

# Gestión energética sostenible y su impacto en la huella de carbono: estudio de caso universitario

*Sustainable Energy Management and its Impact on Carbon Footprint: A University Case Study*

*Gestão energética sustentável e seu impacto na pegada de carbono: estudo de caso universitário*

JULIO CÉSAR FIGUEROA SANDREZ<sup>1</sup> 

*Universidad Metropolitana de Honduras, Tegucigalpa, Honduras*

## RESUMEN

El creciente desafío energético global ha motivado a las instituciones de educación superior a implementar estrategias orientadas a reducir su consumo eléctrico y su huella de carbono, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7 (energía asequible y no contaminante) y 13 (acción por el clima). En este marco, la Universidad Metropolitana de Honduras (UMH) desarrolló un programa integral de eficiencia energética en su campus Siguatepeque, combinando acciones tecnológicas, operativas y formativas con el propósito de optimizar el uso de la energía y promover una cultura institucional de sostenibilidad.

El proyecto incluyó la sustitución de luminarias obsoletas por tecnología LED, el mantenimiento preventivo de equipos de aire acondicionado, la modernización del equipamiento informático y la implementación de prácticas operativas dirigidas a reducir cargas innecesarias. Estas intervenciones se complementaron con actividades de sensibilización dirigidas al personal docente y administrativo, orientadas a fomentar el uso responsable de los recursos energéticos.

La evaluación del impacto se realizó mediante un diseño cuasi-experimental pretest–posttest sin grupo control, basado en datos reales de consumo eléctrico correspondientes a los años 2023 (periodo base) y 2024 (periodo de intervención). Los resultados evidencian una reducción del 13.2 % en el consumo anual de energía eléctrica, equivalente a un ahorro de 227 kWh. Este valor representa aproximadamente 48 días —seis semanas y seis días adicionales— en los que el campus habría permanecido sin consumo eléctrico si el total del ahorro se concentrara en un único periodo

<sup>1</sup> Julio César Figueroa Sandrez; Universidad Metropolitana de Honduras: Tegucigalpa, Honduras; Doctorando en Gestión Tecnológica, Universidad Politécnica de Madrid, España; Máster en Administración de Empresas, Instituto de Estudios Superiores de Monterrey, México; Ingeniero Electricista Industrial, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras; jfigueroa@unimetro.edu.hn.

continuo. Asimismo, el proyecto permitió evitar la emisión estimada de 0.139 tCO<sub>2</sub>, según el factor oficial de emisión de la red eléctrica hondureña.

Los hallazgos demuestran que incluso en campus universitarios de mediana escala y con recursos limitados es posible lograr mejoras sustantivas en sostenibilidad operativa. La experiencia constituye un modelo replicable para otras instituciones educativas del país interesadas en fortalecer su gestión energética.

**Palabras clave:** energía (Q40), ahorro (M290), universidad (I230), sostenibilidad (M290), huella de carbono (Q590).

## ABSTRACT

The growing global energy challenge has prompted higher education institutions to adopt strategies aimed at reducing electricity consumption and lowering their carbon footprint, in alignment with Sustainable Development Goals 7 (affordable and clean energy) and 13 (climate action). Within this framework, the Metropolitan University of Honduras (UMH) implemented a comprehensive energy-efficiency program at its Siguatepeque Campus, combining technological, operational, and educational actions with the purpose of optimizing energy use and fostering an institutional culture of sustainability.

The project included the replacement of outdated lighting systems with LED technology, preventive maintenance of air conditioning units, modernization of computer equipment, and the implementation of operational practices designed to reduce unnecessary electrical loads. These measures were complemented by awareness-building activities aimed at faculty and administrative personnel to promote responsible energy use.

The impact of the project was assessed through a quasi-experimental pretest–posttest design without a control group, using actual electricity consumption data from 2023 (baseline) and 2024 (intervention period). The results show a 13.2% reduction in annual electricity consumption, equivalent to an energy saving of 227 kWh. This reduction represents approximately 48 days—six weeks and six days—during which the campus would have remained without electricity use if the annual savings had been concentrated in a single continuous period. Additionally, the project prevented an estimated 0.139 tCO<sub>2</sub> in emissions, based on the official emission factor of the Honduran power grid.

These findings demonstrate that even medium-scale campuses with limited resources can achieve substantial improvements in operational sustainability. The experience constitutes a replicable model for other educational institutions in the country seeking to strengthen their energy management practices.

**Keywords:** energy efficiency (Q40), carbon footprint (Q590), sustainability (M290), university (I230), electricity use (M290).

## RESUMO

O crescente desafio energético mundial tem levado as instituições de ensino superior a adotar estratégias voltadas para a redução do consumo de eletricidade e da pegada de carbono, em alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 7 (energia acessível e limpa) e 13 (ação climática). Nesse contexto, a Universidade Metropolitana de Honduras (UMH) implementou um programa abrangente de eficiência energética em seu Campus de Siguatepeque, combinando ações tecnológicas, operacionais e formativas com o objetivo de otimizar o uso da energia e fortalecer uma cultura institucional de sustentabilidade.

O projeto incluiu a substituição de sistemas de iluminação obsoletos por tecnologia LED, a manutenção preventiva dos aparelhos de ar-condicionado, a modernização dos equipamentos de informática e a adoção de práticas operacionais destinadas a reduzir cargas elétricas desnecessárias. Essas intervenções foram complementadas por atividades de sensibilização direcionadas ao corpo docente e administrativo, promovendo o uso responsável dos recursos energéticos.

O impacto do projeto foi avaliado por meio de um delineamento quase experimental do tipo pré-teste–pós-teste, sem grupo de controle, utilizando dados reais de consumo elétrico referentes a 2023 (período base) e 2024 (período de intervenção). Os resultados evidenciam uma redução de 13,2% no consumo anual de eletricidade, equivalente a uma economia de 227 kWh. Esse valor corresponde a aproximadamente 48 dias — seis semanas e seis dias — em que o campus teria perma-

necido sem consumo elétrico caso toda a economia anual fosse concentrada em um único período contínuo. Além disso, o projeto evitou a emissão estimada de 0,139 tCO<sub>2</sub>, com base no fator oficial de emissão da rede elétrica hondurenha.

