



15, 16 Y 17 DE SEPTIEMBRE DE 2021

DISEÑO DE UN PROGRAMA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MARCO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA EN UNA INSTALACIÓN HOSPITALARIA

Sergio M. Arocas¹, Geraldine D. Coria Hoffmann², Cristian Bosc³ y Claudio Martins⁴

^{1,2,3,4} UIDET-IAME, Facultad de Ingeniería UNLP, Calle 1 y 47, La Plata, Argentina,
martin.arocas@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

La implementación de sistemas de gestión de la energía a través de programas de ahorro y eficiencia energética en los sectores de consumo industrial, comercial y público presentan diversas ventajas a nivel país como *el aseguramiento energético en el largo plazo, crecimiento económico y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero*.

Como principal objetivo de este trabajo se plantea el desarrollo de un programa de ahorro y eficiencia energética basado en indicadores energéticos que permitan priorizar áreas donde aplicar las mejoras de ahorro y eficiencia energética en un edificio hospitalario.

Luego de una revisión energética es posible obtener las principales demandas de los suministros energéticos, que en el caso en estudio resulta que la demanda de energía eléctrica es el 75% del consumo total de energía y su gasto anual representa el 95% del gasto total en suministros energéticos. Las instalaciones demandantes de electricidad son la climatización (60%), la iluminación (28%) y el grupo de los equipos electromédicos, ofimáticos y electrodomésticos (12 %).

La formulación de indicadores energéticos se realiza con el objetivo de ayudar a los responsables de la toma de decisiones a establecer objetivos de eficiencia energética y al seguimiento de los avances para alcanzarlos. Para el caso en estudio se desarrollan indicadores de consumo específico de energía para identificar las principales demandas energéticas a diferentes niveles (edificio, instalaciones, equipos) y el indicador de eficiencia energética para priorizar las medidas de eficiencia energética.

El resultado es un programa de ahorro y eficiencia energética que contiene todas las mejoras analizadas que requieren inversión pudiéndose advertir cómo el indicador de consumo específico de energía reflejaría el cumplimiento del objetivo de eficiencia energética. La aplicación de todas las mejoras permitiría disminuir el valor de este indicador de 96 a 41 [MWh-año/cama].

Palabras Clave: *Indicadores energéticos, Eficiencia energética, Energía, Gestión.*

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de gestión de la energía representan en la actualidad una herramienta valiosa para mejorar el desempeño energético de los establecimientos que forman parte de los distintos sectores de consumo de energía, como industrial, comercial y público. Para cada uno, mejorar este desempeño influye de manera directa en los costos de energía; en tanto que a nivel país presenta ventajas como el aseguramiento energético a largo plazo, crecimiento económico y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En esta mejora del desempeño energético se incluye tanto la eficiencia energética como el uso y el consumo de energía, focalizándose en lograr un proceso sistemático, tendiendo a la mejora continua a través del enfoque *PHVA: Planificar-Hacer-Verificar-Actuar* [1]. Es precisamente en la etapa de planificación donde debe desarrollarse un programa de ahorro y eficiencia energética, exclusivo para el establecimiento, que permita formular un esquema de implementación de mejoras del desempeño energético, sustentado en el uso de indicadores energéticos.

Como principal objetivo de este trabajo se plantea el desarrollo de un programa de ahorro y eficiencia energética basado en indicadores energéticos que permitan priorizar áreas donde aplicar las mejoras de ahorro y eficiencia energética en un edificio hospitalario.

El edificio hospitalario en estudio es el pabellón de Alta Complejidad del hospital San Martín de la ciudad de La Plata, el cual fue construido en 2008, presenta 11.280 m² de superficie cubierta y un total de 40 camas.

2. DESARROLLO

En el caso en estudio, se llevó adelante una revisión energética del edificio hospitalario con el objetivo de realizar la simulación del consumo energético del establecimiento y detectar las oportunidades de mejora de eficiencia energética en el mismo.

De esta manera surge que el consumo estimado de energía anual del pabellón resulta de 3.000.000 kWh de electricidad y 97.000 m³ de gas natural. Por lo tanto, la energía eléctrica es el suministro mayoritario de este edificio, representando el 75% del consumo energético total. En términos del gasto económico (obtenido a partir de la simulación del consumo), la preponderancia del suministro eléctrico es aún mayor, representando el 95% del gasto total anual estimado en energía.

Por su parte, si se analiza la participación de las instalaciones en la demanda eléctrica, se visualiza que la climatización (refrigeración y ventilación) representa el 60%, la iluminación el 28% y los otros equipos eléctricos (electromédicos, ofimáticos y electrodomésticos) el 12%

restante. En tanto que, en el caso del gas natural, el consumo mayoritario se debe a la calefacción, llegando al 95% y el resto se utiliza para la producción de agua caliente sanitaria.

