y/o invierno).

Luego, tanto para construcciones existentes como para proyectos, se realiza la volumetría en Rhino y se opera sobre esta en el lienzo de GH, utilizando —en su mayoría— componentes de LBTs. El algoritmo se organiza en grupos de componentes, los cuales establecen el tipo a introducir sin restringir una cantidad determinada. De esta manera, según la complejidad del espacio a analizar se cuenta con una estructura modificable, respetando una base establecida por los grupos de componentes mencionados.

En primer lugar, se conforma un grupo de componentes denominado “Parámetros técnico-constructivos”, el cual permite caracterizar la superficie de la envolvente edilicia. Se asigna la materialidad de los muros, pisos, techos y ventanas, especificando para cada componente las características de cada capa (espesor, conductividad térmica, densidad, calor específico, entre otros). En este mismo grupo se agrega un nivel de infiltración, el cual surge de un componente que permite seleccionar tres alternativas: “edificio hermético” ($0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$ por m^2 de superficie expuesta), “edificio promedio”

(0,0003 m³/s por m² de superficie expuesta) y “edificio con fugas” (0,0006 m³/s por m² de superficie expuesta).

Luego, se conforma otro grupo denominado “Geometría”, cuyos componentes permiten caracterizar la volumetría respecto a sus condiciones de adyacencias y a elementos de ventanas. En este grupo de componentes se encuentra la opción de asignar superficies adiabáticas y en contacto con el exterior. También, se agregan componentes que permiten operar ventanas y asignar elementos que oficien de protectores solares, tales como parasoles o postigos.

Posteriormente, se realiza un grupo denominado “Requerimientos”, donde se sitúan los componentes que permiten especificar los requerimientos mencionados anteriormente. En este grupo se asigna un programa (vivienda, hospital, restaurante, etc.) al espacio a analizar y se lo deconstruye para ajustar valores según lo establecido por las fuentes adoptadas.

Como paso siguiente, se elabora un grupo de componentes que permiten organizar la información del algoritmo y ejecutar la simulación. A este se lo denomina “Motores de simulación”, aquí se incorporan componentes de OpenStudio para traducir los resultados del modelo para que puedan ser simulados en EnergyPlus. Cabe destacar que, en este grupo, se incorporan componentes que toman datos de otro grupo denominado “Condiciones climáticas”, el cual permite cargar un archivo de extensión “.epw” para considerar los efectos del clima.

De los componentes mencionados recientemente se obtienen resultados que conforman parámetros de entrada para el grupo de componentes denominado “IPE (energía útil)”. Allí la información se procesa y se obtiene un valor IPE. Luego, se lo deconstruye para analizar la demanda específica en calefacción, refrigeración, iluminación y ACS.

Posteriormente, se llevan los resultados específicos de calefacción, refrigeración y ACS al grupo de componentes de “Rendimiento (η)”, donde a cada valor específico se le aplica un coeficiente de rendimiento según la tecnología empleada. Para ello, se adopta una tabla de rendimientos elaborada por el personal docente del PRONEV (Ministerio de Economía de la Nación, 2023), donde se asigna un valor numérico a cada tipo de sistema de un determinado nivel de eficiencia. Para iluminación, se utiliza el valor de eficiencia lumínica, el cual está determinado por un tipo y tecnología de luminaria. Para ello, se toma como referencia el trabajo de Bholasingh & Bholasingh (2017) dirigido a hospitales.

Finalmente, se obtiene un grupo denominado “IPE energía secundaria”, donde a partir de los datos de rendimiento en los sistemas se obtiene el consumo específico de cada término. Adicionalmente, se realiza la sumatoria de los mismos obteniendo un único valor de IPE (energía secundaria).

La Fig. 2 muestra la interfaz de Rhino y GH, donde se puede observar la organización del algoritmo y los mencionados grupos de componentes.

