

Development of a Tool for the Identification and energy Analysis of buildings' envelopes of different Hospital Areas

Emilia Urteneche, Santiago Tomás Fondoso-Ossola, Dante Barbero, Irene Martini

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC)

CONICET-UNLP

La Plata, Argentina

emiliaurteneche@iipac.laplata-conicet.gov.ar (E. Urteneche), santiagofondoso@iipac.laplata-conicet.gov.ar (S.T. Fondoso-Ossola), dantebarbero@iipac.laplata-conicet.gov.ar (D. Barbero), irenemartini@iipac.laplata-conicet.gov.ar (I. Martini).

Abstract—Hospital facilities are considered to be some of the buildings with the highest consumption per unit of floor area, due to the use of the functions performed in each hospital area and the need to ensure strict conditions for the habitability of its users. On the other hand, it has been detected that in the hospital network there are different construction systems in terms of the characteristics of the building envelope for the same hospital areas. This is due to the fact that they have been designed in different time contexts, responding to different criteria and regulations. In the current context, which leads to the need to provide energy efficiency solutions in a strategic way, this work provides a tool for the detection of the situations that present greater heat loss by the building envelopes. Thus, by applying the calculator developed to the same hospital area distributed in different buildings, an indicator of heat loss through the building envelope per unit of floor area is obtained. The results achieved make it possible to direct specific measures to the most critical situations, which will make it possible to save resources for building envelope refurbishment when implementing alternative energy strategies.

Keywords—energy loss per envelope index; energy efficiency; hospital areas; health sector

I. INTRODUCCIÓN

Entre las actividades que conforman la demanda de la matriz energética en Argentina, los hospitales se ubican dentro del subsector salud, perteneciente al sector comercial y público [1]. Los establecimientos de salud hospitalarios se consideran como los edificios con el mayor consumo de energía por unidad de superficie. El uso continuado de equipos de calefacción y refrigeración, con el fin de mantener unos niveles satisfactorios de confort térmico y de calidad del aire interior para los pacientes, así como el uso de iluminación artificial de forma continua en varios equipos sanitarios eléctricos, dan lugar a un consumo energético relativamente mayor en comparación con otros tipos de edificios [2]. Asimismo, se establece que el consumo energético principal en este tipo de edificios corresponde a los equipamientos, principalmente los destinados a climatización, con una participación aproximada del 45%. Esto se debe a que todas aquellas locaciones en donde se desarrollan servicios de salud deben tener un control estricto de la calidad del aire y mantener condiciones

medioambientales específicas con el fin de controlar la propagación de enfermedades [3].

Con el objeto de que los hospitales puedan funcionar con un mayor grado de eficiencia, distintas organizaciones como la Organización Panamericana de la Salud [4] o la Agencia Chilena de Eficiencia Energética [5], proporcionan guías para los gestores, ingenieros, o personal a cargo en este tipo de edificios. En ellas se ofrecen recomendaciones para la conservación de recursos hospitalarios y energéticos, la disminución de costos, el aumento de la eficiencia en las actividades desarrolladas en el establecimiento y la reducción de emisiones de carbono.

En cuanto al diseño y mantenimiento de los establecimientos, existen herramientas digitales de cálculo para direccionar propuestas “hacia una arquitectura sustentable”. Empresas de productos para la construcción, facilitan a sus clientes herramientas para lograr un mayor ahorro energético [6]. Al contar con las propiedades de sus productos, estos últimos conforman las bibliotecas para generar los cálculos que involucran las características higrotérmicas. De esta manera, pueden encontrarse herramientas de cálculo que informan sobre el nivel de transmitancia térmica de los cerramientos, como así también la posibilidad de calcular las pérdidas globales en un espacio habitable. Cabe aclarar que estos programas utilizan la normativa vigente de los países donde sus respectivas empresas se desempeñan, así el usuario puede percatarse de que su elección cumple o no con ciertas normas. También existen entidades que incentivan a nuevos edificios cumplan con ciertas categorías de certificación. A partir de la introducción de los datos de un determinado proyecto en una plataforma digital, se calculan los ahorros en servicios públicos y la reducción del impacto de sus emisiones. Posteriormente, se los compara con un edificio de referencia de un mismo programa y se lo evalúa para determinar en qué categoría de certificación se encuadra [7].