Os achados demonstram que, mesmo em campi de médio porte e com recursos limitados, é possível alcançar melhorias significativas em sustentabilidade operacional. A experiência constitui um modelo replicável para outras instituições educacionais do país interessadas em fortalecer sua gestão energética.

**Palavras-chave:** energía(Q40), economía (M290), universidade (I230), sustentabilidade (M290), pegada de carbono (Q590)

## 1. Introducción

La eficiencia energética se ha consolidado como una prioridad para las instituciones de educación superior debido al aumento de los costos operativos y a la necesidad de reducir la huella ambiental asociada a sus actividades. Organismos como la UNESCO y la Agencia Internacional de Energía destacan el papel estratégico de las universidades en la transición hacia sistemas energéticos sostenibles, al integrar tecnología, gestión institucional y formación ambiental en sus procesos (UNESCO, 2020; IEA, 2021). En este contexto, la mejora de la infraestructura, la modernización de equipos y la adopción de prácticas de uso racional de la energía representan oportunidades concretas para optimizar el consumo eléctrico, especialmente en países con limitaciones presupuestarias.

En Honduras, la situación energética nacional —caracterizada por tarifas elevadas, pérdidas técnicas y no técnicas significativas y una fuerte dependencia de generación térmica— refuerza la necesidad de implementar medidas institucionales orientadas a la eficiencia (Flores Barahona, 2019; SEN, 2020). Para las universidades, estos desafíos se traducen en una responsabilidad adicional: gestionar sus recursos energéticos de manera sostenible, adaptando soluciones técnicas y programas de concienciación acordes con sus condiciones operativas.

En este marco, la Universidad Metropolitana de Honduras (UMH) desarrolló un proyecto piloto de eficiencia energética en su campus de Siguatepeque, fundamentado en tres líneas de acción: la sustitución de luminarias convencionales por tecnología LED, la renovación de equipos informáticos en oficinas y laboratorios, y el mantenimiento preventivo de los sistemas de climatización. Estas intervenciones se complementaron con actividades de formación dirigidas al personal docente y administrativo, orientadas a fomentar una cultura de uso responsable de la energía. El proyecto buscó no solo reducir el consumo eléctrico institucional, sino también contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el ODS 7 y el ODS 13, los cuales promueven el acceso a energía asequible y la acción climática desde una perspectiva global de responsabilidad compartida (ONU, 2015).

El presente estudio documenta esta experiencia y analiza los resultados obtenidos mediante una comparación del consumo eléctrico entre 2023 y 2024, utilizando un diseño cuasi-experimental pretest–posttest sin grupo control. Los hallazgos permiten evaluar la efectividad de las medidas aplicadas y aportar evidencia útil para orientar futuras decisiones institucionales en materia de sostenibilidad energética.

## 2. Revisión de la literatura

### 2.1 Tendencias globales en eficiencia energética en instituciones educativas

A nivel internacional, las instituciones de educación superior se han consolidado como actores clave en la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles, debido a su rol en la gestión de sus campus y en la formación de profesionales capaces de liderar procesos de sostenibilidad (UNESCO, 2020; IEASEN, 2023).

Las tendencias globales apuntan hacia **intervenciones tecnológicas y operativas** que reduzcan el consumo energético sin afectar la calidad de los servicios institucionales, tales como la sustitución de luminarias por sistemas LED, la mejora de los equipos de climatización y la implementación de plataformas de monitoreo en tiempo real. Estas acciones pueden reducir entre un 10 % y un 25 % el consumo anual de electricidad, dependiendo de las condiciones del campus (Stough & Cappuyns, 2018; Želienė & Pereira, 2021; Halmaghi et al., 2023).

Asimismo, la efectividad de los programas de eficiencia energética depende de la capacidad institucional para articular políticas internas, involucrar a los grupos de interés y promover comportamientos sostenibles (Garrido-Ysera & Gallo-Rivera, 2020; Barnett-Itzhaki et al., 2025). Los campus sostenibles se conciben como espacios donde convergen innovación, gobernanza ambiental y participación comunitaria, consolidando una cultura de sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, los proyectos que combinan modernización tecnológica **con estrategias de sensibilización** presentan los mayores impactos, incluso en instituciones con recursos limitados, reforzando que la eficiencia energética es alcanzable en **contextos presupuestarios restringidos**.

### 2.2 Evidencia regional en América Latina

En América Latina, las universidades han enfrentado desafíos relacionados con el crecimiento de la infraestructura, la masificación estudiantil y limitaciones presupuestarias para invertir en tecnologías más eficientes (CEPAL, 2022). Estas condiciones han impulsado la adopción gradual de acciones de eficiencia energética orientadas a reducir costos operativos sin comprometer la prestación de servicios académicos.

En el caso de Honduras, el aumento de la demanda eléctrica y la dependencia de fuentes fósiles incrementan la vulnerabilidad económica e institucional frente a los cambios en las tarifas y las fluctuaciones del mercado energético (Morett Sánchez, 2021). Esto ha motivado una búsqueda más activa de alternativas que permitan optimizar el consumo de energía en el sector educativo.

En este contexto, las instituciones de educación superior han comenzado a implementar medidas orientadas a la modernización tecnológica, el mantenimiento preventivo y la sensibilización del personal académico y administrativo, aunque aún se requiere mayor articulación institucional para garantizar resultados sostenibles a largo plazo (Villavicencio Mera et al., 2024; Morales Tobar, 2022).

Así, el caso de la Universidad Metropolitana de Honduras (UMH) se enmarca en una tendencia regional en la que las universidades buscan mejorar su desempeño energético y reducir sus costos operativos mediante intervenciones progresivas que priorizan eficiencia y sostenibilidad.