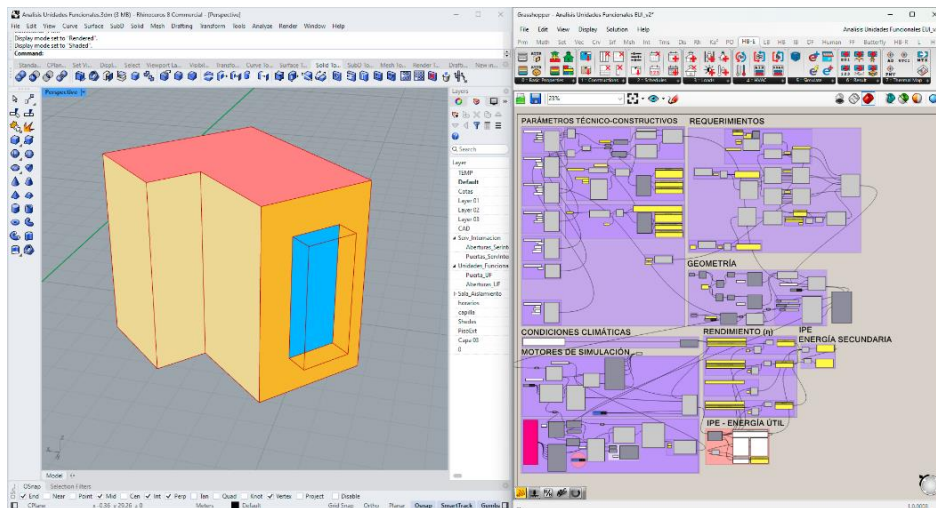


Fig. 2. Interfaz de Rhino (izquierda) y GH (derecha), con los grupos de componentes que conforman el algoritmo.

3.3. Situación mejorada

La situación mejorada resulta la aplicación de estrategias de rehabilitación energética a la situación de base. El cambio de valores en los grupos de componentes acorde a las medidas planteadas y la posterior ejecución de la simulación permite cuantificar sus efectos.

En este trabajo, se plantean las siguientes medidas:

- Mejoramiento del nivel de aislación térmica.
- Diseño arquitectónico.
- Diseño de ventanas.

El “Mejoramiento del nivel de aislamiento térmico” se concentra en los valores modificables de los componentes pertenecientes al grupo “Parámetros técnico-constructivos”. Allí, es posible modificar los valores de conductividad térmica, espesor, poder calorífico y densidad de techos, muros y/o ventanas. También, se pueden modificar los valores de infiltraciones, suponiendo que los elementos a incorporar resulten más herméticos.

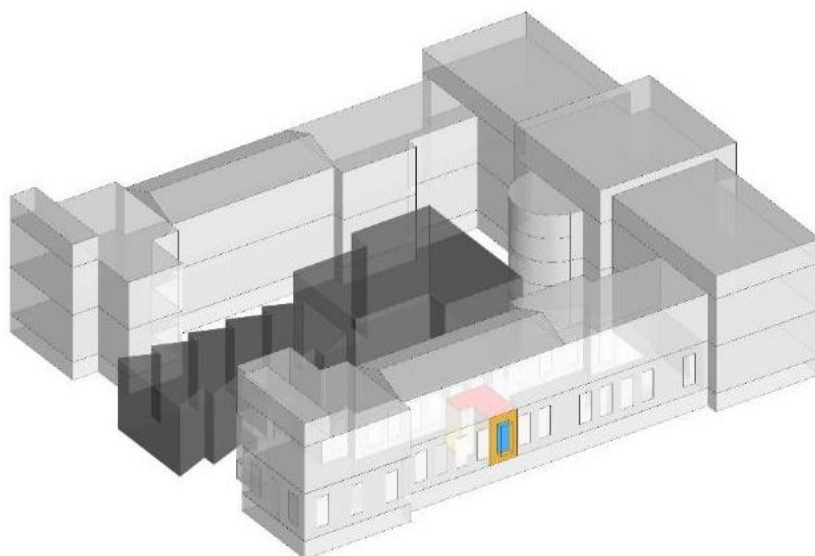
El “Diseño arquitectónico”, por su parte, consiste en modificar el volumen situado en el lienzo de Rhino. Luego, los componentes que vinculan la geometría considerarían las posibles modificaciones. En este sentido, la alteración y/o redistribución del volumen de aire a climatizar afectaría la iluminancia, la refrigeración y calefacción.

Por último, el “Diseño de ventanas” requiere la variación de valores en el grupo “Geometría”, ya que se cuenta con componentes que permiten incluir parasoles de manera paramétrica, es decir, sin la necesidad de crear una nueva volumetría en el lienzo de Rhino.

4. Resultados

Para el caso de estudio se adoptó una sala de internación general (MEEP), ubicada en el pabellón Rossi del Hospital Interzonal “General San Martín”. La misma se orienta al noroeste, cuenta con dos camas instaladas, posee un baño con lavabo separado y suma un total de 18,70 m² de superficie habitable, con una altura promedio de 5 m desde la terminación del piso al cielorraso. El hospital se sitúa en la Micro-Región del Gran La Plata y pertenece a la región sanitaria XI de la provincia de Buenos Aires. Así, el caso de estudio se ubica en la zona bioclimática III, caracterizada como templada cálida, y en la subzona IIIb, donde las amplitudes térmicas no superan los 14 °C (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2011).