Si se analiza la red de establecimientos hospitalarios, en el caso de la provincia de Buenos Aires, se encuentra constituida por nodos con diferentes grados de complejidad y presenta diversos problemas, entre los que podemos mencionar los de habitabilidad higrotérmica [8] y el nivel bajo de Eficiencia Energética (EE) [9]. Asimismo, se ha detectado, a partir de

relevamientos en la micro-región del Gran La Plata (MRGLP), que la red hospitalaria con dependencia provincial se caracteriza por ser heterogénea en cuanto a los sistemas constructivos y partidos arquitectónicos de los edificios o construcciones que los constituyen. Esto se debe principalmente a una desarticulación entre los organismos de gestión a lo largo del tiempo, donde los hospitales han sido diseñados en distintos contextos temporales, desestimando en la etapa proyectual la adaptación y el crecimiento planificado. En consecuencia, se han ido construyendo bajo distintos criterios y normativas. El resultado final de este proceso, es una sumatoria de distintas propuestas arquitectónicas y respuestas aisladas que desatienden a la problemática del ambiente y de la energía, tanto en la red de establecimientos como, en numerosos casos, en un mismo hospital. De esta manera, pueden verse que, funciones desempeñadas por una misma área hospitalaria, pueden encontrarse en distintos edificios con distintas soluciones constructivas.

En relación a la necesidad de abordar la problemática energética en la red de hospitales, se detecta la necesidad de contar con herramientas que permitan operar sobre la mencionada red y los establecimientos que la componen.

El objetivo del presente trabajo es aportar una herramienta práctica y amigable para la evaluación energética de las envolventes edilicias de distintas áreas hospitalarias. Dicha herramienta debe permitir un estudio a escala de “red”, abordando, por ejemplo, una misma área hospitalaria en un conjunto de hospitales con distintas condiciones en cuanto al sistema constructivo; o en la escala de “establecimiento”, analizando una o varias áreas hospitalarias de un mismo hospital. A partir de los resultados obtenidos se podrán contar con argumentos para direccionar medidas específicas para las situaciones más críticas, lo que posibilitará un mayor ahorro de los recursos energéticos a la hora de implementar medidas relacionadas al tratamiento de la envolvente.

II. DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE EDILICIA

El presente trabajo plantea el desarrollo de una herramienta que permita evaluar la EE de la envolvente edilicia de los establecimientos hospitalarios del subsector salud. La metodología propuesta consta de dos etapas: (A) Cálculo de las pérdidas energéticas de la envolvente a partir del desarrollo de una herramienta específica y (B) Análisis de los elementos constructivos orientado al reciclado edilicio. Cada una de las etapas se desarrolla a continuación.

A. Cálculo de las pérdidas energéticas de la envolvente a partir del desarrollo de una herramienta específica

Para el cálculo de las pérdidas energéticas a través de la envolvente, se desarrolla una herramienta que facilita y automatiza las operaciones y verificaciones necesarias. Esta consiste en una planilla elaborada en una hoja de cálculo, la cual tiene en cuenta las Normas IRAM vigentes, necesarias para realizar los cálculos higrotérmicos, además de cumplir con las exigencias de la Ley 13059 de la provincia de Buenos Aires, la Ley 4458 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y con la ordenanza 8757 de Rosario. Para el cálculo de las

pérdidas energéticas de la envolvente se plantea la ecuación (1) [10], la cual expone la relación entre las distintas variables tenidas en cuenta.

$$C_{envolvente} = (K_o * A_o + K_t * A_t) * \frac{1}{A} * GDD * FE \quad (1)$$

Donde $C_{envolvente}$ son las pérdidas energéticas a través de la envolvente (expresado en [kWh/(día*m²)]), K_o es la transmitancia térmica de las superficies opacas (expresado en [W/(m²*°C)]), A_o es la superficie opaca (expresado en [m²]), K_t , es la transmitancia térmica de la superficie transparente (expresado en [W/(m²*°C)]), A_t es la superficie transparente (expresado en [m²]), A es la superficie del área construida (expresado en [m²]), τ es el tiempo (expresado en h/días), GDD son los grados necesarios para calefacción (expresados en [°C]) y FE expresa el factor de exposición, aludiendo a la cantidad de “caras” expuestas al exterior.

En cuanto al funcionamiento de la herramienta, los datos ingresados responden a la ecuación (1). Algunos de éstos deben ser ingresados manualmente, como es el caso de las superficies, mientras que otros podrán seleccionarse de una lista desplegable, por ejemplo, la zona bioclimática o la temperatura de diseño interior, de acuerdo al área hospitalaria. También se eligen de una lista el factor de exposición y los sistemas constructivos para cada elemento de la envolvente vertical (muros y carpinterías) y horizontal (cubierta). Además, se han utilizado fórmulas y funciones de la planilla de cálculo (por ejemplo, la función SI) para posibilitar las operaciones que se realizan a partir de la fórmula (1).

