

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3038>

Análisis de la optimización del consumo energético en una universidad ubicada en la provincia del Guayas

Analysis of the optimization of energy consumption in a university located in the province of Guayas

Julio Cesar Villavicencio Mera

jvillavicenciom@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-0822-1686>

Universidad Estatal de Milagro

Milagro – Ecuador

Rayner Reynaldo Ricaurte Párraga

rricaurtep@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-4025-0087>

Universidad Estatal de Milagro

Milagro – Ecuador

Jennyffer Rebeca Yépez Ramírez

jyepzr5@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-8976-8048>

Universidad Estatal de Milagro

Milagro – Ecuador

Carlos Andrés Vaca Coronel

cvacac3@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9167-5043>

Universidad Estatal de Milagro

Milagro – Ecuador

Rossana María Ricaurte Párraga

rossana.ricaurtep@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-2928-0243>

Universidad de Guayaquil

Milagro – Ecuador

Artículo recibido: 09 de noviembre de 2024. Aceptado para publicación: 23 de noviembre de 2024.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Esta investigación analiza la optimización del consumo energético en una universidad en la provincia del Guayas, Ecuador. A través de una auditoría energética, se identificaron las oportunidades para reducir el consumo mediante la implementación de tecnologías eficientes y energías renovables. En 2022, la universidad consumió 2.613.249 kWh, lo que representó un gasto anual de 229.019,68 USD. Entre las propuestas destacadas, se incluyó la sustitución de luminarias tradicionales por tecnología LED y la instalación de aires acondicionados más eficientes. Además, se evaluó la factibilidad de instalar una planta de energía fotovoltaica, lo que implicaría una inversión inicial de 580.520,44 USD, pero generaría un ahorro anual estimado de 139.822,86 USD y una reducción del 74,47% en las emisiones de CO₂. Esta investigación propone un enfoque integral que combina el ahorro energético, la mejora de la eficiencia y el uso de energías renovables, con el objetivo de reducir los costos operativos y mitigar el impacto ambiental. Las mejoras planteadas no solo reducirán el consumo de energía en un 51,69%, sino que también permitirán un retorno de la inversión en 4,62 años. Este enfoque es un ejemplo de


cómo las instituciones educativas pueden liderar iniciativas sostenibles para enfrentar tanto la crisis energética como el cambio climático

Palabras clave: eficiencia energética, auditoría energética, planta de energía fotovoltaica, reducción de emisiones de CO₂

Abstract

This research examines energy consumption optimization at a university in the province of Guayas, Ecuador. Through an energy audit, opportunities were identified to reduce consumption by implementing efficient technologies and renewable energy sources. In 2022, the university consumed 2,613,249 kWh, incurring an annual expense of 229,019.68 USD. Key proposals included replacing traditional lighting with LED technology and installing more efficient air conditioning units. Additionally, the feasibility of installing a photovoltaic power plant was evaluated, which would require an initial investment of 580,520.44 USD but is estimated to yield annual savings of 139,822.86 USD and a 74.47% reduction in CO₂ emissions. This research proposes a comprehensive approach that combines energy savings, efficiency improvements, and the use of renewable energy with the aim of reducing operational costs and mitigating environmental impact. The proposed improvements will not only reduce energy consumption by 51.69% but also achieve a return on investment in 4.62 years. This approach serves as an example of how educational institutions can lead sustainable initiatives to address both the energy crisis and climate change.

Keywords: energy efficiency, energy audit, photovoltaic power plant, CO₂ emissions reduction

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Villavicencio Mera, J. C., Ricaurte Párraga, R. 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), 704 – 720. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3038>

INTRODUCCIÓN

La energía es esencial para diversas actividades, como el transporte, la purificación del agua y la climatización (Farghali et al., 2023). Actualmente, el 84,7% de la energía mundial proviene de combustibles fósiles, mientras que solo el 10,3% proviene de energías renovables (Global Energy Crisis – Topics, s. f.). Además, los depósitos de hidrocarburos de fácil acceso se están agotando, lo que ha aumentado los costos de la energía (Afolabi et al., 2019). La Agencia Internacional de la Energía indica que la crisis energética mundial se intensificó tras la invasión rusa de Ucrania en 2022, alcanzando precios récord para el gas y la electricidad, junto con un aumento de la demanda energética del 37% en los próximos 25 años. Se proyecta que el consumo mundial de energía crecerá un 48% entre 2012 y 2040 (Min, 2022)

Al mismo tiempo, las emisiones de CO₂ han contribuido al aumento de la temperatura global en 1,2 °C, con concentraciones récord de 419 partes por millón en 2021 (Johnson, 2021). Ante este escenario, urge implementar tecnologías de ahorro energético que permitan reducir costos y mitigar el impacto ambiental.

El uso de carbón, petróleo y el gas suministran el 85% del consumo mundial de energía, mientras que la energía eólica y solar representan un 3%, mientras que la hidroenergía y la energía nuclear representa casi el 12% restante (ÓhAiseadha et al., 2020) (Destouni & Frank, 2010). A nivel mundial hasta el momento se han encontrado aproximadamente 600 yacimientos de petróleo de los cuales solo 125 (20.83%) es factible su explotación (He et al., 2015). Cada vez los hallazgos de pozos rentables para su explotación son menores y cada año la demanda de energía mundial aumenta, se estima que la demanda de energía aumentará un 28 % entre 2015 y 2040, con una proporción cada vez mayor procedente de países no pertenecientes a la OCDE (Dominioni et al., 2019).

