

Plataforma técnico-instrumental para la simulación de escenarios energéticos en el subsector salud a partir de la utilización del software LEAP

Santiago T. Fondoso Ossola¹, Pedro J. Chévez¹, Irene Martini¹

¹Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad
Nacional de La Plata (UNLP). E-mail: santiagofondoso@iipac.laplata-conicet.gov.ar

Resumen. El creciente aumento en el consumo de combustibles fósiles ha llevado al desarrollo de instrumentos para mejorar el rendimiento y la optimización de recursos en distintos puntos de la matriz energética nacional, tanto en la producción, como en sectores de la demanda. El presente estudio aborda las redes hospitalarias. Los establecimientos hospitalarios existentes resultan edificios energo-intensivos por su funcionamiento constante y por presentar deficiencias técnico-constructivas. Asimismo, los hospitales también presentan potencialidades significativas para disminuir el consumo de fuentes convencionales, a partir de la implementación de medidas de eficiencia energética (EE) y de aprovechamiento de energías renovables (EE RR). Así, analizarlos para generar propuestas de mejoramiento significa una oportunidad que posibilitaría reducir en forma considerable el consumo de combustibles fósiles en la edificación construida. A partir de lo expuesto, se introduce una metodología que permite ensayar y evaluar el impacto de estrategias de EE y EE RR en una red hospitalaria. Se plantea la aplicación de la técnica de escenarios en el subsector salud a partir del uso del software LEAP. La utilización de la variable “cama” como supuesto clave, así como el esquema arborescente jerarquizado en Red hospitalaria, Hospital, Área hospitalaria y Uso final de la energía permite, por un lado, ensayar diversos cambios socio-económicos que afectan el comportamiento energético-ambiental en una red y, por otro, cuantificar los consumos energéticos mediante el ensayo de propuestas, en cada una de las ramas señaladas.

Palabras clave: Eficiencia energética, Energías renovables, Hospitales, Escenarios energéticos, LEAP.

Technical-instrumental platform to simulate energy scenarios in healthcare sub-sector, based on software LEAP

Abstract. The growing increase in the consumption of fossil fuels has led to the development of instruments to improve the performance and optimization of resources at different points of the national energy matrix, both in production and in demand sectors. The present study addresses hospital networks. Existing hospital facilities are energy-intensive buildings due to their constant operation and technical-constructive deficiencies. In addition, hospitals also present significant potential for reducing the consumption of conventional sources, through the implementation of energy efficiency (EE) measures and the use of renewable energies (RR EE). Thus, analyzing them in order to generate improvement proposals represents an opportunity that would make it possible to considerably reduce the consumption of fossil fuels in the building construction. Based on the above, a methodology is introduced to test and evaluate the impact of EE and RR EE strategies in a hospital network. The application of the scenario technique in the health sub-sector is proposed using LEAP software. The use of the variable “bed” as a key assumption, as well as the hierarchical tree scheme in Hospital network, Hospital, Hospital area and Final use of energy allows, on the one hand, to test various socio-economic changes that affect the energy-environmental behavior in a network and, on the other hand, to quantify energy consumption by testing proposals in each of the branches mentioned.

Keywords: Efficiency energy, Renewables energy, Hospitals, Energy scenarios, LEAP.

1 Introducción

En los últimos años, en la matriz energética nacional, se ha evidenciado un mayor peso en el consumo y la producción de energía a partir de fuentes de origen fósil. En el balance energético correspondiente al año 2023 se observa que la producción primaria equivalente a la suma de petróleo, gas natural de pozo y otros convencionales, representó un 91,02%, mientras que el restante 8,98% corresponde a la suma de renovables, nuclear e hidroeléctrica. Asimismo, el mayor consumo primario de fuentes de origen fósil se registró en dicha publicación, con 76.414,19 miles de TEP, superando los valores registrados a partir de 2005. Este hecho significa una alerta en cuanto al consumo de recursos finitos y en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). En cuanto a la producción secundaria, el gas natural distribuido por red continúa dominando la oferta con un 41,48%, mientras que la energía eléctrica, diesel oil y gas oil, y otros combustibles comparten el 58,52% restante. Finalmente, la demanda, presenta una mayor participación por parte del sector transporte, residencial e industrial, con un 79%, mientras que el 21% lo comparten el sector comercial y público (8%), el sector agropecuario (7%) y el no energético (6%) (Ministerio de Energía y Minería, 2025).

Ante lo expuesto, se han desarrollado diversas herramientas que permiten analizar la matriz energética, con el fin de ensayar medidas para la disminución en el consumo de recursos finitos y en las emisiones de GEI. En primer lugar, se pueden mencionar los trabajos de Fundación Bariloche. En su reporte (2013) analizan la oferta y la demanda de la matriz energética de América Latina y el Caribe. Entre otros aspectos, los autores caracterizan a los países en estudio, incorporando indicadores de sustentabilidad. Se cuenta también con el trabajo de Chévez (2017), que analizan la demanda energética del sector residencial. El autor realiza estudios en relación a la posible incorporación de estrategias de eficiencia energética (EE) y de aprovechamiento de energías renovables (EE RR) mediante la exploración de sus efectos en el corto, mediano y largo plazo. Para ello, se apoya en el software LEAP (*Low Emission Analysis Platform*) (Heaps, 2022), el cual se especializa en la elaboración de escenarios energéticos. Asimismo, en el trabajo de Barbero et al. (2022) se desarrolló una herramienta para el análisis de escenarios de consumo por climatización en el sector residencial. En este trabajo se utilizó el software Vensim (Ventana systems inc., 2012), el cual permite generar modelos sistémicos en general. Los autores concluyeron que, si bien se obtuvieron resultados superadores, observaron ciertas barreras en dicho programa. La principal de ellas resultó la exhaustiva carga de datos para cada una de las variables utilizadas.