## 2.3 Evidencia nacional y contexto energético de Honduras

La literatura hondureña evidencia que los desafíos energéticos del país influyen directamente en el desempeño operativo de instituciones educativas y en su capacidad para adoptar prácticas de eficiencia energética. Honduras presenta tarifas eléctricas elevadas, pérdidas técnicas y no técnicas que superan el 30 %, y una fuerte dependencia de la generación térmica, la cual representa cerca del 49 % de la matriz nacional (Flores Barahona, 2019; SEN, 2020; ENEE, 2023). Estas condiciones incrementan los costos institucionales y limitan la viabilidad de inversiones en infraestructura más eficiente, lo que hace necesario priorizar estrategias de bajo costo y alto impacto.

En este marco, diversos estudios nacionales han analizado los factores que afectan la sostenibilidad del sistema eléctrico. Aguirre Moreno (2024) demostró que la logística del servicio energético —incluyendo el mantenimiento, la continuidad del suministro y la gestión de pérdidas dentro del Programa Nacional para la Reducción de Pérdidas (PNRP)— tiene un impacto directo en la rentabilidad de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). La investigación subraya que el fortalecimiento de estos procesos es indispensable para mejorar la estabilidad del sector y, por extensión, para facilitar la adopción de medidas de eficiencia en instituciones usuarias.

Complementariamente, Argueta Murillo y Núñez Barahona (2024) evidencian que la ENEE enfrenta una cartera morosa superior a los 17 mil millones de lempiras, agravada por fallas estructurales en medición, facturación y depuración de cuentas. Estas ineficiencias afectan la sostenibilidad financiera del sector eléctrico hondureño y generan un entorno

operativo complejo para instituciones educativas que dependen de un suministro confiable y asequible.

La evidencia nacional también destaca la utilidad de herramientas técnicas para evaluar el impacto ambiental del consumo energético. En particular, el uso de factores de conversión como los propuestos por GIZ (2012) permite estimar emisiones asociadas a la generación eléctrica y facilita la medición de la huella de carbono institucional, aspecto relevante para universidades interesadas en gestionar su sostenibilidad de manera integral.

En conjunto, la literatura hondureña muestra un panorama energético desafiante, pero también revela oportunidades para avanzar hacia una gestión más eficiente mediante intervenciones progresivas, diagnósticos técnicos y fortalecimiento institucional. Este contexto justifica la pertinencia de proyectos universitarios orientados a reducir el consumo eléctrico y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente aquellos relacionados con energía asequible y acción climática, alineándose con los lineamientos establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015).

## 2.4 Bases conceptuales para medir el impacto energético y emisiones

La medición del impacto energético y ambiental en instituciones de educación superior requiere herramientas conceptuales y metodológicas que permitan interpretar el consumo eléctrico en indicadores comparables y útiles para la gestión institucional. En este ámbito, la literatura señala que los modelos de auditoría energética constituyen un instrumento central para evaluar el desempeño de equipos, áreas y patrones de uso, especialmente en entornos

donde no existen sistemas avanzados de monitoreo en tiempo real (Acosta et al., 2022). Estos modelos facilitan la identificación de pérdidas, la detección de sobreconsumos y la estimación del potencial de ahorro, sirviendo como base para diseñar intervenciones de mejora. Además, Galindo (2023) señala que las instituciones enfrentan desafíos crecientes para integrar criterios de sostenibilidad en sus sistemas energéticos debido a limitaciones técnicas y presupuestarias.

Un elemento clave para vincular el consumo energético con el impacto ambiental es el uso de factores de emisión, que permiten convertir los kilovatios-hora consumidos en toneladas de dióxido de carbono ( $tCO_2$ ). En el contexto hondureño, los factores propuestos por GIZ (2012) son ampliamente utilizados debido a su respaldo técnico y a su aplicabilidad en sistemas eléctricos con elevada proporción térmica. El uso de estos factores posibilita que las instituciones cuantifiquen la huella de carbono asociada a su consumo eléctrico, facilitando el seguimiento de metas de sostenibilidad y la comunicación de resultados a actores internos y externos. De manera complementaria, IRENA (2024) enfatiza que la integración de energías renovables en campus universitarios requiere marcos institucionales que articulen infraestructura, financiamiento y capacitación técnica.

El análisis de emisiones también puede complementarse con herramientas de cálculo y modelos adaptativos desarrollados en investigaciones internacionales. Valls-Val y Bovea (2022) proponen metodologías para evaluar la huella de carbono universitaria mediante modelos estandarizados que integran consumo eléctrico, movilidad y gestión de residuos, lo que permite obtener diagnósticos integrales y comparables, útiles para procesos de acreditación ambiental y para la planificación estratégica

de sostenibilidad. Una revisión reciente sobre sistemas energéticamente eficientes y renovables en instalaciones de educación superior destaca, además, que la eficiencia energética debe articularse con la transición hacia fuentes más limpias, de manera que la reducción de la demanda se complemente con cambios en la matriz de generación (Almasri, Abu-Hamdeh, & Al-Tamimi, 2024).

Asimismo, estudios recientes han incorporado elementos de eficiencia operativa y confort térmico como variables esenciales para entender el impacto energético en edificios educativos (Guzmán-Gerón et al., 2024). Al relacionar demanda energética con condiciones de habitabilidad, estos modelos muestran que las estrategias de confort adaptativo pueden reducir la necesidad de climatización mecánica, disminuyendo tanto el consumo como las emisiones asociadas.

En conjunto, las bases conceptuales revisadas permiten comprender de manera integral cómo los consumos eléctricos se traducen en impactos ambientales y cómo estos pueden ser medidos, comparados y gestionados. La aplicación de estos modelos es fundamental para que las instituciones puedan alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible —especialmente el ODS 7 y el ODS 13—, los cuales promueven el acceso a energía asequible y la acción climática desde una perspectiva de responsabilidad institucional (ONU, 2015).