El pabellón Rossi fue construido en 1910 y en él se ubica parte del área de internación del hospital (internación general y salas de aislados). El edificio posee muros exteriores de 60 cm de espesor, de ladrillos comunes macizos revocados de ambas caras, las aberturas se componen de ventanas de vidrio simple repartido en carpinterías de madera y postigos de metal, el techo se conforma a partir de losas macizas y de chapa ondulada a dos aguas con cielorraso suspendido. Los sistemas empleados para climatizar varían según los distintos espacios. Una parte del edificio posee un calefactor zonal y una *chiller*, ambos sistemas en desuso, mientras que otros sectores utilizan sistemas individuales tipo *split*. La Fig. 3 muestra el edificio y la habitación a analizar.



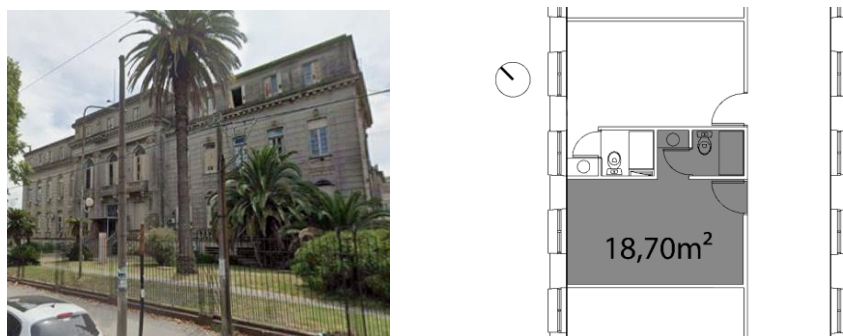


Fig. 3. Localización de la sala de internación a analizar en el lienzo de Rhino (superior), fachada del pabellón “Rossi” (inferior-izquierda) y plano de la sala a analizar (inferior-derecha).

4.1. Requerimientos

Los requerimientos para el caso adoptado pueden observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos adoptados para salas de internación general.

Variable	Indicador	Unidad	Valor
Tiempo operativo	Horas por día	[hs/día]	24
Temperatura en verano	Grados Celsius	[°C]	25
Temperatura en invierno	Grados Celsius	[°C]	21
Ocupación	Metros cuadrados por persona	[m²/p]	0,125
Calor metabólico	Watts por persona	[W/p]	100
Iluminancia	Lux	[lux]	300
ACS	Litros por hora por unidad de superficie	[l/h*m²]	0,18

4.2. Situación de base y mejorada

Debido a que el IPE corresponde a una situación existente, se calibró un modelo inicial a partir del registro de valores de temperatura interior y exterior. Para ello, se instalaron adquisidores de datos tipo “HOBO” para registrar valores de temperatura de la segunda semana de enero del año 2023.

Luego, se realizó la volumetría en Rhino conforme a lo establecido por la planimetría del hospital. En el lienzo de GH se determinó —para la sala de internación analizada— la orientación, las condiciones de adyacencia, el tiempo de funcionamiento, las cargas térmicas interiores, las características técnico-constructivas y los horarios de cierre y apertura de ventanas.

Posteriormente, se ejecutó la simulación mediante el motor EnergyPlus y, comparando registros medidos y simulados, se ajustaron de manera iterativa las

propiedades de los materiales de muros y ventanas, así como también otros parámetros asociados a las cargas térmicas internas. La Fig. 4 expone los resultados de temperatura de aire medida *in-situ* y temperatura del aire interior simulada.

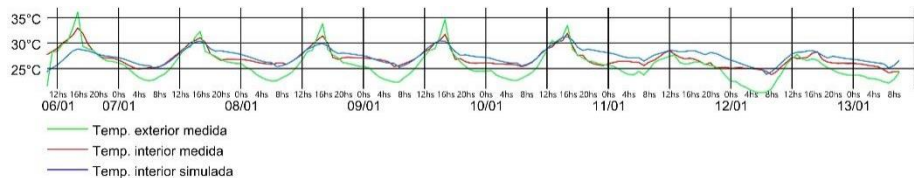


Fig. 4. Valores de temperatura del aire exterior, interior medida *in-situ* y temperatura del aire interior simulada (segunda semana de enero 2023).

