

Perfil energético del área de Imagenología en el Hospital Universitario la Samaritana

Energy profile of the imagenology in the la Samaritana university hospital

Luz Adriana Suárez Suárez¹, William Evelio Rodríguez Delgado², Sergio Andrés Tovar³

¹<https://orcid.org/0000-0002-8002-6002> Universidad Manuela Beltrán, Bogotá, Colombia, luz.suarez@docentes.umb.edu.co

² Consultor, Bogotá Colombia

³ Universidad ECCL, Bogotá, Colombia

Fecha de recepción: 18 de septiembre de 2025

Fecha de aprobación: 30 de mayo de 2025

Fecha de publicación: 30 de junio de 2025



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.13137>

Citar como: L. A Suárez, W. E. Rodríguez y S. A. Tovar, "Perfil energético del área de Imagenología en el Hospital Universitario la Samaritana" Avances: Investigación en Ingeniería, vol. 22, núm. 1, pp. 59–68, 2025, doi: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.13137>

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo construir y aplicar una metodología para evaluar el estado energético del Hospital Universitario la Samaritana, ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia. Para el desarrollo y evaluación de la metodología, se seleccionó como área piloto la unidad de Imagenología. En el análisis se consideraron variables como el tiempo de uso, la potencia, los miliamperios-segundo (mAs), los kilovoltios (kV) y los miliamperios (mA) de todos los equipos de la Unidad. La metodología propuesta permitió calcular el perfil energético de cada subárea (TAC, angiografía, rayos x, mamografía y Doppler) obteniendo posteriormente datos sobre el consumo de emisiones de CO₂ y la energía primaria. Los resultados evidenciaron que factores como la cultura institucional y la obsolescencia de los equipos pueden incidir significativamente en el consumo de recursos energéticos. Las subáreas con mayores niveles de consumo fueron las de TAC, luminarias y el área administrativa.

Palabras Clave: Emisiones CO₂, Energía primaria, ISO 50001, Gestión energética, Sostenibilidad.

Abstract

The objective of this study was to develop and apply a methodology to evaluate the energy performance of the Samaritana University Hospital, located in Bogotá D.C., Colombia. For the development and assessment, the methodology, the Imaging unit was selected as a pilot area. The analysis considered variables such as operating time, power, milliamperes-seconds (mAs), kilovolts (kV), and milliamperes (mA) for all the equipment in the unit. The proposed methodology enabled the calculation of the energy profile of each subarea (CT

scan, angiography, x-ray, mammography and Doppler), subsequently obtaining data on CO₂ emissions and primary energy consumption. The results showed that factors such as institutional culture and equipment obsolescence can significantly influence energy resources consumption. The subareas with the highest levels of consumption were CT scan, lighting and the administrative area.

Keywords: CO₂ emissions, Energy management, ISO 50001, Primary energy, Sustainability.

1. Introducción

El uso de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCER) constituye uno de los objetivos del milenio; sin embargo su cumplimiento ha sido limitado debido al bajo desarrollo en infraestructura e inversión económica [1]. El reducido porcentaje de implementación de planes de eficiencia energética se debe, en gran medida, a la falta de estandarización de indicadores, la ausencia de herramientas para la aplicación de la normatividad y el desconocimiento por parte del consumidor de estas tecnologías, actores que en conjunto obstaculizan la adopción de las FNCER [2].

En consecuencia, se requiere el diseño e implementación de políticas y proyectos orientados a la gestión energética. Los sistemas de gestión pueden ser clave en estos procesos. En países como Marruecos, se han aplicado sistemas basados en la norma ISO 50001, logrando mejoras en el ahorro energético de hasta un 20%, mediante la implementación de fotoceldas con Tasa Interna de Retorno (TIR) inferior a tres años [3]. De esta manera, la gestión energética bajo la ISO 50001 puede ser una herramienta de ahorro económico y energético que aporta al objetivo 7 “energía asequible y no contaminante” de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 [4].

Brasil, Colombia y Chile por sus recursos naturales tienen condiciones para la transición energética que no solo representa una mejora ambiental sino también social y económica [5].

Aunque Colombia tiene gran cantidad de acceso y aprovechamiento de las FNCER por su posición geográfica y normatividad, la falta de voluntad política, la disponibilidad de recursos y la burocracia en los trámites afectan la implementación de la de los sistemas energéticos [6].