## 2.5 Justificación del enfoque universitario

Las universidades ocupan un lugar estratégico en la transición energética debido a su capacidad para integrar innovación tecnológica, formación académica y gestión institucional en un mismo espacio. La literatura regional e internacional reconoce

que los campus universitarios funcionan como modelos de sostenibilidad capaces de influir tanto en sus comunidades internas como en el entorno social que los rodea (Ovallos-Gazabón et al., 2022; Bonilla et al., 2024). Desde esta perspectiva, las instituciones de educación superior no solo consumen energía, sino que generan conocimiento, adoptan prácticas demostrativas y contribuyen activamente a la transformación de los sistemas energéticos.

La incorporación de tecnologías digitales y herramientas de automatización ha ampliado las posibilidades de gestión inteligente en los campus. Investigaciones recientes evidencian que el uso de sistemas basados en inteligencia artificial e Internet de las Cosas puede mejorar la eficiencia operativa en áreas tan diversas como la climatización, la iluminación o incluso la gestión de residuos, fortaleciendo los compromisos institucionales con la sostenibilidad (Tran et al., 2020). Por su parte, estudios comparativos en universidades asiáticas y latinoamericanas muestran que la integración de mejoras técnicas con cambios de comportamiento, políticas internas y formación continua genera impactos sostenibles incluso en instituciones con recursos limitados (Anh Khoa et al., 2020; Sepúlveda, 2025).

Este enfoque integral se alinea con la visión promovida por organismos internacionales, que subrayan el papel de la educación superior en la acción climática y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (acción por el clima). La adopción de estrategias de eficiencia energética en los campus constituye, por tanto, una vía concreta para contribuir a estos compromisos globales desde la gestión universitaria (ONU, 2015).

En este contexto, la intervención implementada en el Campus Siguatepeque

de la Universidad Metropolitana de Honduras (UMH) se justifica plenamente. Su diseño combina modernización tecnológica, gestión operativa y fortalecimiento de la cultura organizacional, elementos que la literatura identifica como esenciales para lograr reducciones sostenibles en consumo energético. Además, genera evidencia útil para la formulación de políticas internas y para el desarrollo de modelos replicables en otras instituciones educativas del país, particularmente aquellas que enfrentan limitaciones presupuestarias y condiciones operativas similares.

### 3. Metodología

#### 3.1 Diseño de investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo orientado a medir de manera objetiva los cambios en el consumo eléctrico del campus Siguatepeque de la Universidad Metropolitana de Honduras (UMH) antes y después de la implementación del proyecto de eficiencia energética. Este enfoque permite analizar variaciones reales en el comportamiento del sistema eléctrico institucional y establecer relaciones directas entre las intervenciones ejecutadas y los resultados obtenidos.

El diseño metodológico adoptado fue cuasi-experimental, específicamente un modelo pretest–posttest sin grupo control, ampliamente utilizado en investigaciones aplicadas donde no es posible conformar grupos aleatorizados debido a limitaciones operativas, éticas o de disponibilidad de infraestructura (Hernández, Castro & Mora, 2017). La ausencia de un grupo control se justifica porque el proyecto debía implementarse de manera institucional y no era viable mantener áreas del campus sin intervención solo para fines comparativos. Este tipo de diseño resulta adecuado para evaluar intervenciones reales en contextos educativos,

donde la prioridad es medir el impacto sobre un sistema en operación continua.

Bajo este esquema, se compararon los valores de consumo energético del año 2023 —considerado línea base— con los registros del año 2024, periodo en el que se aplicaron las mejoras tecnológicas y operativas. El diseño permite identificar variaciones atribuibles a la intervención, manteniendo constante el patrón de uso académico y administrativo del campus. Asimismo, la medición directa mediante datos de facturación oficial garantiza la validez del registro, evitando sesgos de estimación.

Las mejoras tecnológicas implementadas (sustitución de luminarias, mantenimiento preventivo de climatización y renovación de equipamiento informático) no formaron parte de un presupuesto asignado al proyecto, sino que respondieron a procesos institucionales paralelos. Estos componentes han sido identificados como de alto impacto en la eficiencia energética universitaria (Hernández & Medina, 2022). En consecuencia, los beneficios obtenidos representan un rendimiento económico neto para la universidad, al no haberse incurrido en inversión directa asociada a la intervención.

### 3.2 Procedimientos e instrumentos

La recolección de datos se realizó mediante un procedimiento sistemático que permitió vincular cada acción ejecutada con su correspondiente registro técnico y energético. El proceso inició con la recopilación mensual de las lecturas oficiales del medidor eléctrico del Campus Siguatepeque, proporcionadas por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Estas lecturas constituyen el insumo principal para el análisis comparativo entre los períodos 2023 (preintervención) y 2024 (postintervención), garantizando la validez de los datos utilizados.

De manera complementaria, se elaboró un inventario técnico detallado de los equipos intervenidos, incluyendo luminarias, unidades de climatización, computadoras administrativas, equipamiento de laboratorio y dispositivos de uso operativo. Este inventario permitió registrar el estado inicial de los activos y su condición posterior a las mejoras implementadas, asegurando la trazabilidad técnica del proyecto. Diversas investigaciones resaltan que la trazabilidad es un elemento clave en iniciativas de eficiencia energética en instituciones educativas, ya que permite verificar coherencia entre los procedimientos ejecutados, los consumos observados y los resultados obtenidos (Barrios, 2021).

Asimismo, el proceso incorporó registros fotográficos, informes de avances y validación cruzada con el personal administrativo y de mantenimiento, siguiendo recomendaciones metodológicas para proyectos energéticos en entornos universitarios (Cano & Peña, 2018). Estos elementos permitieron documentar las intervenciones en tiempo real, identificar posibles incidencias técnicas y fortalecer la consistencia del registro de datos.