Una vez calibrado el modelo, se realiza la simulación donde se define la demanda energética necesaria garantizando condiciones de confort durante todo el año (definición de la situación de base y situación mejorada).

Las estrategias de rehabilitación energética se basaron en los siguientes ensayos: para el Mejoramiento de aislación térmica, se simuló la incorporación de capas en el interior del muro exterior (5 cm de lana de vidrio + 2 cm de cámara de aire + 0,125 cm de placa de yeso) y el recambio de ventanas (vidrio simple con marco de madera por DVH 6-12-6 Low-E selectivo + tinte); para el Diseño arquitectónico, se simuló la disminución de la altura de cielorraso de 5 m a 4,20 m de altura; y para el Diseño de ventanas, se simuló la incorporación de parasoles horizontales fijos —reemplazando postigos de metal— con lamas de 15 cm de profundidad y con una separación de 12 cm.

Observando la energía útil, el IPE de la situación de base (SB) resultó de 207,1 kWh/m²*año, siendo el principal componente la calefacción, con 131,06 kWh/m²*año. Luego, aplicando la estrategia Mejoramiento del nivel de aislación térmica (E1-AT) el IPE resultó de 175,63 kWh/m²*año; con Diseño arquitectónico (E2-DA) 179,06 kWh/m²*año; y con Diseño de ventanas (E3-DV) 210,97 kWh/m²*año. Finalmente, se ensayó la combinación de todas las estrategias (E4-CE), donde se consiguió un IPE de 155,05 kWh/m²*año, y la combinación de las estrategias AT+DA (E5), la cual presentó el mejor rendimiento, con un IPE de 153,57 kWh/m²*año. Por otro lado, cuando se observan los valores de energía secundaria, se tiene el mismo *ranking* de estrategias. Sin embargo, se observa una mayor participación en ACS. La Fig. 5 presenta una síntesis de los resultados para cada situación.

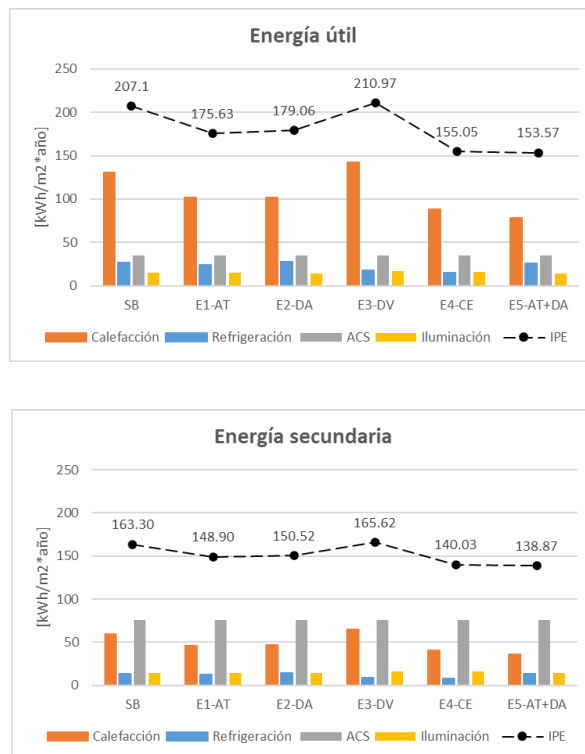


Fig. 5. Resultados del IPE (energía útil y secundaria) en situación base y a partir de estrategias de rehabilitación energética propuestas.

Los valores del IPE (energía secundaria) —al igual que sus componentes de refrigeración y calefacción— mantienen sistemas de climatización en desuso, por lo tanto, se asignó un equipo compacto de etiqueta G con un factor SEER igual a 2, para refrigeración, y SCOP igual a 2,2 para calefacción. Por último, para la generación de ACS se adoptó un sistema de termotanque a gas convencional, por lo tanto, se utilizó un factor de rendimiento igual a 0,46. Para el caso de iluminación se adoptaron tubos fluorescentes con una eficiencia lumínica de 80 lm/W y con factores de 0,72 (fracción radiada), 0,18 (fracción visible) y 0,1 (fracción convectiva).