La estructura de la planilla con sus correspondientes variables a analizar se sintetiza en la Figura 1.

CALCULADORA DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS DE LA ENVOLVENTE EDILICIA	
Seleccionar de la lista la zona bioclimática según Norma IRAM 11603	IIIb
Seleccionar de la lista la temperatura de diseño interior (°C)	22
Completar con los grados días de calefacción anuales (°C)	2.228
Completar con la cantidad de días al año que se requiere calefacción	203
Grados día (°C)/día	11
Seleccionar de la lista el área hospitalaria	1.INTERNACIÓN
Completar la superficie del área hospitalaria seleccionada en m ²	176
Introducir el tiempo de uso del área hospitalaria en horas/día	24
Seleccionar de la lista la situación del área hospitalaria seleccionada	Dos de sus caras verticales y la cubierta están expuestas (FE=0,70)
Seleccionar de la lista el factor de exposición (FE) elegido	0,70
Muros	
Seleccionar de la lista el sistema constructivo predominante	2.Ladrillo común (cerámico macizo) -12x5x24cm- revocado ambas caras - 0,3 m espesor
Seleccionar el número del sistema constructivo elegido	2
Transmitancia térmica (K=W/m ² *°C)	2,03
Verifica NIVEL B de la Norma IRAM 11605	NO
Completar la superficie del muro en m ²	81
Cubierta	
Seleccionar de la lista el sistema constructivo predominante	1.Chapa ondulada hierro galvanizado con cielorraso suspendido
Seleccionar el número del sistema constructivo elegido	1
Transmitancia térmica (K=W/m ² *°C)	1,91
Verifica NIVEL B de la Norma IRAM 11605	NO
Completar la superficie de la cubierta en m ²	176
Carpinterías	
Seleccionar el sistema constructivo predominante	4.Carpinterías vidrio simple y marcos de chapa sin protección (solo cortina interior de tela)
Seleccionar el número del sistema constructivo elegido	4
Transmitancia térmica (K=W/m ² *°C)	5,87
Verifica Norma IRAM 11507-4	NO
Completar la superficie de carpinterías en m ²	41
PÉRDIDAS ENERGÉTICAS POR ENVOLVENTE EN kWh/día.m²	0,774

Figura 1. Estructura de la planilla de la calculadora.

B. *Análisis de los elementos constructivos orientado al reciclado edilicio*

Además de expresar valores numéricos, la herramienta brinda información gráfica que permite comparar en qué elemento constructivo de la envolvente se producen las mayores pérdidas energéticas (ver Figura 2). Esto depende no sólo de la transmitancia térmica de los muros, carpinterías y cubierta, sino también de la superficie expuesta de cada uno de ellos, según el factor de exposición del área hospitalaria analizada. El conocimiento de las pérdidas energéticas por elemento constructivo de la envolvente edilicia permitirá brindar argumentos para la toma de decisiones a la hora de implementar medidas para el reciclado edilicio, priorizando aquellos en los que se producen las mayores pérdidas energéticas.

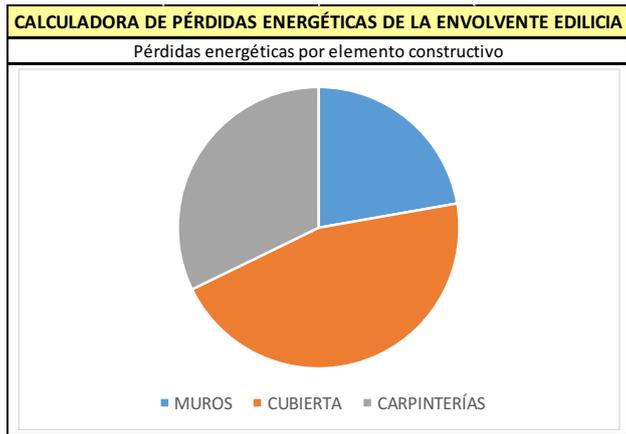


Figura 2. Información gráfica brinda por la calculadora.