Para el análisis de la información, los consumos mensuales se organizaron en hojas de cálculo, estructurando variaciones absolutas, porcentuales y patrones de comportamiento del campus. Este procedimiento metodológico se alinea con prácticas reportadas por instituciones que han implementado programas internos de monitoreo energético, donde la sistematización de datos en plataformas digitales facilita la comparación interanual y la toma de decisiones operativas (IUDigital, 2023).

En conjunto, los procedimientos e instrumentos empleados garantizaron la calidad, fiabilidad y coherencia del

registro estadístico, permitiendo establecer una relación directa entre las acciones implementadas y los cambios observados en el consumo eléctrico del campus.

### 3.3 Criterios de análisis

El análisis de los datos se realizó mediante un enfoque descriptivo-comparativo orientado a identificar cambios en el comportamiento energético del campus antes y después de la intervención. Para ello, se organizaron los consumos mensuales del período 2023 y 2024 en hojas de cálculo para calcular variaciones absolutas (kWh) y porcentuales, así como visualizar tendencias interanuales, siguiendo lineamientos metodológicos ampliamente aceptados para evaluar intervenciones operativas en instituciones educativas (Valenzuela & Cárdenas, 2019; Martínez et al., 2021). Como criterio de consistencia, se verificó que las actividades académicas y administrativas se mantuvieran estables durante ambos períodos, evitando sesgos asociados a variaciones en la carga instalada o incidencias externas como cortes de energía, con el fin de asegurar la fiabilidad del conjunto de datos analizado (Cano & Peña, 2018).

El procesamiento estadístico incluyó la comparación directa entre los consumos totales anuales, el cálculo del porcentaje de reducción y la estimación del ahorro atribuible a las mejoras implementadas, criterios utilizados en modelos internos de monitoreo energético universitario (IUDigital, 2023). Para sustentar la significancia del cambio observado, se aplicó una prueba t de Student para muestras relacionadas, adecuada para diseños pretest-posttest y series mensuales emparejadas, con un nivel de confianza del 95 % y verificación previa de la normalidad de las diferencias. Asimismo, se estimó el tamaño del efecto mediante el coeficiente d de Cohen para valorar la magnitud real de

la variación anual. Los resultados mostraron una diferencia estadísticamente significativa entre ambos años,  $t(11) = -3.31$ ,  $p = .0069$ , con un tamaño del efecto grande ( $d = -0.96$ ), lo que confirma que la reducción energética no responde al azar ni a fluctuaciones estacionales. Finalmente, se aplicó el factor de emisión recomendado para Honduras con el fin de convertir el consumo eléctrico en emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>), alineando el análisis energético con prácticas internacionales de medición institucional de huella de carbono (GIZ, 2012).

## 4. Análisis de resultados

El análisis comparativo entre los consumos eléctricos del campus para los años 2023 y 2024 muestra una reducción significativa tras la implementación del proyecto de eficiencia energética. Durante el período base (2023), el consumo anual registrado fue de 1,720 kWh, mientras que en el año 2024 se contabilizaron 1493 kWh, lo que representa una disminución absoluta de 227 kWh y una reducción relativa del 13.2 %. Esta variación confirma la efectividad de las intervenciones y representa un ahorro anual cercano a L. 1,454, considerando la tarifa eléctrica vigente (L. 6.4031/kWh), con retorno inmediato al no haberse asignado inversión propia a las mejoras ejecutadas.

La magnitud del ahorro puede expresarse mediante un indicador de equivalencia temporal, que facilita su interpretación operativa. Con base en el promedio de consumo mensual del período analizado, los 227 kWh ahorrados corresponden aproximadamente a 48 días, equivalentes a seis semanas y seis días en los que el campus habría permanecido sin consumo eléctrico si dicho ahorro se concentrara en un período continuo. Este resultado permite visualizar de manera clara la relevancia del impacto

obtenido a partir de intervenciones de bajo costo y alta aplicabilidad.

Asimismo, al aplicar el factor de emisión sugerido para el sistema eléctrico hondureño (GIZ, 2012), el ahorro energético alcanzado equivale a evitar la emisión aproximada de 0.139 toneladas de dióxido de carbono ( $tCO_2$ ). Este indicador complementa el análisis energético con un enfoque ambiental, demostrando que la reducción del consumo eléctrico del campus no solo implica una mejora operativa, sino también una contribución directa a la disminución de su huella de carbono institucional.

Estos resultados evidencian que la combinación de medidas técnicas y operativas implementadas durante el año 2024 permitió alcanzar mejoras energéticas tangibles, medibles y sostenibles, confirmando la pertinencia del proyecto para fortalecer la gestión energética universitaria.

## 5. Discusión

Los resultados obtenidos confirman que intervenciones técnicas de bajo costo pueden generar mejoras energéticas significativas en instituciones de educación superior. La reducción del 13.2 % en el consumo anual evidencia que la sustitución de luminarias, el mantenimiento de los sistemas de climatización y la renovación del equipamiento informático constituyen medidas efectivas y compatibles con estudios que destacan la eficiencia de mejoras operativas en entornos universitarios (Stough & Cappuyns, 2018; Osorio et al., 2022). Estos hallazgos también se alinean con la literatura que enfatiza la importancia de la sostenibilidad organizacional en el uso eficiente de recursos institucionales (da Cunha Moraes et al., 2025) y con investigaciones que recomiendan traducir los ahorros energéticos en indicadores fácilmente interpretables para la gestión universitaria (Valls-Val & Bovea, 2022).

La reducción estimada de 0.139  $tCO_2$  refuerza la contribución ambiental del proyecto y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 y el ODS 13, que llaman a fortalecer la eficiencia energética y la acción climática en todos los sectores (ONU, 2015). Estos resultados validan el papel de las universidades como actores estratégicos en la transición hacia modelos de operación más sostenibles, actuando como laboratorios vivos donde se integran innovación tecnológica, gestión institucional y prácticas formativas (Ovallos-Gazabón et al., 2022; Bonilla et al., 2024) y se corresponden con diagnósticos recientes que subrayan la importancia de planificar y monitorear el consumo energético a nivel institucional para optimizar la gestión de la demanda eléctrica (Laporte Ribera, 2025).