Un indicador que puede evaluar las medidas implementadas es la huella de carbono. Los hospitales no son ajenos a esta medición, el sector salud es responsable del 4,4% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), y las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) pueden generar hasta tres veces más CO₂ por cama en comparación con otras áreas hospitalarias [7]. Asimismo, en procedimientos quirúrgicos se han cuantificado emisiones significativas, como el caso de las cirugías oftalmológicas, que producen alrededor de 86,62 kg de CO₂eq, principalmente debido al uso de equipamiento y suministros farmacéuticos [8].

Para el desarrollo de la metodología propuesta en este estudio, se seleccionó el área de imagenología o radiología del Hospital Universitario la Samaritana, por ser una de las unidades con mayor consumo eléctrico. Inicialmente, se realizó una revisión del estado energético del hospital mediante una visita técnica. A partir de esta evaluación, se formuló una política energética orientada a enfocar los programas de reducción del consumo energético.

Con base en lo anterior, se diseñó una herramienta metodológica para su implementación, la cual se presenta en este trabajo. El modelo desarrollado permitió realizar perfiles energéticos, calcular la huella de carbono y la energía primaria, y evaluar su viabilidad económica utilizando el software RetScreen®. Se plantearon tres escenarios de financiación, y la metodología fue posteriormente aplicada en el resto del hospital a través de otros trabajos de investigación.

2. Metodología

Con el propósito de conocer el consumo energético y caracterizar el comportamiento del uso de la energía, se desarrolló una metodología orientada a determinar el perfil energético del Hospital Universitario La Samaritana y así calcular las emisiones de CO₂, el consumo de energía primaria y, a partir de estos resultados, proponer medidas de gestión energética encaminadas a optimizar el uso de los recursos disponibles.

Para la validación de la metodología se realizó una prueba tomando como área piloto la Unidad de imagenología.

2.1 Perfil Energético

Para la construcción del perfil energético, se realizó una visita técnica a las diferentes subáreas de la unidad de imagenología del Hospital, con el fin de recopilar información sobre variables operativas y eléctricas relevantes. Entre los datos registrados se incluyeron el tiempo de uso, los miliamperios-segundo (mAs), los kilovoltios (kV) y los miliamperios (mA) de los equipos pertenecientes a las subáreas de tomografía axial computarizada (TAC), rayos X (RX), mamografía, ecografía y Doppler.

Cabe destacar que el proceso requirió una dedicación significativa por parte del equipo

investigador, ya que fue necesario ingresar a los procedimientos clínicos realizados en la unidad para obtener estimaciones precisas del tiempo de uso de los equipos.

Los datos fueron registrados en Microsoft Excel® debido a su versatilidad y facilidad de procesamiento (ver Tabla 1). En esta base de datos se consolidaron principalmente los valores de horas de uso, mAs (miliamperios-segundo), kV (kilovoltios), mA (miliamperios), potencia eléctrica, y factor de carga, los cuales sirvieron de insumo para calcular el consumo eléctrico mensual en kilovatios-hora (kWh).

Tabla 1. Modelo de recolección y cálculo de datos

Equipo	Cantidad	Tiempo de Uso [h/día]	Estado de Uso	Factor de carga [%]
RX-cabeza	1	0,0122	Operación	1
RX-cuello	1	0,0034	Operación	1
RX-tórax	1	0,6015	Operación	1
RX-prom mss	1	0,0856	Operación	1
RX-cadera	1	0,1243	Operación	1
RX-huesos	1	0,0872	Operación	1
Equipo RX	1	23,0858	Stand By	1

Equipo	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Consumo Prom Energía	
				Wh/día	kWh/mes
RX-cabeza	57566,67	0,30	17270,00	210,44	6,31
RX-cuello	48000,00	0,04	1680,00	5,76	0,17
RX-tórax	61133,33	0,02	1222,67	735,42	22,06
RX-prom mss	44916,67	0,01	229,08	19,60	0,59
RX-cadera	57375,00	0,03	1606,50	199,67	5,99
RX-huesos	51296,88	0,01	512,97	44,76	1,34
Equipo RX	125000,00	0,50	110,00	2539,44	76,18

2.1.1 Clasificación de los equipos

Inicialmente, los equipos fueron clasificados de acuerdo con su función principal (angiografía, rayos X, tomografía axial computarizada (TAC), mamografía y Doppler). Sin embargo, también se consideró necesario realizar una clasificación basada en el tipo de examen médico realizado, dado que el consumo energético de los equipos depende directamente del área anatómica objeto de estudio (por ejemplo: cabeza, hombro, tórax, brazos o piernas).