El presente estudio aborda el comportamiento energético-ambiental de redes hospitalarias, las cuales pertenecen al sector comercial y público, en la demanda de la matriz energética nacional. Los hospitales conforman uno de los tipos de edificios con mayor consumo energético por unidad de superficie construida y con mayor emisión de GEI (Bawaneh et al., 2019). Estos edificios operan las 24hs, los 365 días del año, al tiempo que deben garantizar estrictas condiciones ambientales y en agua caliente sanitaria (ACS) (Atienza-Márquez et al., 2022). Con elevados requerimientos energéticos, los establecimientos con internación deben suplir las deficiencias técnico-construtivas mediante grandes consumos de electricidad y/o gas natural. No obstante, los hospitales existentes ofrecen potencialidades significativas en cuanto al ahorro energético y a la reducción de GEI (Pop et al., 2018). Por lo tanto, la edificación del subsector salud constituye una oportunidad para la reducción en forma considerable de fuentes de origen fósil en el sector comercial y público. Para ello, resulta útil contar con herramientas capaz de evaluar estrategias de EE y EE RR, y su efecto en el corto, mediano y largo plazo. Este estudio tiene por objetivo desarrollar una plataforma técnico-instrumental que permita comparar y analizar el impacto de distintas propuestas de mejoramiento en una determinada red de hospitales.

2 Metodología

A partir de la selección de una determinada red hospitalaria, se efectúan cuatro etapas, basadas en el ciclo PDCA (planificar, hacer, verificar y actuar, por sus siglas en inglés). Su sistematización y ejecución conforman una plataforma técnico-instrumental para el ensayo y evaluación de estrategias para el mejoramiento del nivel de EE y el aprovechamiento de EE RR en establecimientos hospitalarios. En primer lugar, se cuenta con una etapa de diagnóstico, donde a partir de la construcción del Año Base, se determina la situación energético-ambiental de una red hospitalaria. Luego, con las

potencialidades identificadas se confeccionan las medidas de mejoramiento en la elaboración de Escenarios. Esta resulta una etapa de propuestas y planificación, donde se exploran los efectos de la aplicación y no aplicación de medidas de mejoramiento en distintos períodos temporales (corto, mediano y largo plazo). Posteriormente, en la etapa de análisis se efectúa la Evaluación de medidas, la cual permite comparar escenarios y establecer el contraste en los valores energéticos y ambientales. Finalmente, en la etapa conclusiva, se establecen Lineamientos orientados al desarrollo de políticas para generar impactos positivos desde el punto de vista energético-ambiental. Asimismo, se propone retornar a la elaboración del Año Base una vez concluido el procedimiento, con el fin de otorgar una mejora continua a la red en estudio.

El desarrollo de la plataforma técnico-instrumental adopta como soporte principal el uso del software LEAP y —en forma complementaria— una base de datos modificable, correspondiente a la información requerida de la red hospitalaria en estudio. La Fig. 1 (izquierda) ilustra un esquema de las etapas de la herramienta propuesta, cuyos valores se insertan sistemáticamente en LEAP.

A continuación, se expone brevemente la interfaz del programa LEAP, lo cual facilitará el desarrollo de la metodología propuesta. Como se observa en la Fig. 1 (derecha) el software puede sintetizarse en tres cuadros generales: el cuadro 1, que permite realizar operaciones básicas, el cuadro 2, que permite observar y modificar el esquema jerárquico arborescente del *Area*, y el cuadro 3, que posibilita establecer valores para cada rama de la estructura elaborada en el cuadro 2 (3. A), así como visualizar el comportamiento de cada una en forma gráfica (3. B). En este caso se denomina *Area* al archivo a trabajar, el cual corresponde a un determinado sector de la matriz energética de un lugar (país, ciudad o región) real o hipotético.

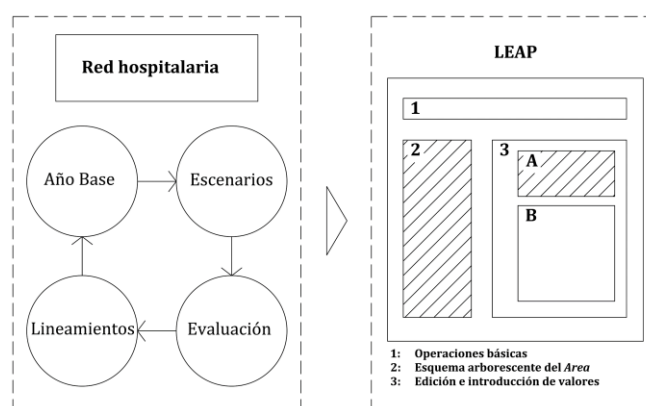


Fig. 1. Izquierda: Esquema del desarrollo de la plataforma técnico-instrumental para el ensayo y evaluación de medidas en redes hospitalarias. Derecha: Interfaz resumida del programa LEAP. Fuente: elaboración propia

2.1 Configuración general del sistema

En primer lugar, se configura el sistema de análisis (cuadro 1), especificando el período a analizar, así como el país y la escala. El periodo a analizar se refiere a establecer el rango de exploración en años futuros.