Todos estos datos, así como la información conseguida en el relevamiento en campo y en las entrevistas con personal técnico y médico del pabellón, permiten comprender el comportamiento energético del establecimiento y contribuyen a la definición de indicadores energéticos para el edificio en estudio.

Los indicadores energéticos constituyen herramientas utilizadas para determinar las áreas prioritarias en las cuales se deben aplicar las mejoras de ahorro y eficiencia energética. A su vez, el valor numérico de estos indicadores genera información que asiste a los responsables de la toma de decisiones a establecer objetivos de eficiencia energética y al seguimiento de los avances para alcanzar dichos objetivos.

Para interpretar adecuadamente los alcances de las medidas de eficiencia energética es necesario separar el impacto de los cambios en cada instalación/equipo que influyen en la demanda de energía. El desarrollo de indicadores energéticos debe proporcionar información para comprender la situación actual y permitir evaluar el potencial de ahorro energético [2, 3].

Para el caso en estudio, se proponen dos indicadores energéticos principales. La evaluación de los consumos energéticos de las instalaciones y equipos permite el desarrollo de un "*Indicador de consumo específico de energía*" mientras que la cuantificación del impacto que tiene la implementación de medidas de eficiencia energética se realiza mediante el análisis de la evolución de un "*Indicador de eficiencia energética*".

Se define el *indicador de consumo específico de energía [MWh-año/cama]* como la relación entre el consumo anual de energía y la cantidad de camas en el pabellón hospitalario. Este indicador energético es del tipo agregado y se caracteriza por proporcionar una idea general sobre las tendencias del consumo energético en un determinado sector. Sin embargo, se requiere información más detallada para entender las características del consumo energético y para proporcionar un análisis de relevancia respecto al efecto de las mejoras de eficiencia energética cuando se aplican en las principales instalaciones demandantes de energía.

De esta manera se formula una estructura de indicadores desagregados que permiten priorizar las instalaciones y equipos en los cuales deben implementarse las medidas de ahorro y eficiencia. Se plantea la siguiente estructura jerárquica para desagregar el indicador de consumo específico de energía:

Nivel 1: Consumo de energía por cama.

Nivel 2: Tipo de energía consumida por cama (Energía Eléctrica y Gas Natural).

Nivel 3: Consumo energético de las instalaciones por cama.

Nivel 4: Consumo energético de los equipos por cama.

El segundo indicador desarrollado es el *indicador de eficiencia energética* [$\$/kWh$], el cual se aplica a cada una de las mejoras de ahorro y eficiencia energética propuestas y se define como la relación entre el costo de la energía ahorrada anual y la energía ahorrada al año correspondiente a cada mejora. Este indicador, que pretende interpretarse como el costo unitario de la energía ahorrada, se utiliza para priorizar las mejoras de ahorro y eficiencia energética que generen el mayor ahorro económico en cada instalación.

Las posibilidades de ahorro y eficiencia energética se clasifican en mejoras de costo nulo, mejoras de bajo costo y mejoras que requieren inversión; las últimas son las consideradas para la definición de un programa de ahorro y eficiencia energética en la instalación hospitalaria.

Con el objetivo de determinar las prioridades de aplicación de mejoras que dan como resultado el programa de ahorro y eficiencia energética para el establecimiento, se consideran los siguientes criterios de evaluación:

- 1º) *Cálculo del indicador de consumo específico de energía desagregado*: se debe obtener y ordenar de mayor a menor el indicador en cada nivel: tipo de energía por cama, consumo de energía por instalación por cama y consumo de energía por equipo por cama. Las mejoras se deben aplicar prioritariamente en el equipo/instalación para el cual el valor inicial del indicador sea mayor.
- 2º) *Cálculo del indicador de eficiencia energética*: el mayor valor de este indicador prioriza la mejora de ahorro y eficiencia.

En caso de igualdad de indicadores de consumo específico de energía y eficiencia energética, la prioridad de la mejora a aplicar queda definida por el periodo de recupero simple de la inversión y, luego, por el valor máximo de emisiones evitadas.

- 3º) *Período simple de recuperación de la inversión*: se deben priorizar las mejoras con bajo periodo de recupero simple de la inversión.
- 4º) *Emisiones evitadas de dióxido de carbono (CO_2)*: se deben priorizar las mejoras que generen la mayor cantidad de emisiones evitadas de CO_2 .