III. RESULTADOS EN CASO DE APLICACIÓN

Como ejemplo de aplicación de la herramienta se trabajó en una escala “establecimiento” analizando las áreas hospitalarias del Hospital Zonal General de Agudos (HZGA) “Dr. Ricardo Gutiérrez”, el cual comprende uno de los nodos de la red de establecimientos hospitalarios con dependencia provincial, en este caso, pertenecientes a la región XI de la Provincia de Buenos Aires [11]. La Figura 3 muestra una imagen aérea del hospital seleccionado.



Figura 3. Imagen aérea del HZGA “Dr. Ricardo Gutiérrez”.

Este hospital representa un caso donde mismas áreas hospitalarias funcionan bajo distintas condiciones técnico-

constructivas, debido a las distintas etapas de construcción desde el momento de su fundación.

A. *Cálculo de las pérdidas energéticas de la envolvente a partir del desarrollo de una herramienta específica*

El establecimiento seleccionado, pertenece a la zona bioclimática III, caracterizada como templada cálida, y a una sub-zona IIIb, donde se señala que las amplitudes térmicas durante todo el año son pequeñas [12].

En relación al área hospitalaria a abordar, se optó por profundizar en el área de internación, debido a que estudios previos han determinado que la variable climatización es la que produce un mayor consumo en la mencionada área. Esto se debe a que los módulos, o espacios, que la conforman poseen poco equipamiento y requieren bajos niveles de iluminación en relación a otras, como es el caso de diagnóstico y tratamiento o cirugía [10]. También se detecta que el HZGA “Dr. Ricardo Gutiérrez” presenta una distribución del área de internación con distintas envolventes (ver Figura 4 y Tabla I).

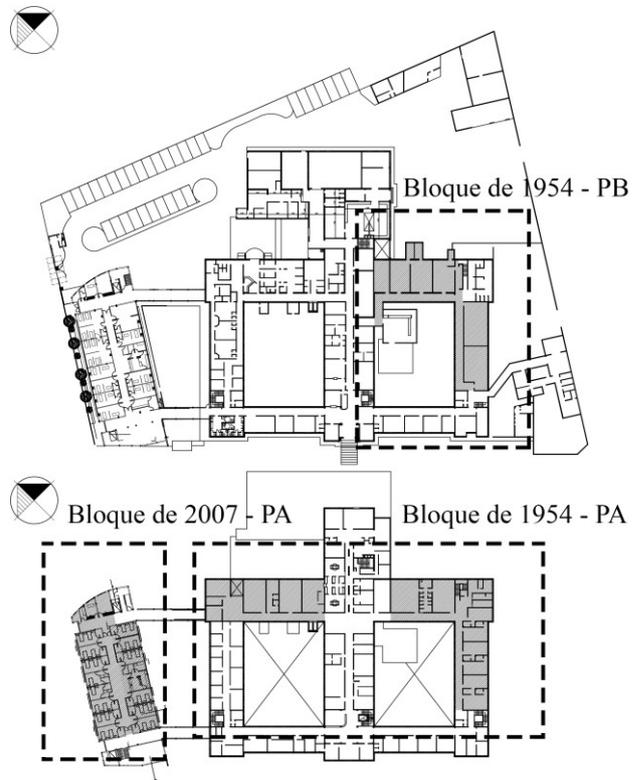


Figura 4. Ubicación de las distintas situaciones del área de internación.

TABLA I. SITUACIONES DEL ÁREA INTERNACIÓN EN EL HZGA “DR. RICARDO GUTIÉRREZ”

Internación		Envolvente edilicia					
		Cubierta		Muro		Carpintería	
Situación	Sup. const. (m2)	Tecnología	Sup. (m2)	Tecnología	Sup. (m2)	Tecnología	Sup. (m2)
Bloque de 1954 – PB	434	-	-	Ladrillo común del 30 revocado de ambas caras	282,94	Chapa doblada + vidrio simple incoloro de 6 mm	52,64
Bloque de 1954 – PA	739,48	Teja colonial con cielorraso suspendido	739,48	Ladrillo común del 30 revocado de ambas caras	462,24	Chapa doblada + vidrio simple incoloro de 6 mm	75,2493
Bloque de 2007 – PA	480,24	Losa maciza con cielorraso suspendido	480,24	Ladrillo hueco no portante del 22 revocado de ambas caras	162,91	Chapa doblada + vidrio simple incoloro de 6 mm	31,03

A partir de lo expuesto, se detectaron 3 situaciones para el área de internación, denominados como: Bloque de 1954 – PB; Bloque de 1954 – PA y Bloque de 2007 – PA. Luego, se aplicó la calculadora desarrollada en cada una de ellas, ingresando los valores referidos a la envolvente edilicia, con lo que se obtuvo un índice de pérdidas a través de la envolvente edilicia por superficie construida (ver Tabla II).