Asimismo, se define el alcance del sistema a abordar, lo cual permite obtener una idea general de los componentes necesarios a considerar en la elaboración del esquema arborescente. En este caso, se analiza la demanda de una red de establecimientos hospitalarios, de modo que se hará hincapié en las ramas subordinadas a *Demand* y se dejarán valores “por defecto” correspondientes a la oferta energética (*Load Shapes, Transformation, Resources, Non energy e Indicators*).

2.2 Estructuración del esquema arborescente

Posteriormente, se diseña el esquema arborescente (cuadro 2), editando ciertas ramas, mientras que otras quedan “por defecto”. Esta acción consiste concretamente en asignar una cantidad y tipos de ramas determinadas. Las jerarquías planteadas en este caso resultan: Red hospitalaria – Hospital – Área hospitalaria – Uso final de la energía – Efecto ambiental. Cabe destacar que, las ramas Uso final de la energía constituyen tipos de ramas especiales, que permiten introducir consumos energéticos de una determinada fuente (gas natural, gas envasado, electricidad, etc.). De este modo, las ramas subordinadas se reproducirán automáticamente, exponiendo el tipo de GEI emitido y su cantidad. Por otro lado, la rama *Key Assumptions* —propia del programa— permite incorporar “fuerzas impulsoras”, es decir variables relacionadas directamente con el consumo energético. En este caso, se utiliza el número de camas disponibles, ya que se ha demostrado que su variación mantiene mayor correlación que otras variables (número de consultas, cantidad de superficie construida) en cuanto a la variación del consumo energético en hospitales (González González et al., 2018). Esto posibilita realizar proyecciones a partir de la interpretación de datos, de modo que su plausibilidad quedará sujeta a la argumentación proporcionada por el usuario y la verosimilitud que presente el campo de aplicación. En este trabajo, la narrativa, desempeña un aspecto clave, donde el contexto económico, político y tecnológico resultan determinantes a la hora de establecer las proyecciones en los denominados escenarios.

2.3 Introducción de valores a cada rama

Finalmente, se asignan los valores a cada una de las ramas (cuadro 3.A). Previo a ello, se señala en qué etapa se trabajará:

- Construcción del Año Base (*Current Accounts*)
- Elaboración de Escenarios.

En la etapa Construcción del Año Base —punto de partida en la diagramación del sistema a analizar— se establece la situación energético-ambiental del año más reciente. Así, se asignan valores a la rama *Key Assumptions*, agregando una “hoja” con el nombre de Camas. Allí, se introduce el valor equivalente a la suma de camas disponibles totales de la red hospitalaria analizada, según el año adoptado. Para ello, se cuenta con una base de datos a nivel municipal, provincial o nacional (según corresponda), sobre la cantidad de camas disponibles que influyen en la red hospitalaria

en estudio. Luego, se incorporan valores en las ramas Hospitales, los cuales vinculan la variación de camas asignada en la rama *Key Assumptions*. Esta relación entre ramas resultará útil para la etapa Elaboración de Escenarios. Se asigna el proporcional de camas de cada establecimiento respecto al total de la red, dada por la expresión “Key/Camas[Camas]*x”. Por ejemplo, si en la red en estudio existen 2.000 camas y el hospital “A” posee 100 camas (5% de las camas totales), se introduce “Key/Camas[Camas]*0,05” en la rama correspondiente al hospital “A”. Como en el caso anterior, en las ramas Uso final de la energía se asigna un valor energético anclado a la variación generada por las camas. Para ello, se precisa de una base de datos desagregada por la información de cada establecimiento hospitalario. A partir de allí, se cuenta —por cada área hospitalaria— el consumo anual de diversos usos, discriminados por fuentes energéticas. Por ejemplo, para iluminación, refrigeración y equipamiento se utiliza electricidad, mientras que para calefacción y ACS se utiliza gas natural. Finalmente, el consumo de cada uso energético se divide por la cantidad de camas del hospital, siendo este el resultado asignado a las ramas de Uso final de la energía. Cabe destacar que estos datos corresponden a la etapa de diagnóstico los cuales pueden ser recolectados de diversas maneras, ya sea desde auditorías energéticas *in situ*, utilizando valores teóricos o una combinación de las anteriores. Sin embargo, lo que se requiere en este punto es de la incorporación de valores expresados en [TEP/año*cama].

Una vez finalizada la carga del Año Base, se procede a la Elaboración de Escenarios. Estos resultan el producto de la exploración de posibles valores energético-ambientales en el corto, mediano y largo plazo, a partir de lo completado en la primera etapa. En este caso, se exploran al menos dos tipos de escenarios: el tendencial, que supone la ausencia de nuevas políticas, y el/los eficientes, que plantean la aplicación de nuevas políticas reflejadas en el ensayo de estrategias para el mejoramiento en el nivel de EE y el aprovechamiento de EE RR.

Independientemente del escenario que se elabore, en la rama *Key Assumptions* se establece el modo en el que las camas van a variar en el corto, mediano y largo plazo. Esta acción nace en la interpretación del usuario, analizando el contexto económico y social, los cuales afectan al productivo-sanitario. Concretamente, esta variación se efectúa a partir de la introducción de valores año a año o bien mediante una expresión que represente la tendencia definida en la variación de camas.