3. RESULTADOS

Siguiendo la metodología planteada anteriormente, en primer lugar se evalúa para el pabellón hospitalario en estudio, el indicador de consumo específico de energía agregado y desagregado con la estructura jerárquica propuesta. Los resultados de esta evaluación se presentan en la Tabla 1, donde se puede identificar rápidamente para cada nivel de agregación la prioridad que debe darse a cada tipo de energía, instalación y equipo. Del segundo nivel se observa que se deben priorizar las instalaciones y equipos que demandan energía eléctrica respecto a las que utilizan gas natural.

En tanto que, del análisis de los resultados del tercer nivel del indicador, se advierte que debe priorizarse la instalación de refrigeración para aplicar las mejoras, seguida por las instalaciones de calefacción, iluminación, otros equipos energéticos y por último la instalación para la producción de agua caliente sanitaria.

Al desagregar el indicador de consumo específico de energía en equipos, se señala que deben priorizarse las enfriadoras. Luego, con el siguiente orden, se consideran las mejoras en las luminarias, calderas, unidades de tratamiento de aire (UTAs), equipamiento médico, electrodoméstico y, por último, los equipos ofimáticos.

Tabla 1. Evaluación del indicador de consumo específico de energía

Nivel 1: Consumo de energía por cama [MWh-año/cama]	
Energía total	95,9
Nivel 2: Tipo de energía consumida por cama [MWh/cama]	
Energía eléctrica	74,5
Gas natural	21,4
Nivel 3: Consumo energético de las instalaciones por cama [MWh-año/cama]	
Refrigeración	38,5
Calefacción	26,5
Iluminación	20,9
Otros equipos energéticos	8,9
ACS (Agua caliente sanitaria)	1,1
Nivel 4: Consumo energético de los equipos por cama [MWh-año/cama]	
Enfriadoras	32,4
Iluminación	20,9
Calderas	20,3
UTAs (Unidades de Tratamiento de Aire)	12,3
Equipos Médicos	6,4
Electrodomésticos	1,9
Termotanque	1,1
Equipos Ofimáticos	0,6

A partir del análisis precedente se define el orden de prioridad para la ejecución de las mejoras, de acuerdo al tipo de energía, instalación y equipos detallado en la Tabla 2.

Tabla 2. Prioridad de instalaciones y equipos para aplicar las mejoras, según el indicador de consumo específico de energía

Tipo de energía	Instalación	Equipos	Prioridad
Energía Eléctrica	Refrigeración	Enfriadoras	1
	Calefacción	UTAs (Motores)	2
	Iluminación	Iluminación	3
	Otros Equipos energéticos	Eq. Médicos	4
		Electrodomésticos	5
		Eq. Ofimáticos	6
Gas Natural	Calefacción	Calderas	7
	ACS	Termotanques	8

Para el edificio en estudio se evaluaron 10 medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía, que requieren inversión. Las mismas son analizadas y cuantificadas desde los puntos de vista energético, económico y ambiental, con el objetivo de ser incluidas dentro del programa de ahorro y eficiencia energética.

Siguiendo con la metodología de armado del programa, se evalúa el indicador de eficiencia energética (costo unitario de energía) para cada una de las mejoras analizadas, mostrándose los resultados obtenidos en la Tabla 3.

Tabla 3. Determinación del indicador de eficiencia energética (costo unitario de energía)

Mejora	Instalación en la que impacta	Ahorro de electricidad anual [kWh]	Ahorro gas natural anual [kWh]	Indicador de eficiencia energética [\$/kWh]	Prioridad
Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED	Iluminación/ Refrigeración	984040	0	2,448	1
Control y seccionamiento de la iluminación	Iluminación	106191	0	2,448	2
Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia	Refrigeración/ Calefacción	56482	0	2,448	3
Reemplazo de heladeras con etiquetado F por heladeras con etiquetado A	Otros equipos energéticos	15177	0	2,448	4
Instalación de energía solar fotovoltaica	Iluminación	6570	0	2,448	5
Pintar la envolvente con pintura aislante térmica	Refrigeración/ Calefacción	14593	9280	1,62	6
Colocación de cortinas de tela screen		139503	101150	1,55	7
Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH)		336838	340993	1,38	8
Instalación de termotanques industriales	ACS	0	61125	0,317	9
Instalación de un sistema de energía solar térmica		0	28985	0,317	10

De los valores del indicador mostrados en la Tabla 3, en el caso de mejoras que impliquen dispositivos eléctricos más eficientes el valor del costo unitario de la energía corresponde a la tarifa eléctrica, análogamente para mejoras que impliquen sistemas a gas natural más eficientes se obtendrá la tarifa de gas. En los casos restantes el valor obtenido dependerá de la modificación propuesta, con una cota superior dada por la tarifa eléctrica y una inferior dada por la tarifa de gas natural.