Asimismo, se analizaron las condiciones de uso cuando los equipos están en operación y cuando no se utilizan, pero seguían encendidos (stand by) como se puede observar en la Tabla 1.

2.2 Emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) constituyen un indicador fundamental para evaluar el impacto ambiental derivado del consumo energético. Este parámetro se expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂ e).

Para la estimación del factor de emisión, se utilizaron los informes mensuales de “variables de generación y del mercado eléctrico colombiano”, publicados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), para el cálculo de la huella de carbono y de la energía primaria [9].

Las fórmulas utilizadas para determinar las emisiones se fundamentan en las directrices del Greenhouse Gas Protocol y en la norma ISO 14064-1:2006, adoptadas por diversas entidades del Distrito Capital para la cuantificación de gases de efecto invernadero [10].

A continuación, se presentan las ecuaciones aplicadas para el cálculo de las emisiones de CO₂, empleadas en el desarrollo de esta investigación.

2.2.1 Cálculo del factor de emisión

En la ecuación 1 se presenta como el factor de emisión, FE (en t CO₂/MWh), es el cociente entre la energía de fuente fósil, Eff (en ton CO₂/mes), y la energía eléctrica total Eet (en MWh/mes):

$$FE = \frac{Eff \left[\frac{tCO_2}{mes} \right]}{Eet \left[\frac{MWh}{mes} \right]} \quad (1)$$

2.2.2 Cálculo de las emisiones

Para determinar las emisiones de dióxido de carbono, Em CO₂ (t CO₂/mes), se emplea la ecuación 2 que es el producto del consumo energético, CE (en kWh/mes) con el factor de emisión.

$$EmCO_2 = CE \frac{kWh}{mes} \quad FE \quad \frac{tCO_2}{kWh} \quad (2)$$

2.3 Energía Primaria

Es aquella que se encuentra disponible de forma natural en el entorno, antes de ser transformada por procesos tecnológicos o industriales. Ejemplos de estas fuentes incluyen la radiación solar, los combustibles fósiles como el petróleo el carbón, el gas natural, y la biomasa, entre otros. Estas fuentes pueden ser transformadas para obtener otras formas de energía útiles, como ocurre en la combustión de la madera para obtener energía.

El cálculo de energía primaria es elemento de la gestión energética ambiental que permite conocer cuánta energía se extrae de la fuente.

2.3.1 Cálculo del factor de energía primaria

En el cálculo del factor de energía primaria, FEP (en TEP/kWh) empleando la ecuación 3 se hace la misma relación de la ecuación 1 pero con la energía total de fuentes fósiles, Eff pero en toneladas

equivalentes de petróleo (TEP) y la energía eléctrica total, pero en kWh; es decir que simplemente es una conversión del factor de emisión de t CO₂/MWh a TEP/kWh:

$$FEp = \frac{Ef[TEP]}{Eet[kWh]} \quad (3)$$

En donde, una tonelada equivalente petróleo equivale a 0,011631 kWh y un MWh a 1000 kWh.

2.3.2 Cálculo de la energía primaria

Finalmente, con la ecuación 4 que corresponde al producto entre el consumo energético y el factor de energía primaria, se puede encontrar la energía primaria, E_p (en TEP/mes):

$$Ep = CE \frac{[kWh]}{[mes]} FEp \frac{[TEP]}{[kWh]} \quad (4)$$

2.4 Pareto Energético

El Pareto energético se genera utilizando el resultado del consumo energético kWh, obtenido del perfil. Posteriormente estos datos son organizados de mayor a menor, de acuerdo a los datos calculados. Este proceso se hace con el fin de conocer donde se presentan los mayores usos y así generar propuestas de mejoramiento.