TABLA II. ÍNDICE DE PÉRDIDAS POR ENVOLVENTE

Internación		Índice de pérdidas por envolvente (kWh/día*m ²)
Situación	Superficie construida (m2)	
Bloque de 1954 - PB	434	0,13
Bloque de 1954 - PA	739,48	0,62
Bloque de 2007 - PA	480,24	0,45

Una vez obtenido el índice de pérdidas energéticas por envolvente, esta herramienta permite identificar los distintos valores de la envolvente edilicia de cada uno de los sistemas constructivos de los diferentes sectores analizados. El caso con el valor más bajo se dio para la situación “Bloque de 1954 – PB” acusando un valor equivalente a 0,13 kWh/día*m², mientras que el valor más alto se originó en la situación “Bloque de 1954 - PA” con un valor equivalente a 0,62 kWh/día*m². En el primer caso se observa que, al no contar con una superficie de cubierta expuesta al exterior, por tratarse de un piso intermedio, cuenta con menor pérdida de energía. Para el segundo caso, no sólo hay mayor exposición de sus superficies, sino que, además, los elementos constructivos poseen un coeficiente de transmitancia térmica elevado.

B. Análisis de los elementos constructivos orientado al reciclado edilicio

Esta herramienta permite, además, obtener las pérdidas por cada elemento constructivo (cubierta, muro y carpintería). Para las tres situaciones se detectaron distintos resultados de participación (ver Tabla III).

TABLA III. ANÁLISIS DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Internación	Elementos constructivos					
	Cubierta		Muro		Carpintería	
Situación	Sup.*K (W/°C)	(%)	Sup.*K (W/°C)	(%)	Sup.*K (W/°C)	(%)
Bloque de 1954 - PB	-	-	574,36	81	136,86	19
Bloque de 1954 - PA	1353,24	54	938,3	38	195,62	8
Bloque de 2007 - PA	744,37	63	259,02	22	182,14	15

Una vez identificado el sector con el valor mayor de los índices obtenidos, se pueden analizar las causas de dicho comportamiento. Se observa que la situación denominada “Bloque de 1954 - PA” presenta un índice de pérdidas mayor debido, en gran parte, a su gran extensión de superficie en la cubierta y al mismo tiempo a que este elemento presenta un coeficiente de transmitancia térmica elevado.

IV. CONCLUSIONES

Las redes de establecimientos hospitalarios al ser estructuras energo-intensivas, representan un escenario con significativas potencialidades para la implementación de medidas de EE. Sin embargo, se observa que ha existido una desarticulación entre los organismos de gestión para adoptar medidas a largo plazo.

Esto orientó a la búsqueda de respuestas integradoras y que, al mismo tiempo, aborden uno de los factores que contribuye a disminuir la demanda en la climatización en edificios hospitalarios.

En función de lo expuesto, se desarrolló una herramienta, la cual sintetiza una metodología de abordaje en la que puede evaluarse la EE de la envolvente edilicia de las distintas áreas hospitalarias. Dicha herramienta, permite calcular las pérdidas energéticas a través de la envolvente, facilitando las operaciones, de manera que puedan compararse resultados y analizar las variables que se consideren críticas desde el punto de vista energético. Se identificaron dos factores que son claves en el cálculo de las pérdidas térmicas de la envolvente: la transmitancia térmica de cada uno de los elementos constructivos de la envolvente edilicia y el factor de exposición del área considerada. La evaluación de la EE de la envolvente edilicia permite identificar en cuál de los elementos constructivos (cubierta, muros o carpinterías) que la componen se producen las mayores pérdidas energéticas. Esto tiene por objetivo aportar argumentos desde la dimensión tecnológica-constructiva a la hora de intervenir en áreas hospitalarias.

En cuanto al alcance de la herramienta, la misma puede ser utilizada en cualquiera de las zonas bioclimáticas propuestas en la Norma IRAM 11603 [12], lo cual favorece la aplicación en provincias en las que estas normas no tienen carácter obligatorio. También cabe destacar, que su utilidad llega hasta el punto de la evaluación de la envolvente edilicia, brindando resultados para una línea de base. Esto permitirá avanzar con otras herramientas para brindar soluciones considerando otras dimensiones (funcionales, económicas, ambientales, etc.) al momento de intervenir una determinada área hospitalaria.