Asimismo, la experiencia demuestra que es posible alcanzar mejoras sustantivas en contextos con restricciones presupuestarias, especialmente cuando los ahorros energéticos se traducen en impactos económicos directos para la gestión universitaria. Esto coincide con estudios latinoamericanos que señalan que la modernización progresiva, la planificación técnica y el seguimiento sistemático de los indicadores pueden generar avances relevantes sin requerir grandes inversiones (Acosta Fontalvo et al., 2022; Guzmán-Gerón et al., 2024). En conjunto, los hallazgos ofrecen evidencia de que acciones escalonadas, acompañadas de mecanismos de documentación y trazabilidad, constituyen una vía efectiva para mejorar el desempeño energético institucional y sustentar la formulación de políticas internas de eficiencia energética en universidades con condiciones similares.

En síntesis, los resultados demuestran que la eficiencia energética es viable en instituciones con recursos limitados cuando se integran acciones técnicas y gestión

operativa. Este proyecto piloto en la UMH constituye la base para formalizar políticas institucionales de sostenibilidad, reforzando su aporte como referente para el contexto universitario hondureño y regional.

## 6. Conclusiones, limitaciones e implicancias

### 6.1 Conclusiones

Los resultados del estudio demuestran que intervenciones técnicas y operativas de bajo costo pueden generar mejoras energéticas significativas en instituciones de educación superior. La reducción del 13.2 % del consumo anual y la disminución estimada de 0.139 tCO<sub>2</sub> confirman que acciones como la sustitución de luminarias, el mantenimiento de sistemas de climatización y la renovación de equipos informáticos constituyen estrategias efectivas para optimizar el uso de la energía en entornos académicos. Estos hallazgos reafirman que la eficiencia energética puede obtenerse mediante la modernización progresiva de activos existentes y la toma de decisiones basada en datos.

Asimismo, la experiencia del Campus Siguatepeque evidencia que las universidades pueden desempeñar un papel activo en la transición hacia modelos de gestión más sostenibles, en coherencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 y el ODS 13 (ONU, 2015). Incluso en contextos con restricciones presupuestarias, los resultados alcanzados demuestran que es posible impulsar mejoras sustantivas mediante planificación, seguimiento técnico y acciones escalonadas, ofreciendo un modelo replicable para instituciones con condiciones similares.

### 6.2 Limitaciones del estudio

El estudio presenta limitaciones propias de un diseño cuasi-experimental sin

grupo de control, lo cual restringe la capacidad de atribuir causalidad absoluta a las intervenciones realizadas. Aunque se mantuvieron condiciones operativas similares durante ambos períodos, es posible que factores externos —como variaciones climáticas menores, ajustes administrativos o fluctuaciones en el patrón de uso de ciertos espacios— hayan influido parcialmente en los consumos registrados. Asimismo, el análisis se basó exclusivamente en los datos oficiales de facturación eléctrica y en la trazabilidad técnica documentada, sin incorporar mediciones instrumentales de carga por circuito o monitoreo en tiempo real. Finalmente, los resultados reflejan la experiencia de un único campus universitario, por lo que su generalización debe considerarse con cautela y siempre contextualizada a las condiciones técnicas y operativas de cada institución.

### 6.3 Implicancias

Los resultados del estudio evidencian que aun con recursos limitados es posible lograr mejoras significativas en el desempeño energético institucional, lo que señala la necesidad de fortalecer programas permanentes de mantenimiento, actualización tecnológica y monitoreo operativo en la Universidad Metropolitana de Honduras. Se recomienda institucionalizar prácticas de registro sistemático de consumos, integrar indicadores energéticos en los procesos de gestión administrativa y promover la adopción progresiva de tecnologías eficientes en las distintas unidades del campus. Además, la experiencia generada constituye una base útil para desarrollar futuras investigaciones que incorporen mediciones más detalladas, análisis por circuito o evaluaciones de comportamiento energético en tiempo real. Finalmente, los resultados obtenidos pueden servir como referencia para otras

instituciones educativas del país interesadas en implementar intervenciones de bajo costo orientadas a reducir su consumo eléctrico y su huella de carbono, contribuyendo así a una cultura universitaria más sostenible.

## Referencias

- Acosta Fontalvo, L., Martínez-Marín, S., Jiménez-Barros, M., Parra-Negrete, K., Cortabarria-Castañeda, L., & Ovallos-Gazabon, D. (2022). Modeling energy-efficient policies in educational buildings – A literature review. *Procedia Computer Science*, 198, 608–613. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.294>
- Aguirre Moreno, G. O. (2024). Influencia de la logística del servicio energético en la rentabilidad financiera de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica a través del Programa Nacional para la Reducción de Pérdidas de la ENEE, ciudad de San Pedro Sula, I semestre 2023 [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Honduras]. ResearchGate. <https://qrcd.org/9UX5>
- Almasri, R. A., Abu-Hamdeh, N. H., & Al-Tamimi, N. (2024). A state-of-the-art review of energy-efficient and renewable energy systems in higher education facilities. *Frontiers in Energy Research*, 11, Article 1344216. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1344216>
- Andrade, J., & García, P. (2020). La gestión energética en instituciones educativas: Una mirada desde la sostenibilidad organizacional. *Revista Latinoamericana de Educación Ambiental*, 40(1), 56–72. <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481554853012.pdf>
- Argueta Murillo, D. R., & Núñez Barahona, L. F. (2024). Análisis de la gestión comercial de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE): Soluciones propuestas (Tesis de maestría). Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC). <https://repositorio.unitec.edu/items/5fbcbaa6-8df4-4684-a405-0bb9a2c077cf>
- Arróliga Galeano, S. E., & Betanco, J. A. (2021). Eficiencia energética: una tarea para las universidades. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 10 (Edición especial), 166–177. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i0.11617>
- Barnett-Itzhaki, Z., Tieret, S., Berkowic, D., Ariviv, T., Daya, A., Carasso Romano, G. H., & Levi, A. (2025). Strategies and challenges for green campuses. *Frontiers in Sustainable Cities*, 7, 1469274. <https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1469274>
- Barrios, F. (2021). Gestión eficiente de la energía eléctrica: Aplicaciones en la educación técnica. Editorial Energía y Sociedad.
- Bonilla, M. L., Montalbán Pozas, M. B., & Lorenzo Gallardo, J. M. (2024, abril). Estrategias de comunicación con usuarios para mejorar la eficiencia energética, la calidad del aire y el confort higrotérmico en sus viviendas. En Consejo General de la Arquitectura Técnica de España (Ed.), *CONTART Ibiza 2024. Convención Internacional de la Arquitectura Técnica. CGATE*. <https://www.riarte.es/handle/20.500.12251/3480?show=full>
- Cano, D., y Peña, M. (2018). Evaluación de indicadores de consumo energético en universidades públicas. *Revista de Ingeniería Energética*, 24(2), 33–45.
- Carrera-León, P. A. (2021). La innovación educativa en los centros educativos. *Polo del Conocimiento*, 6(6), 695–712. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2780>
- Chamorro, C. (2023). Sostenibilidad y gestión educativa: Implementación de prácticas ecoamigables en la administración de campus universitarios. *Revista Política y Ciencias Administrativas*, 2(2), 62-74. <https://doi.org/10.62465/rpca.v2n2.2023.64>