2.5 Evaluación económica

Para el análisis económico y energético se empleó el software RETScreen®, el cual fue desarrollado en Canadá para el análisis de los proyectos de energía limpia. Este programa, basado en la plataforma Microsoft Excel®, permite realizar estudios de viabilidad técnica y financiera de proyectos mediante herramientas como el Valor Anual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

2.6 Propuestas de mitigación por el uso de energía

Los resultados del análisis de Pareto energético permitieron identificar las áreas con mayor consumo de energía dentro del Hospital Universitario La Samaritana. Este diagnóstico facilitó escoger las propuestas para ser evaluadas con el software Retscreen® y de esta manera puedan ser implementadas a futuro.

3. Resultados

3.1 Consumo energético de luminarias

En la Figura 1 se presenta el perfil energético de las luminarias. de iluminación representa uno de los principales consumos eléctricos, especialmente en las zonas comunes y pasillos, donde se registra un consumo del 55,48% de la energía total. Este valor se explica por el alto flujo de personal —pacientes, técnicos, médicos y personal de apoyo— tanto en horario diurno como nocturno.

El área de Tomografía Axial Computarizada (TAC) contribuye con un 17% del consumo eléctrico asociado a luminarias, debido al uso constante del espacio y al funcionamiento continuo de los equipos durante todo el día.

En el área de angiografía, el uso de luminarias es del 11%, aunque solo se utiliza unas horas al día. Por la complejidad de los exámenes, requiere una cantidad de luxes en esta área, ya que en esta especialidad se realizan intervenciones de alta complejidad.

Las áreas administrativas solo consumen el 7% gracias a que operan pocas horas. En la zona de rayos X se consume el 3,3%. En el cuarto oscuro de rayos X, el uso de luminarias es bajo, estos procedimientos se realizan sin uso de luz.

Durante el desarrollo del estudio se identificó el uso de lámparas con tubos fluorescentes y bombillas incandescentes, tecnologías que, además de implicar un consumo energético elevado, representan un riesgo potencial para la salud. Estas lámparas contienen entre 5 hasta 25 mg de mercurio en su interior, el cual puede liberarse al ambiente en caso de ruptura, generando exposición tanto para los usuarios como para el personal hospitalario.

En las visitas de observación al Hospital se evidenció que todas las áreas cuentan con sistemas de accionamiento manual para el encendido y apagado de las luminarias. Además, la información del sistema eléctrico interno está desactualizada y no existe una cultura de uso de los recursos ambientales ni modernización de las instalaciones por ser patrimonio cultural.

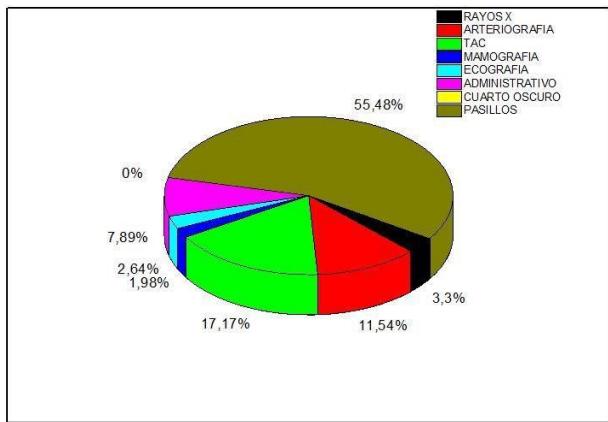


Figura 1. Perfil energético de las Luminarias kWh/mes

3.2 Consumo en las subáreas de imagenología

En la Figura 2 se presenta un panorama general de los consumos en todas las áreas. El área de Tomografía Axial Computarizada (TAC) consume 3.900 kWh/mes. Los equipos utilizados en esta

área deben reconstruir imágenes a partir de una gran cantidad de exámenes tomados al interior del cuerpo separado en cortes [10], por lo cual requiere una gran cantidad de energía. Por tanto, esta es el área de mayor uso debido a la UPS (ver la Figura 3) el cual es un equipo de uso constante, pues se requiere para la protección de altibajos eléctricos del sistema de otros procedimientos médicos y/o equipos de cómputo.