En la Tabla 4 se resume el ordenamiento de las mejoras para cada instalación teniendo en cuenta en primer término el orden de prioridad surgido de la Tabla 2 y, seguidamente, contemplando el orden surgido de la Tabla 3. Se incluye también el periodo de recupero simple y las emisiones de CO₂ evitadas al año de cada mejora propuesta.

Tabla 4: Ordenamiento de las mejoras según los indicadores de consumo específico de energía y de eficiencia energética e información adicional.

Tipo de energía	Instalación	Mejoras ordenadas a partir de los indicadores de consumo específico de energía y eficiencia energética por instalación		Período de recupero simple [años]	Emisiones de CO2 evitadas al año¹ [ton]
Energía Eléctrica	Refrigeración	Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED	1	0,13	433
		Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia	2	1,8	24,9
		Pintar la envolvente con pintura aislante térmica	3	0,25	8,1
		Colocación de cortinas de tela <i>screen</i>	4	2,2	79,6
		Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH)	5	2,8	209,5
	Calefacción	Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia	1	1,8	24,9
	Iluminación	Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED	1	0,13	433
		Control y seccionamiento de la iluminación	2	0,12	46,7
		Instalación de energía solar fotovoltaica	3	16,6	2,9
	Otros Equipos energéticos	Reemplazo de heladeras con etiquetado F por heladeras con etiquetado A	1	3,1	6,6
Gas natural	Calefacción	Pintar la envolvente con pintura aislante térmica	1	0,25	8,1
		Colocación de cortinas de tela <i>screen</i>	2	2,2	79,6
		Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH)	3	2,8	209,5
	ACS	Instalación de termotanques industriales	1	7,7	11
		Instalación de un sistema de energía solar térmica	2	11,4	5,6

¹ Las emisiones se calculan según los factores de emisión del Anexo II del *Manual de Aplicación de la Huella de Carbono* [4]

Para definir el programa de eficiencia energética del pabellón se analiza la evolución del indicador de consumo específico de energía en la situación actual y con la aplicación secuencial de las mejoras según el orden que surge de la Tabla 4, teniendo en cuenta que, cuando una mejora afecta a más de un tipo de energía y a más de una instalación, será aplicada en el orden que indique la Tabla 2. Por ejemplo, la mejora referida a la pintura de la envolvente afecta al consumo de energía eléctrica en refrigeración y al de gas en calefacción, pero la prioridad la establece el primero. De este modo, surge el siguiente orden final de aplicación de las mejoras:

0. Situación actual (sin aplicación de mejoras)
1. Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED.
2. Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia.
3. Pintar la envolvente con pintura aislante térmica.
4. Colocación de cortinas de tela *screen*
5. Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH).
6. Control y seccionamiento de la iluminación.
7. Instalación de energía solar fotovoltaica.
8. Reemplazo de heladeras con etiquetado F por heladeras con etiquetado A.
9. Instalación de termotanques industriales.
10. Instalación de un sistema de energía solar térmica.

En la Figura 1 se muestra la evolución del indicador de consumo específico de energía frente a la aplicación secuencial de las mejoras propuestas.

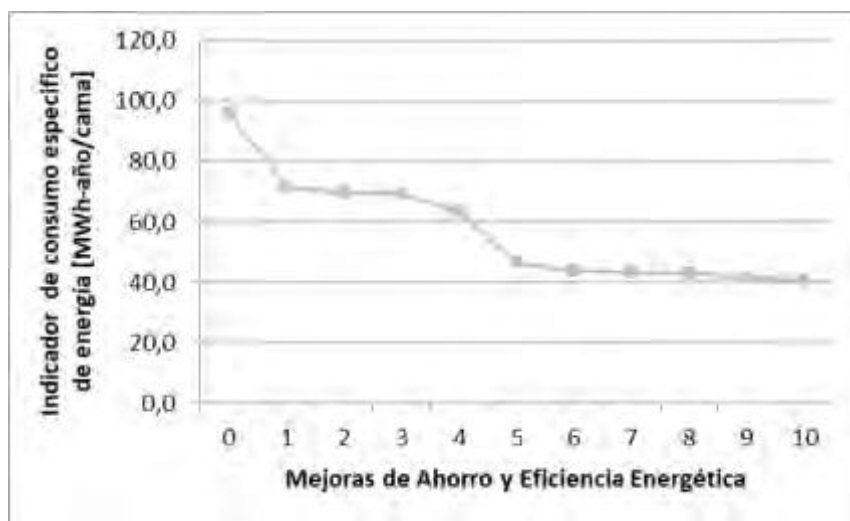


Figura 1: Evolución del indicador de consumo específico de energía en el caso de estudio.