A partir de los valores expuestos puede observarse que, si bien existen temperaturas exteriores mayores a 25 °C en periodos estivales, el mayor impacto en el IPE de energía útil corresponde a la calefacción, el cual se explica por un mayor déficit de grados día por sobre el exceso de grados día que existe en la región. Sin embargo, cuando se observan los valores del IPE de energía secundaria, el consumo de ACS presenta la mayor participación en todas las estrategias, lo cual se explica por el bajo nivel de eficiencia del termotanque adoptado. Analizando las estrategias individualmente, E1-AT y E2-DA generan mayor ahorro energético. La primera por disminuir las pérdidas de calor por muros y ventanas, y la segunda por disminuir la cantidad de aire a calefaccionar. En cuanto a refrigeración, si bien la orientación del espacio analizado es

el noroeste, este uso representa aproximadamente el 12% del IPE de energía útil y el 8% del IPE de energía secundaria, ambos correspondientes a la situación de base. En este sentido, la aplicación de parasoles (E3-DV), si bien genera un ahorro en refrigeración, incrementa el consumo en calefacción debido a que se disminuyen ganancias solares en períodos invernales. También, los valores de iluminación se vieron incrementados ante esta última estrategia debido a la disminución del ingreso de luz diurna. Por lo expuesto anteriormente, el IPE de la E3-DV resulta superior al de la situación de base. Finalmente, la combinación de las estrategias más eficientes (E5-AT+DA) representa un ahorro del 14,96% en relación a la situación de base. Esto significa que, aplicando medidas pasivas, pueden obtenerse reducciones cercanas a una séptima parte del IPE respecto de la situación de base. Combinando estas estrategias con el recambio de sistemas más eficientes podrían obtenerse reducciones aún más favorables.

El ACS, por su parte, se mantiene con los mismos valores debido a que no se han ensayado mejoras en los sistemas de generación de agua. El mismo podría mejorarse también incorporando sistemas solares térmicos, sustituyendo parte de la demanda cubierta por energía convencional por energía solar térmica.

5. Análisis y conclusiones

Ante la necesidad de evaluar estrategias de rehabilitación energética en edificios del sector salud, el presente trabajo abordó la problemática energético-ambiental haciendo foco en el área hospitalaria de internación, la cual constituye aquella con mayor consumo de energía neta en redes hospitalarias. Asimismo, el área de internación presenta subniveles de análisis con requerimientos que varían significativamente. En este sentido, para estudiar la aplicación de estrategias de rehabilitación energética, se requirió de un modelo que contemple su escalabilidad y replicabilidad en los posibles niveles de análisis de la mencionada área (servicio, unidad funcional y MEEP). De este modo, se recurrió a la elaboración de un IPE en espacios específicos del área hospitalaria de internación. Actualmente, este recurso es utilizado en el PRONEV mediante un aplicativo *online* dirigido a profesionales de la construcción. Si bien podrían cargarse las variables constructivas en dicho aplicativo para una única área hospitalaria, se estarían omitiendo requerimientos específicos de la función sanitaria, como las variaciones de la temperatura del aire y las cargas térmicas por ocupación promedio, lo cual es desestimado en viviendas. En este caso, se recurrió a la elaboración de un modelo en un entorno de programación visual, cuyo aporte principal consiste en estructurar un flujo determinístico y parametrizable que vincula requerimientos hospitalarios específicos, condiciones técnico-constructivas, geometría, clima y rendimientos tecnológicos. De este modo, el modelo permite obtener y comparar el IPE en distintos niveles del área de internación.

Asimismo, la organización del algoritmo en los grupos de componentes: Parámetros técnico-constructivos, Requerimientos, Geometría, Motores de simulación, Condiciones climáticas, IPE (energía útil), Rendimiento (η) e IPE (energía secundaria) facilitó la aplicación de estrategias de rehabilitación energética, ya que permitió reconocer rápidamente los componentes con valores a modificar. En este sentido, el modelo desarrollado resulta flexible en cuanto a su escalabilidad y replicabilidad, ya

que se cuenta con grupos de componentes definidos por un rol específico en el proceso de simulación, los cuales pueden aumentarse en cantidad sin comprometer la lógica de modelo.

En el caso de estudio se ensayaron diversas estrategias, donde el IPE obtenido en cada una de estas permitió cuantificar las reducciones energéticas, tanto en energía útil como en energía secundaria, y en los distintos términos considerados (calefacción, refrigeración, iluminación y ACS). De esta manera, resultó posible identificar los factores más influyentes en el mencionado indicador energético, así como la sinergia existente entre las estrategias ensayadas y los términos que componen el IPE.