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). Políticas energéticas sostenibles en educación superior. <https://www.cepal.org/es/publicaciones>
- Cooperación Técnica Alemana en Honduras (GIZ). (2022). Termo solar: Proyecto de gestión de energía sostenible en Honduras. Tegucigalpa, Honduras: Cooperación alemana (GIZ), Programa de Energía Renovable y Eficiencia Energética.
- Córdova Gutiérrez, C. A. (2024). Energías renovables en educación: Conciencia ambiental, tecnología y políticas públicas. *Horizon International Journal*, 2(1), 40–53. <https://doi.org/10.63380/hij.v2n1.2024.45>
- Cruz, M., y Herrera, D. (2023). Liderazgo y sostenibilidad energética en entornos académicos. *Revista Latinoamericana de Gestión Educativa*, 19(1), 39–54.
- da Cunha Moraes, T. E., Ferasso, M., & Alves Teixeira, A. (2025). Complejidad económica y la Economía Circular: impactos, desafíos y caminos hacia la circularidad. *Journal of Management & Business Studies*, 7(1), 1–18. <https://doi.org/10.32457/jmabs.v7i1.3041>
- Flores Barahona, M. A. (2019). Eficiencia e intensidad energética en Honduras, subsector eléctrico: Antecedentes y situación actual. *TRIM: Revista de Investigación Multidisciplinaria*, 17, 93–109. <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.93-109>
- Galindo, L. M., Urtecho, G., & Sánchez, S. (2023). Política fiscal y endeudamiento público en la transición hacia la neutralidad del carbono: El caso de Honduras (Red Sur – Documento de Trabajo N.º 6/2023). Red Sudamericana de Economía Aplicada.
- Garrido-Yserete, R., & Gallo-Rivera, M.-T. (2020). The potential role of stakeholders in the energy efficiency of higher education institutions. *Sustainability*, 12(21), Article 8908. <https://doi.org/10.3390/su12218908>
- González, H., y Rivas, C. (2019). Prácticas sostenibles en instituciones de educación superior. *Revista Iberoamericana de Sostenibilidad Educativa*, 5(1), 18–29.
- Guzmán-Gerón, S., Roa-Díaz, J., Sandoval-Herazo, L. C., Carreto-Hernández, L. G., Francisco-Hernández, A., & Báez-García, W. G. (2024). Análisis comparativo de modelos adaptativos para evaluar el confort térmico y la eficiencia energética de oficinas en un clima tropical de Misantla, Veracruz. *Revista Multidisciplinaria de Ciencia, Innovación y Desarrollo*, 3(2), 23–30. <https://qrcd.org/9UXD>
- Halmaghi, E.-E., Ranf, D.-E., & Badea, D. (2023). Interdisciplinary exploration between organizational culture and sustainable development management applied to the Romanian higher education environment. *Sustainability*, 15(13), Article 10688. <https://doi.org/10.3390/su151310688>
- Hernández, L., Castro, R., & Mora, J. (2017). Nuevas estrategias para un plan de uso eficiente de la energía eléctrica. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 28(54), 75–99. <https://qrcd.org/9UXG>
- Hernández, R., y Medina, T. (2022). Buenas prácticas de eficiencia energética en universidades centroamericanas. *Revista de Tecnología y Sociedad*, 9(1), 15–33.
- Institución Universitaria Digital de Antioquia (IUDigital) (2023). Plan de Eficiencia Energética 2023. Recuperado el 15 de enero de 2025, de <https://qrcd.org/9UXL>
- Instituto de Estadística y Análisis del Sector Energético Nacional (IEASEN). (2023). Boletín estadístico energético de Honduras 2023–2024. Tegucigalpa, Honduras: Secretaría de Energía.