Luego, en la elaboración del escenario tendencial, se mantienen los valores en las ramas Uso final de la energía, incorporados en el Año Base, asumiendo que no existirán mejoras en el nivel de EE ni en el aprovechamiento de EE RR. Es decir, se mantiene el valor de consumo energético anual por cama.

Por otro lado, en la elaboración de escenarios eficientes la incorporación de valores resulta una tarea más compleja. En primer lugar, se ensayan estrategias de EE y de EE RR sobre áreas hospitalarias específicas. El resultado de dicho ensayo se manifiesta en la reducción de los valores de las ramas Uso final de la energía, expresados en [TEP/año*cama]. Posteriormente, se definen los períodos donde se introducen mejoras en determinados hospitales. Este paso depende de la planificación de mejora del sistema general, donde se persigue un determinado objetivo. De esta manera, se priorizan ahorros de fuentes energéticas específicas, reducción de GEI, el mejoramiento de un área hospitalaria en particular o una combinación de las anteriores.

La Fig. 2 ilustra las ramas editables en el cuadro 2 y los datos que se requieren para ser ingresados en el cuadro 3. A, tanto para la Construcción del Año Base, como en la Elaboración de Escenarios.

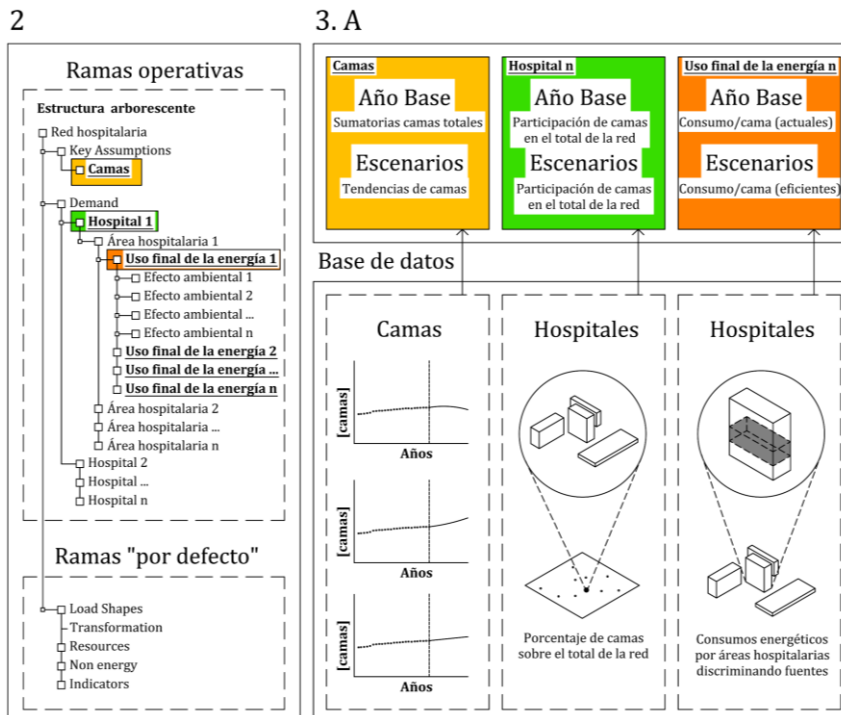


Fig. 2. Esquema sobre la introducción de datos en LEAP, para las etapas Construcción de Año Base y Elaboración de Escenarios. Fuente: elaboración propia

3 Resultados

La aplicación de la metodología se efectuó sobre la red hospitalaria provincial de la Micro-Región del Gran La Plata (MRGLP), la cual se compone por 12 establecimientos. Sin embargo, por motivos de accesibilidad a la información, se analizaron 10 de estos. A modo de presentación del caso de estudio, en la Tabla 1 se exponen las principales características productivo-sanitarias, técnico-construtivas y energético-ambientales. Estos valores se obtuvieron a partir de lecturas de medidores, consulta de bases de datos públicas y el relevamiento de la planimetría de cada establecimiento hospitalario. Cabe destacar que los establecimientos se nominalizan según el alcance y el tipo de servicio. En la red en estudio se cuentan con los siguientes tipos: HIGA (Hospital Interzonal General de Agudos), HIAC (Hospital Interzonal de Agudos y Crónicos), HIAEP (Hospital Interzonal de Agudos Especializados en Pediatría), HIEAC (Hospital Interzonal Especializado de Agudos y Crónicos), HZGA (Hospital Zonal General de Agudos) y HZE (Hospital Zonal Especializado).

Tabla 1. Principales características productivo-sanitarias, técnico-constructivas y energético-ambientales de la red hospitalaria provincial de la MRGLP.