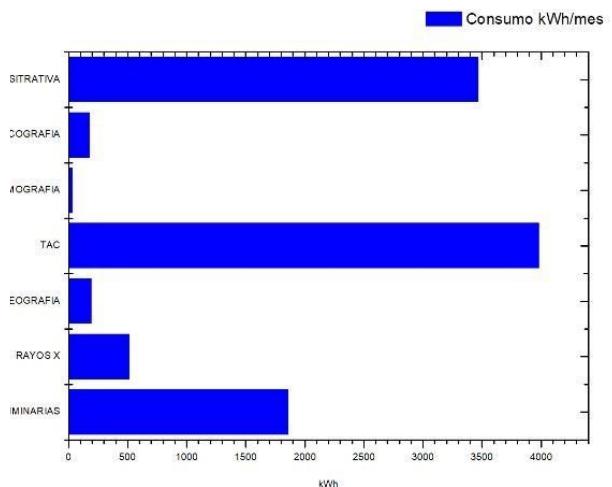


Figura 2. Consumo general imagenología H.U.S

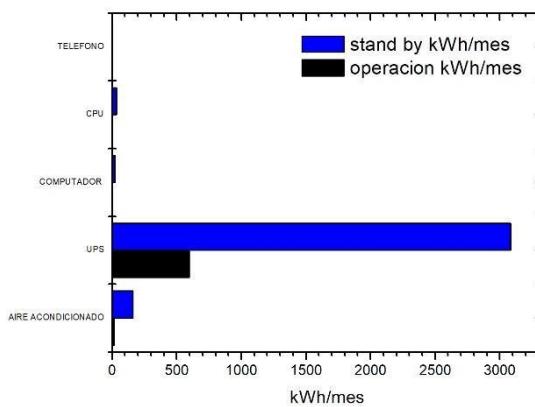


Figura 3. Consumo TAC

Los equipos ofimáticos de las áreas administrativas consumen un promedio de 3.400 kWh/mes. Dentro de estos equipos electrónicos, se encuentran computadores, teléfonos e impresoras los cuales tienen un alto consumo debido a los procedimientos y usos.

3.3 Emisiones CO₂ y energía primaria

Los resultados del análisis energético permitieron estimar las emisiones mensuales de dióxido de carbono (CO₂) y el consumo correspondiente de energía primaria en las diferentes subáreas del hospital. Se determinó que el área administrativa genera aproximadamente 70.000 CO₂ kWh/mes, mientras que la iluminación artificial produce alrededor de 60.000 CO₂ kWh/mes en iluminación artificial y la zona de Tomografía Axial Computarizada (TAC) 35.000 kWh/mes en la zona de TAC. Dado que la cantidad de energía consumida es proporcional a las emisiones generadas de CO₂, se puede determinar que las luminarias, el TAC y el área administrativa son las áreas de mayor impacto ambiental como se aprecia en la Figura 4.

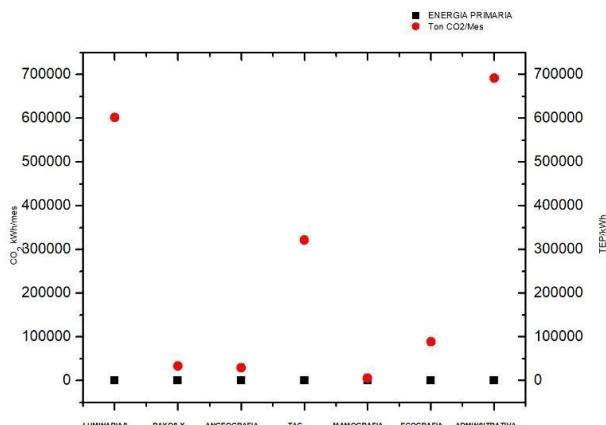


Figura 4. Energía primaria área imagenología y emisiones de CO₂ de carbono área imagenología.

Por otra parte, la energía primaria, constituye un indicador clave para evaluar el nivel de recursos naturales utilizados en la generación de energía eléctrica. Para poder obtenerla se aplicó la metodología descrita anteriormente, a diferencia de las emisiones de CO₂, los valores son bajos, por el orden de 0,01 TEP/kWh debido a que gran parte de la energía del país proviene de fuentes hidroeléctricas. Esto se traduce en niveles relativamente bajos de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI),

especialmente si se compara con países cuya generación eléctrica depende en mayor medida de combustibles fósiles como el carbón o el petróleo.