- International Energy Agency. (2021). World Energy Outlook 2021. IEA. <https://qrccd.org/9UXN>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). Renewable Energy in Higher Education: Global Trends and Local Insights. <https://qrccd.org/9UXO>
- Khoa, T. A., Phuc, C. H., Lam, P. D., Nhu, L. M. B., Trong, N. M., Phuong, N. T. H., Dung, N. V., Tan-Y, N., Nguyen, H. N., & Duc, D. N. M. (2020). Waste management system using IoT-based machine learning in university. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, Article 6138637. <https://doi.org/10.1155/2020/6138637>
- Ladeuth, Y. M., López, D. D., & Socarrás, C. A. (2021). Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la planificación de un sistema de gestión y norma técnica de calidad ISO 50001:2011. *Información Tecnológica*, 32(1), 101–112. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100101>
- Laporte Ribera, J. P. (2025). Demanda energética en la educación superior: un análisis integral del consumo de energía en universidades (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/172429>
- Lokmic-Tomkins, Z., Davies, S., Block, L. J., Cochrane, L., Dorin, A., von Gerich, H., Lozada-Perezmitre, E., Reid, L., & Peltonen, L.-M. (2022). Assessing the carbon footprint of digital health interventions: A scoping review. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 29(12), 2128–2139. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocac196>
- Mazo et al. (2022). Cultura de sostenibilidad en la educación superior. El caso de la Universidad Popular de Chontalpa en Tabasco, México. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío* 34(S5), 124-132.
- Molina, E., y Salazar, M. (2021). Estrategias de eficiencia energética en entornos educativos rurales. *Revista de Energía y Ambiente*, 11(3), 49–61.
- Morales Tobar, J. E. (2022). Diseño de investigación para el desarrollo de un prototipo de aplicación móvil de auditoría energética domiciliar para fomentar la mejora de la eficiencia energética en los hogares de la ciudad de Guatemala (Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio Institucional USAC. <https://repositorio.usac.edu.gt/19148>
- Morales, J. F., y Torres, D. (2022). Estrategias integradas de eficiencia energética en campus universitarios. *Revista Latinoamericana de Tecnología y Educación*, 13(4), 77-90.
- Morett Sánchez, J. C. (2021). La dependencia energética de los países subdesarrollados. *International Humanities Review*, 10(1), 19–36.
- Munaro, M. R., & John, V. M. (2024). Energy efficiency in the higher education institutions: A review of actions and their contribution to sustainable development. In V. Uygunov, L. Bousnane, C. Anastasopoulos, & F. Abdalla (Eds.), *Coordinating Engineering for Sustainability and Resilience* (pp. 207–217). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7_19)
- Muñoz-Suárez, M., Guadalajara, N., & Osca, J. M. (2020). A comparative analysis between global university rankings and environmental sustainability of universities. *Sustainability*, 12(14), 5759. <https://doi.org/10.3390/su12145759>
- Ortega, R. (2020). Manual práctico de eficiencia energética institucional. Fondo Editorial de Ciencia Aplicada.
- Pérez, S., y Torres, N. (2022). Impacto del uso de tecnologías LED en el consumo eléctrico.

- co universitario. *Revista Científica de Energía Aplicada*, 8(2), 67–78.
- Plata et al, (2022). Agenda 2030 y los objetivos del desarrollo sostenible: Aportes de las instituciones de educación superior en la dimensión ambiental. *Revista Educación y Educadores* 25(2) e2524. DOI: <https://doi.org/10.5294/edu.2022.25.2.4>
- Ramírez, J. (2023). Transición energética en América Latina: oportunidades desde la educación superior. Editorial Universitaria del Sur.
- Rodríguez, P., y Vargas, F. (2019). Diseño de políticas energéticas para universidades sostenibles. *Revista Internacional de Políticas Ambientales*, 6(1), 22–41.
- Rodríguez-Rodríguez, A., Mejías-Elizondo, R., & Vindas-Chacón, C. (2022). Desempeño ambiental universitario en el ranking UI Green Metric: Caso del campus tecnológico central del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 35(1), 90–99. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i1.5161>
- Rojas Hernández, D., Suárez Campos, J., & Esteffan González Martínez, E. (2021). Metodología para diseñar la cadena de valor de paneles fotovoltaicos como soporte sostenible en la gestión financiera. *Journal of Management & Business Studies*, 5(1), 1–20. <https://doi.org/10.32457/jmabs.v5i1.1975>
- Secretaría de Energía de Honduras (SEN). (2023, septiembre). Balance Energético Nacional 2022. Recuperado el 3 de octubre de 2023, de <https://qrcd.org/9UXh>
- Secretaría de Estado en el Despacho de Energía. (2020). Agenda de Energía: Honduras 2019–2021. Dirección Nacional de Planeamiento y Política Energética Sectorial. <https://qrcd.org/9UXi>
- Sepúlveda Merino, D. S. (2025). Auditoría energética enfocada en el consumo eléctrico del edificio EULA 2 de la Universidad de Concepción (Memoria de título, Universidad de Concepción). Universidad de Concepción, Chile. <https://qrcd.org/9UXr>
- Tang, K. H. D. (2022). A model of behavioral climate change education for higher educational institutions. *Environmental Advances*, 9, Article 100305. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100305>
- Tran, A. K., Phuc, C. H., Lam, P. D., Nhu, L. M. B., Trong, N. M., Phuong, N. T. H., Van Dung, N., Nguyen, H. N., & Duc, D. N. M. (2020). Waste management system using IoT-based machine learning in university. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, Article 6138637. <https://doi.org/10.1155/2020/6138637>
- UNESCO. (2021). *Greening Education Partnership Getting every learner climate-ready*. París: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Valenzuela, M., y Cárdenas, L. (2019). Estrategias de eficiencia energética en campus universitarios latinoamericanos. *Revista Iberoamericana de Energía*, 15(2), 23–38.
- Valls-Val, K., & Bovea, M. D. (2022). Carbon footprint assessment tool for universities: CO2UNV. *Sustainable Production and Consumption*, 29, 791–804. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.020>
- Vega, C., y Morales, J. (2023). Eficiencia energética universitaria: Modelos de evaluación para la sostenibilidad. *Revista de Energía y Sociedad*, 14(2), 77–92.
- Villavicencio Mera, J. C., Ricaurte Párraga, R., Yépez Ramírez, J. R., Vaca Coronel, C. A., & Ricaurte Párraga, R. M. (2024). Análisis de

la optimización del consumo energético en una universidad ubicada en la provincia del Guayas. *Latam: Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(6), 1–20. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3038>

Žalénienė, I., & Pereira, P. (2021). Higher education for sustainability: A global perspective. *Geography and Sustainability*, 2(2), 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.001>