Hospital	Camas	Superficie construida [m ²]	Consumo energético [TEP/año]
HIAC "Dr. Alejandro Korn"	644	29.778,41	862,73
HIGA "Gral. San Martín"	324	35.009,90	867,04
HIAEP "Sor María Ludovica"	264	26.480,87	603,00
HIGA "San Roque"	148	11.050,82	236,58
HIEAC "San Juan de Dios"	110	15.813,51	184,84
HIGA "Dr. Prof. Dr. Rodolfo Rossi"	104	11.744,73	254,09
HZGA "Dr. Ricardo Gutiérrez"	95	7.574,54	102,71
HZE "Dr. Noel H. Sbarra"	83	4.112,52	42,30
HZGA "Dr. Larrain"	78	4.895,68	103,47
HZGA "Horacio Cestino"	41	4.384,85	75,44

3.1 Configuración general – Red hospitalaria provincial de la MRGLP

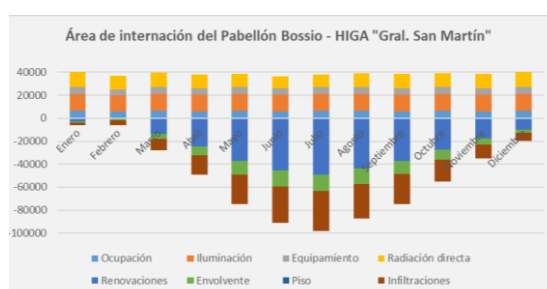
En este caso, se seleccionó el país Argentina y una escala *Sub-national*. Asimismo, se estableció como Año base el 2018 —año más reciente con la información pertinente completa— y el año 2050 como último año proyectado, el cual coincide con el horizonte a largo plazo de diversas agendas para la disminución de fuentes convencionales y de la contaminación ambiental a nivel global (NHS, 2010; Organización de las Naciones Unidas, 2020).

3.2 Estructuración del esquema arborescente – Red hospitalaria provincial de la MRGLP

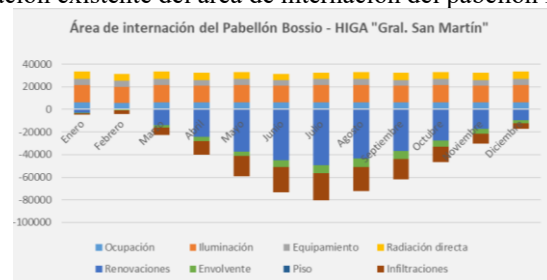
Dentro de la red hospitalaria en estudio, las ramas de mayor jerarquía resultan los mismos establecimientos hospitalarios con sus respectivos nombres y nominalizaciones. Desde estas, se despliegan las ramas correspondientes a las distintas áreas hospitalarias. Para ello, se adopta la desagregación propuesta por Martini (2010), donde se cuentan con las áreas de Internación, Cirugía, Diagnóstico y Tratamiento, Administración, Servicios Auxiliares y de Apoyo, Atención Ambulatoria, y Circulaciones y Baños.

Luego, a partir de las áreas hospitalarias, se designan las ramas Usos finales de la energía. En este caso, si entendemos las fuentes energéticas (gas natural, electricidad) como *inputs*, los usos finales de la energía resultan los *outputs* de los establecimientos hospitalarios. Si bien pueden identificarse al menos nueve usos finales de la energía (*Heating Ventilation Air Conditioning* (HVAC), ACS, Iluminación y Equipos, Ascensores, Dispositivos Auxiliares del Edificios, Dispositivos de Centro de Datos, Cocción, Lavandería, Equipamiento Médico) (Shen et al., 2019), la clasificación adoptada se vincula directamente con las medidas propuestas en los escenarios eficientes. Es decir, si es sabido que la medida a proponer consiste en el recambio de luminarias, es preciso que se realice una rama “Iluminación”. De esta manera, se utiliza

“otros” para agrupar usos que no serán abordados. En el caso de estudio, se proponen estrategias de EE (reciclado de la envolvente edilicia (incorporación de medidas para el mejoramiento de las condiciones higrotérmicas de muros, techos y ventanas) y el recambio de equipos termo-mecánicos), además de las de EE RR (instalación de paneles fotovoltaicos (PFV) y sistemas solares térmicos (SST)). Así, los usos finales de la energía resultan: Iluminación y Equipamiento (electricidad), Refrigeración y ventilación (electricidad), Calefacción y ventilación (electricidad), Calefacción (gas natural), ACS (gas natural), y Otros equipos (gas natural). En la Fig. 3 se muestra a modo de ejemplo el impacto del reciclado edilicio, la cobertura de electricidad mediante PFV y la cobertura de ACS mediante SST en pabellones y hospitales de la red en estudio.



Situación existente del área de internación del pabellón Bossio



Situación mejorada del área de internación del pabellón Bossio

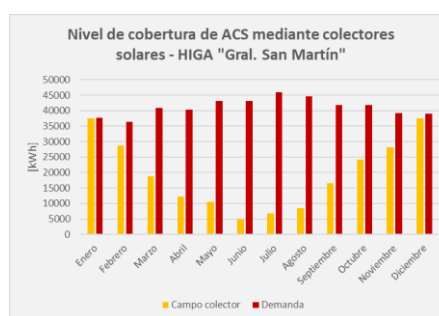
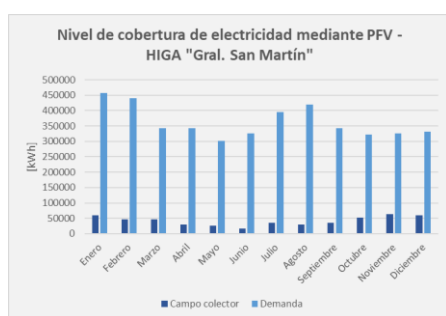


Fig. 3. Impacto de estrategias de reciclado de la envolvente edilicia y aplicación de PFV y SST en edificios pertenecientes al caso de estudio. Fuente: elaboración propia.