3.4 Pareto energético

El Pareto energético, presentado en la Figura 5, permite identificar las áreas con mayor consumo energético dentro de la Unidad de Imagenología del Hospital Universitario La Samaritana. El mayor consumo se presenta en el TAC con un 37,29%, seguido de las áreas administrativas como lo son la oficina de dirección, oficina de facturación, el cuarto de archivo y la secretaría, que representan un 32,98%.

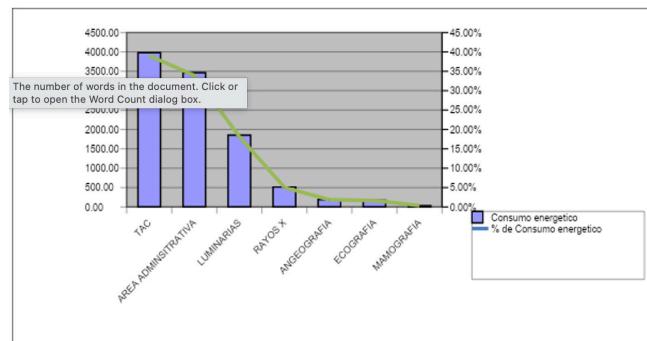


Figura 5. Pareto Energético

En los equipos como TAC, Angiografía, área convencional y mamografía se requiere realizar un plan de eficiencia energética, pero se debe realizar los protocolos médicos para estas áreas. En otros estudios, se han utilizado metodologías similares con el fin de determinar los mayores consumos, haciendo una clasificación adecuada [7], [11], lo que demuestra que, siguiendo este método, se obtuvieron bases para la elaboración de programas que busquen disminuir el consumo de energía eléctrica.

3.5 Propuestas

A partir del análisis energético realizado, se formularon una serie de propuestas orientadas a la reducción del consumo eléctrico y las emisiones de CO₂, priorizando la viabilidad

técnica y económica de las medidas a corto y mediano plazo.

El primer proyecto se enfoca en las luminarias siendo la tercera área de mayor consumo ya que es la de mayor viabilidad a corto plazo. Por tal motivo el trabajo planteó el cambio de luminarias de fluorescentes a LED en el área administrativa, ya que se reduce el consumo energético, disminuyendo a su vez emisiones de CO₂, proporcionando a su vez más luxes ya que la tecnología led proporciona más capacidad de iluminación.

El proyecto se enfoca en la segunda área de mayor consumo las áreas administrativas (oficinas de dirección, archivo y recepción y en los cuartos de control de rayos X y el TAC) donde se propone cambiar la iluminación en las áreas por tecnología led.

El segundo proyecto plantea la instalación de sensores de movimiento para los pasillos, es decir colocar sensores 180° pero teniendo el mismo tipo de iluminación fluorescente T8. Ya que en los pasillos es donde más se presenta consumo 342 kWh mes, por tanto, se propone colocar sensores que permitan minimizar el consumo y el impacto ambiental.

Los consumos energéticos en equipos como el TAC son altos representan el 37,29 %, pero por no tener protocolos médicos que sirvan de guía respecto al manejo, operación y características de estos elementos, es difícil plantear propuestas que busquen reducir el consumo de energía eléctrica. Por ello, requiere especialidad en física médica y electrónica.

Finalmente, se propone crear un sistema de gestión energética, fundamentado en las conclusiones y recomendaciones del presente estudio, pues para poder generar un sistema efectivo y eficiente, es necesario realizar una revisión de las características y necesidades de consumo

eléctrico, lo que conlleva a la implementación en cada área del H.U.S. logrando llevar a cabo la adopción de la Norma ISO 50001:2011.

La adopción de un sistema de gestión energética bajo esta norma genera una cultura institucional acerca de la responsabilidad que se tiene respecto al consumo de este recurso, fomentando la reducción de impactos ambientales generados desde diferentes ámbitos y áreas, desde el usuario, pasando a los médicos y enfermeros, llegando hasta el área de compras frente a la adquisición de tecnología más eficiente.

4. Conclusiones

La construcción y aplicación de la metodología propuesta permitió establecer las bases para el desarrollo de un sistema de gestión energético (SGE) en el Hospital Universitario La Samaritana. Este resultado evidencia la necesidad de contar con un estudio detallado del consumo energético, que sirva como línea base para la planificación, seguimiento y evaluación de acciones de eficiencia energética dentro de la institución.