A medida que se aplican las mejoras se puede observar que el indicador de consumo específico de energía (agregado) disminuye prácticamente en 57% respecto de la situación inicial, pasando de 96 a 41 [MWh-año/cama].

El valor de este indicador que es posible obtener con la aplicación de todas las mejoras, resulta aún muy alto comparado con los alcanzados internacionalmente donde, por ejemplo, este indicador es 10,8 [MWh-año/cama] para un total de 200 camas en el hospital Dr. Luis Calvo Mackena de Chile [5] y aspiran a reducir este indicador a valores cercanos al de los hospitales semejantes de Francia los cuales presentan un valor 4 [MWh-año/cama]. Se destaca que un menor consumo energético no implica menores niveles de confort.

Se aclara que la comparación de los valores de este indicador para diferentes hospitales debería complementarse con la información de los servicios brindados por cada uno y los consumos energéticos. El caso en estudio corresponde a un pabellón de características particulares en cuanto a la multiplicidad de servicios, tales como diagnóstico por imágenes, atención de urgencias y terapia intermedia e intensiva. Por lo tanto, para obtener conclusiones relativas a cuánto se aparta el indicador calculado de los valores que presentan otros establecimientos, debería asegurarse que el consumo de energía y los servicios prestados sean similares, aunque para los hospitales anteriormente mencionados, esta información no está disponible para ser consultada al día de la fecha.

Para el pabellón de Alta Complejidad en estudio, el programa de ahorro y eficiencia energética se puede separar en dos etapas, proponiendo dividir las medidas conforme a la magnitud del impacto sobre el indicador de consumo específico de energía.

Etapla 1: Mejoras de alto impacto.

1. Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED.
2. Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH).

Etapla 2: Mejoras de menor impacto.

3. Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia.
4. Pintar la envolvente con pintura aislante térmica.
5. Colocación de cortinas de tela *screen*
6. Control y seccionamiento de la iluminación.
7. Instalación de energía solar fotovoltaica.
8. Reemplazo de heladeras con etiquetado F por heladeras con etiquetado A.
9. Instalación de termotanques industriales.
10. Instalación de un sistema de energía solar térmica.

4. CONCLUSIONES

Para cada establecimiento consumidor de energía los programas de ahorro y eficiencia energética en el marco de un sistema de gestión de la energía revisten de un carácter de importancia a nivel individual tanto como a nivel estratégico nacional.

El programa de ahorro y eficiencia energética desarrollado para el pabellón de Alta Complejidad del hospital San Martín de La Plata se basa en dos indicadores energéticos: el indicador de consumo específico de energía, evaluado de manera agregada y desagregada en tipo de energía, instalaciones y equipos, y el indicador de eficiencia energética.

Con el indicador de consumo específico de energía se determina la prioridad de la instalación/equipo donde deben aplicarse las mejoras. De su evaluación para el caso en estudio, surge que debe seguirse el siguiente orden de prioridad: enfriadoras, motores de las unidades de tratamiento de aire, iluminación, equipos médicos, electrodomésticos, equipos ofimáticos, calderas y termotanques.

Con la evaluación del indicador de eficiencia energética para cada una de las 10 mejoras propuestas para el pabellón, se define el orden de aplicación de las mismas.

De esta manera queda definido un programa de ahorro y eficiencia energética para el pabellón de Alta Complejidad del hospital San Martín que consta de dos etapas: la primera que incluye las 2 mejoras de mayor impacto y la segunda con las 8 mejoras restantes.

Con la implementación de este programa el indicador de consumo específico de energía agregado pasa de 96 a 41 [MWh-año/cama], es decir que disminuye en 57% respecto de la situación inicial.

5. REFERENCIAS

- [1] Norma IRAM – ISO 50001: Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. 2018.
- [2] López Cristia, M. *Hospitales Eficientes: Una Revisión del Consumo Energético Óptimo*. Tesis Doctoral Universidad de Salamanca. 2011.
- [3] International Energy Agency OCDE/AIE. *Indicadores de Eficiencia Energética: bases esenciales para el establecimiento de políticas*. 2015.
- [4] Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático. Ministerio de Agroindustria. Prov. de Buenos Aires. *Manual de Aplicación de la Huella de Carbono*. 2018.
- [5] Löhr, W., Gauer, K. y otros. *Eficiencia Energética en Hospitales Públicos*. Dalkia, GTZ, Programa País. Eficiencia Energética. Chile. 2009.