En los ejemplos del caso de aplicación se observa que, aplicando medidas de reciclado de la envolvente edilicia se obtiene una mejora del 13% en refrigeración y un 21% en calefacción para la internación del pabellón Bossio del HIGA “Gral. San Martín”. Al mejorarse las propiedades higrotérmicas se redujeron las pérdidas de calor por Envolvente e Infiltraciones, y las ganancias por Radiación directa por ventana. En cuanto a las medidas de EE RR, se obtiene una cobertura del 11% de la energía eléctrica, mediante la instalación de PFV, en el HIGA “Gral. San Martín”, y un 47% del ACS, a partir de la implementación de SST en el mismo hospital. Por otro lado, las medidas de renovación de equipamiento termo-mecánico consisten en reemplazar los coeficientes SCOP (coeficiente de rendimiento estacional, por sus siglas en inglés) y SEER (índice de eficiencia energética estacional, por sus siglas en inglés) de los sistemas existentes por otros de mejores prestaciones. Cabe destacar que los coeficientes de mejora obtenidos para el caso de estudio surgen del desarrollo de una base de datos destinada a la elaboración y ensayo de estrategias, la cual no tiene lugar en este trabajo para su explicación detallada.

3.3 Introducción de valores a cada rama – Red hospitalaria provincial de la MRGLP

En primer lugar, se completó el Año Base introduciendo el valor de 1891 camas en la rama *Key Assumptions*. Seguidamente, el valor de la participación de camas sobre el total de la red, en cada hospital y, por último, los valores energéticos —expresados en [TEP/cama*año]— en las ramas de Uso final de la energía. A partir de lo expuesto resulta posible analizar el consumo de fuentes energéticas por parte de las ramas Hospitales. En la Fig. 4 se expone mediante un diagrama de Sankey el consumo de electricidad y gas natural por parte de los establecimientos hospitalarios en estudio.

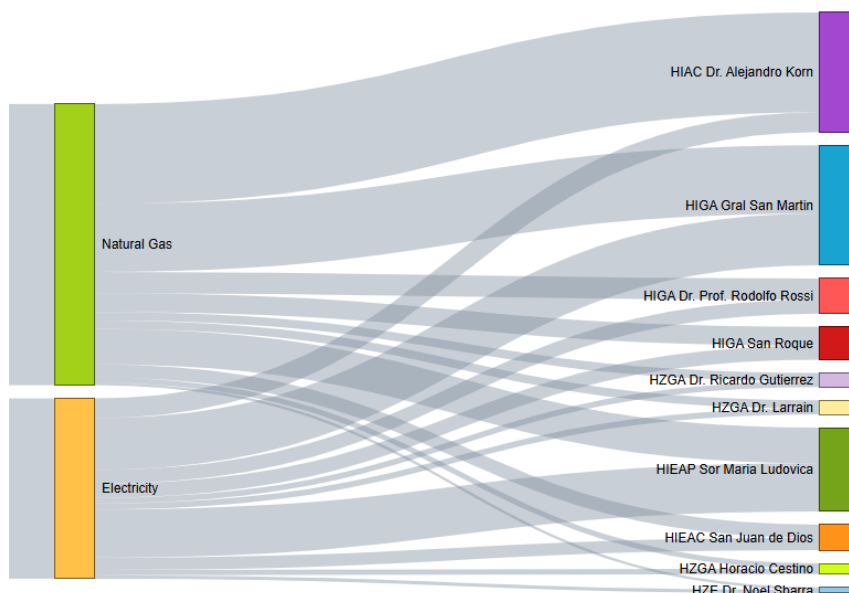


Fig. 4. Diagrama de Sankey de la demanda de la red hospitalaria provincial de la MRGLP para el Año Base. Fuente: elaboración propia.

Luego, en la Elaboración de Escenarios, se definió la tendencia de camas sobre la red en estudio, en el corto, mediano y largo plazo. A partir del contexto actual, se consideraron tres supuestos en la variación de camas: Tendencia negativa, Tendencia exponencial positiva y Tendencia positiva continua. La primera supone un avance en la industria de fármacos, donde el contexto tecnológico daría lugar a una estadia menor en los establecimientos hospitalarios. Este efecto generaría una baja de camas en forma paulatina y, por ende, un consumo menor en el consumo de recursos. Por otro lado, la Tendencia exponencial positiva supone una presión de camas sobre el sistema público, originado por un contexto económico coyuntural. En esta tendencia se prevé el pasaje de camas desde el sistema privado y el de seguridad social al sistema público. Por último, la Tendencia positiva continua, no supone cambios en el sistema productivo-sanitario, manteniéndose una linealidad en el aumento de camas. Para el caso de estudio se adoptó por esta última, la cual sugiere respetar la “tendencia pesada” (Medina Vásquez & Ortégón, 2006). Cabe señalar que la misma se efectuó a nivel provincial, ya que la red hospitalaria en estudio se gestiona desde el Ministerio de Salud de la provincia de Buenos Aires. De este modo, se obtuvo una proyección de la red hospitalaria en estudio a partir de su influencia (valor porcentual) sobre la provincia.