Si bien en esta primera fase se formuló principalmente la planificación el sistema de gestión energética, lo que permitirá direccionar mediante la política establecida, las acciones y los requisitos para la mejora continua bajo los planes de eficiencia energética.

La aplicación del modelo metodológico, en el área de imagenología encontró que el hospital genera 1471 kg CO₂/kWh lo cual demuestra que hay un impacto al medio ambiente indirecto. El CO₂ es un gas de efecto invernadero, causante del cambio climático, por lo tanto, se debe tomar medidas para disminuir el aporte a las emisiones asociadas al uso de la energía eléctrica.

Igualmente se consume de fuente fósil en menor grado por el orden de las 243 TEP (toneladas

equivalente petróleo) de fuente fósil, causando impacto al ambiente ya que la extracción, transporte y su uso genera un impacto sobre los recursos naturales del y los ecosistemas.

En conclusión, la metodología desarrollada no solo permitió diagnosticar el comportamiento energético de la unidad hospitalaria, sino también proponer estrategias concretas para la optimización del consumo y la reducción del impacto ambiental, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 7: Energía asequible y no contaminante y el ODS 13: Acción por el clima.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Hospital Universitario la Samaritana, especialmente al área de Investigación Médica y a la Dra. Janeth Carrillo, Dra. Sandra Rocha, al Ing. Luis Castellanos, por su valioso apoyo, acompañamiento y disposición para el desarrollo de este proyecto.

Referencias

- [1] A. M. Álvarez, "Retos de América Latina: Agenda para el Desarrollo Sostenible y Negociaciones del siglo XXI," *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, vol. 47, núm. 186, pp. 9–30, jul.–sep. 2016. [En línea]. <http://probdes.iiec.unam.mx>
- [2] A. Chacón Páez, A. C. Pinzón Vargas y L. Ortegón Cortázar, "Alcance y gestión de la huella de carbono como elemento dinamizador del branding por parte de empresas que implementan estas prácticas ambientales en Colombia," *Estudios Gerenciales*, vol. 32, núm. 141, pp. 278–289, oct.–dic. 2016, doi: [10.1016/j.estger.2016.08.004](https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.08.004).
- [3] S. El Majaty, A. Touzani, and Y. Kasseh, "Results and perspectives of the application of an energy management system based on ISO 50001 in administrative buildings – case of Morocco," *Materials Today: Proceedings*, vol. 72, pp. 3233–3237, 2023, doi: [10.1016/j.mtpr.2022.07.094.2](https://doi.org/10.1016/j.mtpr.2022.07.094.2).
- [4] M. Dörr, S. Wahren y T. Bauernhansl, "Methodology for energy efficiency on process level," *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 652–657, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.048>.
- [5] D. P. Chavarry Galvez and S. Y. Revinova, "Energy transition as a path to sustainable development in Latin American countries," *Unconventional Resources*, vol. 6, p. 100157, feb. 2025, doi: [10.1016/j.uncres.2025.100157](https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100157)
- [6] C. Rodríguez, Propuesta para la implementación del sistema de paneles solares para reducir costos energéticos y contribuir al uso de energía renovable en la Corporación Autónoma Regional CORPONOR. Cúcuta, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander, 2019.
- [7] P. Irarrázaval, V. López, and M. Vivanco, "Hacia un sistema de salud sustentable en Chile: el papel de los hospitales verdes," *Revista Médica de Chile*, vol. 153, núm. 5, pp. 631–639, may 2025, doi: [10.4067/S0034-98872025000500631](https://doi.org/10.4067/S0034-98872025000500631).
- [8] J. Pascual-Prieto, C. Nieto-Gómez, y I. Rodríguez-Devesa, "La huella de carbono de la cirugía de catarata en España," *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, vol. 98, núm. 5, pp. 249–253, may 2023, doi: [10.1016/j.oftal.2023.01.009](https://doi.org/10.1016/j.oftal.2023.01.009).

- [9] Asociación de Empresarios del Henares (AEDHE), Guía práctica para la implantación de sistemas de gestión energética, Madrid, España: AEDHE, 2011.
- [10] M. Á. Rivas Ballarín, Fundamentos de física médica. Volumen 2: Radiodiagnóstico, bases físicas, equipos y control de calidad, Madrid, España: Editorial Médica Panamericana, 2012, pp. 161–176.