Finalmente se considera que el uso de esta herramienta posibilitaría fundamentar la toma de decisiones por parte de autoridades de gestión e impulsar proyectos para la rehabilitación energética en edificios existentes. Se plantea, como trabajos futuros, ampliar el desarrollo del algoritmo para la aplicación de otras estrategias que permitan disminuir el IPE de energía útil y secundaria. Se propone ensayar medidas de aprovechamiento de energías renovables, tanto a partir de la instalación de paneles fotovoltaicos como de sistemas solares térmicos. Asimismo, se espera que los aportes de este trabajo conformen insumos para la generación de un sistema de etiquetado energético en establecimientos hospitalarios.

6. Referencias

- ASHRAE. (2018). *Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado para hospitales y clínicas* (W. S. Comstock (ed.); 2nd ed.). ASHRAE. <https://lccn.loc.gov/2018015136>
- Bholasingh, L., & Bholasingh, K. (2017). *LED Lighting In Hospitals*. https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&alias=2671-led-lighting-in-hospitals&category_slug=smart-hospitals&Itemid=1179&lang=en
- Carrizo, P., Colque, A., & Pagamo, I. (2023). *Hospital Seguro: Consenso Interinstitucional INE-SADI-ADECI 2023* (1st ed.). Ministerio de Salud Argentina. <https://sgc.anlis.gob.ar/handle/123456789/2601>
- Diputación de Barcelona. (2021). UNE 12464.1 - Norma europea sobre la iluminación para interiores. In *Asociación Española de Normalización (UNE)*. <https://www.diba.cat/documents/7294824/11610426/E05UNE-12464.1+Norma+europea+para+la+iluminación+de+interiores.pdf/7dd66ee0-095f-4c9d-a287-52af544d16b8>
- Fondoso Ossola, S. T. (2025). *Formulación, análisis y evaluación de estrategias energéticas alternativas para el subsector salud, en el marco de la construcción de escenarios* [Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/179457>
- Fondoso Ossola, S. T., Urteneche, E., Chévez, P. J., & Barbero, D. A. (2026). Diagnóstico y propuestas de rehabilitación energética en distintos niveles del área de internación. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación, (312), 141–173. https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/cuadernos/detalle_articulo.php?id_libro=1310&id_articulo=22979
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2004). *Norma argentina IRAM 11659-1. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración*.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2011). *Norma argentina IRAM 11603/11. Acondicionamiento Térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*.

- Jain, H. (2024). Critical insights into thermal comfort optimization and heat resilience in indoor spaces. *City and Built Environment*, 2(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s44213-024-00038-z>
- López, C. (2011). El Camino Hacia las Primeras Recomendaciones de Instalaciones Termomecánicas en Hospitales. *Anuario AADAIH*, 84–87. <https://aadaih.org.ar/get/ANUARIOS/ANUARIO AADAIH 2011.pdf>
- Martini, I. (2010). *Diagnóstico y mejoramiento de los procesos de gestión edilicia energética productiva en la red de salud* [Universidad Nacional de Salta]. <https://drive.google.com/open?id=0Bz3sfV4ZQ06NMXRJbFhEb08zVVk>
- Melgar, S. G., Martínez Bohórquez, M. Á., & Andújar Márquez, J. M. (2020). Uhumabr: Energy refurbishment of existing buildings in subtropical climates to become minimum energy buildings. *Energies*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/en13051204>
- Michailidis, G., Vavalos, P., Kantzioura, A., Zoras, S., & Dimoudi, A. (2026). Sustainability in the Healthcare Sector: Nearly Zero-Energy Building Strategies for Hospitals. *Energies*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/en19030732>
- Ministerio de Economía de la Nación. (2023). *PRONEV – Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas* (Vol. 2023). <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-en-edificaciones/pronev-programa-nacional-de-etiquetado-de-viviendas>
- Salerno, J. J., Bertinat, P., Marino, E., Chemes, J., Barone, M. M. D., & Arraña, I. (2011). Estudio técnico para la implementación de un sistema de agua caliente sanitaria en un hospital. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 21–28. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/102726>
- Secretaría de Energía de la Nación. (2024). *Balance Energético Nacional: Año 2024 – Revisión 0* (Provisorio). <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/planeamiento-energetico/balances-energeticos>
- Urtenèche, E., Fondoso Ossola, S. T., Martini, I., Barbero, D. A., & Discoli, C. A. (2022). Metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética de la envolvente edilicia en el sector salud. *Estoa*, 11(21), 141–153. <https://doi.org/10.18537/est.v011.n021.a12>