Una vez establecida la tendencia de camas, se definió el Escenario Tendencial (ET), manteniendo los valores de las ramas Uso final de la energía con los establecidos para el año 2018. Mientras que para los escenarios eficientes se reemplazaron dichos valores según las estrategias ensayadas para cada uno. En el caso de estudio se definieron cuatro escenarios eficientes, abordando las áreas de internación: El Escenario Eficiente 1 (EE1), que incluye el reciclado de la envolvente edilicia; el Escenario Eficiente 2 (EE2), que incluye el recambio de equipamiento termo-mecánico; el Escenario Eficiente 3 (EE3), que incorpora sistemas para el aprovechamiento de la energía solar (PFV y SST); y por último el Escenario Eficiente 4 (EE4), que combina las anteriores en un solo escenario. En la Tabla 2 se sintetizan las estrategias introducidas para cada escenario junto con un costo de la inversión total.

Tabla 2. Estrategias incluidas en cada Escenario Eficiente.

Escenario	Estrategia	Área hospitalaria afectada	Inversión total [USD]
EE1	Reciclado de la envolvente edilicia	Internación	4.904.128
EE2	Recambio de equipamiento termo-mecánico	Internación	3.819.944
EE3	Incorporación de sistemas para el aprovechamiento de la energía solar	Internación (PFV) y total de áreas (SST)	6.860.822
EE4	Combinación de las anteriores	Internación (EE1, EE2 y PFV) y total de áreas (SST)	15.584.894

Efectuando la simulación mediante la variación de camas establecida, en cada escenario se obtuvieron valores energéticos acumulados. Avanzando hacia la etapa de evaluación, la Fig. 5 permite comparar los distintos escenarios analizando la cantidad acumulada de energía consumida en cada uno.

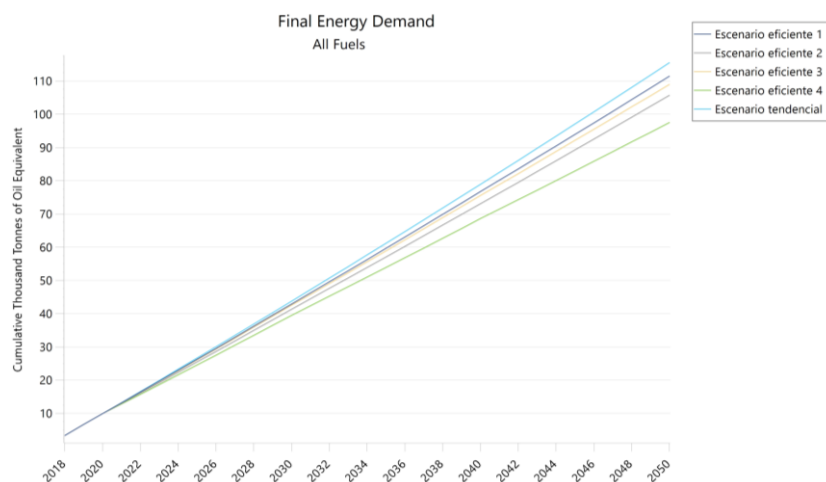


Fig. 5. Comparación del consumo energético acumulado de los escenarios ET, EE1, EE2, EE3 y EE4. Fuente: elaboración propia

Los detalles en cuanto a la introducción de valores a LEAP, tales como el impacto de las estrategias en cada edificio y su planificación para el ingreso de estrategias en distintos horizontes temporales, pueden consultarse en <https://doi.org/10.17632/7v8pscg5v.1> (accedido el 25/06/25)

4 Discusión

La estructuración de la metodología propuesta permitió abordar el análisis energético-ambiental de una determinada red hospitalaria. Utilizar el software LEAP y mantener en forma paralela una base de datos actualizable otorgó flexibilidad a la plataforma técnico-instrumental diseñada. En estudios prospectivos y de gestión de la energía este punto resulta clave, ya que los valores asignados pueden ser reinterpretados una vez generada la simulación. Este es el caso del cambio en el contexto económico-social o en el paradigma productivo-sanitario —que lleva a considerar una nueva tendencia de camas—, o bien la adopción de nuevas tecnologías, las cuales podrían ser incluidas en un nuevo escenario eficiente. En este sentido, se requiere de distintas bases de datos, con un seguimiento anual. De esta manera, podrán efectuarse correcciones e identificarse nuevos fenómenos en cuanto a la variación de valores productivo-sanitarios y energético-ambientales.

En cuanto a la obtención de la información para la conformación de las bases de datos requeridas, el registro de camas anuales a nivel provincial resulta un dato práctico y accesible en el sector público, sin embargo, en el ámbito privado esta tarea recolectar la información en forma particularizada (hospital por hospital). La información correspondiente a la rama Hospital no presenta dificultades en cuanto a su obtención. En este caso, los establecimientos hospitalarios, tanto públicos como privados brindan este dato en sus sitios web o en las recepciones de los mismos hospitales. Por otro lado, la base de datos correspondiente a la rama Uso final de la energía, requiere de una

sistematización más compleja. En primer lugar, se deben localizar las mismas áreas hospitalarias en cada establecimiento y en sus respectivos pabellones. Posteriormente, en base a las estrategias a proponer, se identifican los usos finales de la energía discriminando fuentes (electricidad y gas natural). Por último, debido a que el consumo debe estar vinculado con la variación de camas, en esta rama se ingresa el cociente entre el consumo del uso final de la energía y la cantidad de camas del hospital en estudio.