Por lo que concierne a la precisión de la herramienta desarrollada, se reconoce que la misma considera a los pisos intermedios sin envolventes horizontales, al igual que las distintas áreas hospitalarias que comparten un muro en un mismo piso, este no se considera como envolvente vertical. Es decir, tiene en cuenta zonas contiguas con una temperatura igual y constante respecto a la analizada y, por lo tanto, sin intercambio de energía con éstas. En parte, esta decisión surge teniendo en cuenta el concepto de la envolvente edilicia, cuyos elementos se conforman por muros, cubierta y aberturas [13], aquellos en contacto directo con el exterior. Para efectuar un análisis más preciso que contemplen las pérdidas entre espacios contiguos, deberán tenerse en cuenta múltiples factores adicionales que describan los flujos energéticos entre las áreas analizadas. Si bien este aspecto mejoraría la precisión de la herramienta, podría complejizarla, comprometiendo su practicidad.

V. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se efectuó en el marco de la realización de dos becas doctorales CONICET bajo los títulos de “Análisis, Ensayo y Evaluación de Estrategias Energéticas Alternativas

para el Sector Salud en Escenarios Urbanos” y “Evaluación de la Eficiencia Energética y Propuestas Tecnológicas Constructivas para el Mejoramiento de la Envolvente Edilicia del Sector Salud”. Asimismo, esta temática se inscribe en las líneas de investigación del IIPAC, CONICET-UNLP. La propuesta de investigación contribuye específicamente a los siguientes proyectos vigentes: i. “Modelo de simulación del consumo energético residencial en el marco de escenarios de desarrollo urbano.” Proyecto UNLP 11/U170. 2018-2021; ii. “Construcción de escenarios energéticos alternativos de desarrollo urbano: implementación de un modelo de simulación integral orientado al uso eficiente de la energía y sustitución de fuentes por renovables.” PIP 2018-2020; iii. “El consumo energético residencial y del transporte: un análisis integrado a escala urbano-territorial.” PICT 2017-1295. 2018-2021.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Energía y Minería, “Balance Energaetico Nacional 2015,” Ciudad autónoma de Buenos Aires, 2016.
- [2] G. K. Alexis and P. Liakos, “A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece. Economic and environmental impacts,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 54, no. 2, pp. 488–496, 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.02.019.
- [3] Arocas, Sergio M.; Coria Hoffmann, Geraldine D.; Bosc, “Evaluación de medidas de eficiencia energética en el sistema de climatización de una instalación hospitalaria,” in VI Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica/ I Congreso Argentino de Ingeniería Ferroviaria, 2018, p. 11, [Online]. Available: www.caim2018.com.ar.
- [4] Organización Panamericana de la Salud, *Herramienta para Hospitales Inteligentes*, 1era ed. Washington, D.C., 2018.
- [5] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, *Manual de Gestor en eficiencia energética. Sector hospitalario*, 1era ed. Providencia, 2012.
- [6] ISOVER Saint-Gobain, “Software de cálculo.” <https://www.isover.com.ar/software-de-calculo> (accessed Jun. 28, 2021).
- [7] EDGE, “Software | EDGE Buildings.” <https://edgebuildings.com/software/?lang=es> (accessed Jun. 28, 2021).
- [8] I. Martini, C. A. Discoli, Y. Rosenfeld, and E. Rosenfeld, “Análisis edilicio energético productivo de los edificios de salud,” in IV Congreso Arquisur, 2000, p. 6.
- [9] D. Basualdo and J. D. Czajkowski, “Prediagnóstico energético-ambiental,” *Anu. AADAIH* 2018, pp. 102–104, 2018, [Online]. Available: https://aadaih.org.ar/get/ANUARIOS/ANUARIO_AADAIH_2018.pdf.
- [10] I. Martini, “Diagnóstico y mejoramiento de los procesos de gestión edilicia energética productiva en la red de salud,” Universidad Nacional de Salta, 2010.
- [11] Ministerio de Salud, “Hospitales.” <https://www.gba.gob.ar/saludprovincia/hospitales> (accessed Jun. 17, 2021).
- [12] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, “IRAM 11603/11. Acondicionamiento Térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina,” 2011.
- [13] L. G. Rodríguez, “Instrumentación metodológica para el reciclado masivo de la edilicia residencial orientada a la eficiencia energética,” Universidad Nacional de Salta, 2015.