Finalmente, el uso de LEAP permitió no sólo efectuar la carga de datos para la simulación de escenarios, sino que también posibilitó analizar desde diversos puntos de vista los resultados obtenidos. En el caso de estudio se obtuvo en forma gráfica y alfanumérica los efectos de cada estrategia, con posibilidad de ser analizada por área hospitalaria, en distintos horizontes temporales (corto, mediano y largo plazo). Asimismo, el software al ofrecer herramientas de comparación, se evaluaron los escenarios analizando el consumo energético desde el 2018 a 2050.

5 Conclusiones

El continuo aumento en el consumo de fuentes energéticas de origen fósil y su consecuente impacto en el medio ambiente, llevan a la necesidad de contar con herramientas de análisis para la evaluación de propuestas en distintos puntos de la matriz energética nacional. El presente trabajo ofrece el desarrollo de una plataforma técnico-instrumental para el estudio de estrategias orientadas al mejoramiento del nivel de EE y al aprovechamiento de EE RR en una red de establecimientos hospitalarios.

La metodología empleada permite explorar el impacto de distintas estrategias en un sector de la matriz energética donde resultan escasas las herramientas para el análisis prospectivo. Para realizar distintas proyecciones sobre el comportamiento energético del subsector salud, resultó necesario efectuar un análisis por redes, entendiendo el funcionamiento del servicio sanitario.

En cuanto a la plataforma técnico-instrumental desarrollada, si bien permite explorar el impacto de estrategias en una determinada red hospitalaria mediante los denominados escenarios eficientes, se requiere contar con extensas bases de datos y — en ciertos casos — de difícil acceso a la información requerida. En este caso, el usuario de la metodología deberá tener en cuenta los plazos y los recursos para llevar a cabo el estudio.

Por otra parte, los resultados obtenidos mediante la evaluación de escenarios permitirán facilitar la toma de decisiones de las autoridades de gestión intervinientes en el subsector salud. Al contar con diversas metas (reducción de GEI, disminución del consumo de fuentes fósiles, mejoramiento del rendimiento de áreas hospitalarias en particular, etc.) la plataforma técnico-instrumental desarrollada posibilita comparar los escenarios elaborados, según el objetivo buscado.

Así también, el desarrollo de la metodología implementada para el subsector salud, puede ser considerada un insumo clave para el armado de un modelo mayor. Mediante el agregado de otras ramas de mayor jerarquía podrían incorporarse otros subsectores para la conformación del análisis de sector comercial y público. Del mismo modo, podrían incorporarse otras ramas correspondientes a los sectores transporte, residencial, agropecuario, no energético e industrial, conformando de esta manera el total de la demanda de la matriz energética, con sus respectivos subsectores.

Referencias

- Atienza-Márquez, A., Domínguez Muñoz, F., Fernández Hernández, F., & Cejudo López, J. M. (2022). Domestic hot water production system in a hospital: Energy audit and evaluation of measures to boost the solar contribution. *Energy*, 261(August). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125275>
- Barbero, D. A., Chévez, P. J., Discoli, C. A., & Martini, I. (2022). Modelo sistémico para el análisis de escenarios de consumo energético residencial. *Cuaderno Urbano*, 32(32), 167. <https://doi.org/10.30972/crn.32325958>
- Bawaneh, K., Ghazi Nezami, F., Rasheduzzaman, M., & Deken, B. (2019). Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States. *Energies*, 12(19), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en12193775>
- Chévez, P. J. (2017). Construcción de escenarios urbanos-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial. Universidad Nacional de Salta.
- Fundación Bariloche; Instituto de Energía y Ambiente de la Universidad de San Pablo. (2013). Estudio de la oferta y demanda de energía.
- González González, A., García-Sanz-Calcedo, J., & Rodríguez Salgado, D. (2018). A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain. *Sustainable Cities and Society*, 36, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.029>
- Heaps, C. (2022). LEAP: The Low Emissions Analysis Platform. In LEAP website (2024.1.1.9). Stockholm Environment Institute. <https://leap.sei.org>
- Martini, I. (2010). Diagnóstico y mejoramiento de los procesos de gestión edilicia energética productiva en la red de salud. Universidad Nacional de Salta.
- Medina Vásquez, J., & Ortigón, E. (2006). Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe. In Insituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. <http://www.eclac.cl/ilpes/publicaciones/xml/3/27693/manual51.pdf>
- Ministerio de Energía y Minería. (2025). Balances Energéticos. Ministerio de Energía y Minería Web Page. <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>
- NHS. (2010). Update: NHS Carbon Reduction Strategy. In www.england.nhs.uk. <https://www.england.nhs.uk/greenernhs/wp-content/uploads/sites/51/2021/02/NHS-Carbon-Reduction-Strategy-2009.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). Los objetivos de desarrollo sostenible. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://doi.org/10.2307/j.ctv14t4706>
- Pop, O. G., Abrudan, A. C., Adace, D. S., Pocola, A. G., & Balan, M. C. (2018). Potential of HVAC and solar technologies for hospital retrofit to reduce heating energy consumption. *E3S Web of Conferences*, 32. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183201016>
- Shen, C., Zhao, K., Ge, J., & Zhou, Q. (2019). Analysis of building energy consumption in a hospital in the hot summer and cold winter area. *Energy Procedia*, 158, 3735–3740. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.883>
- Ventana systems inc. (2012). Vensim. Vensim Web Page. <https://vensim.com/vensim-history/%0A>