Muy aparte de la crisis energética por la escasez de los hidrocarburos y el incremento del costo de la energía eléctrica, está la problemática del cambio climático debido a la generación de energía mediante la quema de petróleo, carbón y gas natural, según (Jackson et al., 2022). Las emisiones de CO₂ en el 2021 aumentaron aproximadamente un 4,2 % a 36 200 millones de toneladas métricas en comparación con 2020, lo que hizo que las emisiones globales se acercaran a los niveles de 2022 (36,7 Gt de CO₂) estas emisiones de CO₂ generan un efecto invernadero que evita que la radiación solar salga de la atmósfera terrestre, provocando un aumento de temperatura. Desde el año 1901 las temperaturas globales han aumentado 0,89°C (Banerjee et al., 2021) dando como resultado el cambio climático, el derretimiento de los glaciares árticos, la pérdida de la biodiversidad, etc.

Es necesario realizar el cambio del desarrollo de energía insostenible debido a la escasez de recursos no renovables, aumento de precio en la energía, emisiones de CO₂ y cambio climático, por un desarrollo de la energía sostenible donde se aprovechen los recursos renovables, costos de la energía más accesibles y libres de contaminantes. Para lograr este propósito se involucran principalmente tres cambios: ahorro de energía (Blok, 2005) (Lior, 1997), mejora de la eficiencia energética y el reemplazo de la producción de energía a base de recursos no renovables por varias fuentes de energía renovable (N. Afgan, 2004) (N. H. Afgan & Carvalho, 2002) (Lund, 2007). El trabajo del cambio no solo debe estar a cargo las organizaciones internacionales o los gobiernos de cada país, el cambio debe ser desde las industrias, las universidades, las viviendas, etc. Por ello las energías renovables se considera un recurso importante a nivel mundial y cada año se trabaja en ellas para que sus limitaciones y costo de implementación disminuyan y su eficiencia y disponibilidad aumenten (Hvelplund, 2006) (Alnatheer, 2005) (Huacuz, 2005) (Duque et al., 2005) (Germán Martínez Montes et al., 2005) (Kaldellis, K et al., 2005) (Cavaliere & Da Silva, 2005) (El-Sayed, 2005) (Gnansounou et al., 2005) y para el 2050 se espera que las energías

renovables alcancen un 35% del suministro global de energía, disminuyendo así las emisiones de CO₂ aproximadamente en un 56%.

Debido a lo antes mencionado y al recorte presupuestario en las universidades públicas en el año 2020, es necesario realizar un cambio del consumo y generación de energía en la Universidad.

En el año 2020 el presupuesto asignado por el Gobierno para la Universidad fue de aproximadamente veintidós millones de dólares equivalente a una reducción del 10% en relación al presupuesto del año anterior, siendo este recorte aproximado de dos millones de dólares (Informe-de-Gestion-2021, 2021) (Cedula presupuestaria, 2021). Este suceso ha incentivado a la IES a realizar una reducción de gastos anuales, entre ellos reducir el consumo de energía.

En el 2021 la universidad tuvo un gasto aproximado en energía de 150 mil USD, en el 2015 fueron aproximadamente 175 mil USD y en el 2022 un aproximado 200 mil USD (IES, 2022), este incremento en el gasto de la energía es debido al incremento del número de estudiantes y edificios en la Universidad.

Actualmente la universidad cuenta con aproximadamente veintiún mil estudiantes y se espera que en un par de años esta cifra incremente un 300% provocando así que el gasto de la energía eléctrica aumente.

La Universidad está conformada por 22 edificios los cuales están equipados con luces T-12 de 32 W y aires acondicionados de 12,000, 18,000, 24,000, 36,000 y 60,000 BTU de un SEER (SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio) de 13. Como parte de las deficiencias encontradas, los equipos de iluminación y climatización permanecen encendidos desde la apertura hasta el cierre de la universidad, operando en horas no productivas.

La Universidad en el 2022 tuvo un consumo de energía eléctrica promedio de 217,770.75 kWh/mes o 2,613,249 kWh/año, esto representa un costo de 19,084.97 USD/mes a o 229,019.68 USD/año. Por el excesivo consumo energético, la universidad se ha planteado un estudio energético para examinar las diferentes alternativas que le permitan reducir el consumo energético y su costo asociado.

METODOLOGÍA

La auditoría energética se realizó en la universidad con el objetivo de identificar oportunidades de ahorro energético a través del conocimiento y evaluación de los equipos eléctricos, el análisis de su eficiencia y la implementación de:

Revisión de las facturas de energía eléctrica del año 2022, con el fin de determinar el consumo de energía mensual y anual, así como los costos asociados. Esta información proporcionó una base en línea para el análisis de ahorro. También se identifican todas las áreas de la universidad, diferenciando áreas de mayor y menor consumo, incluyendo oficinas, aulas, laboratorios, áreas administrativas y de servicios generales.

Se realizó un inventario detallado de los equipos eléctricos existentes, categorizados como los sistemas de iluminación, equipos HVAC (aire acondicionado, ventiladores), equipos electrónicos (computadoras, impresoras, servidores), equipos de soporte (bombas, compresores). A dichos equipos se les realizó un registro de especificaciones técnicas, se recopiló información sobre las características de los equipos, como potencia nominal, tipo de tecnología y antigüedad.

Se evaluó el número de horas diarias y semanales que operan los equipos en las diferentes áreas. Este análisis se basó en entrevistas a personal administrativo y operativo, así como en

observaciones en sitio. Utilizando las especificaciones técnicas de cada equipo (potencia P) y sus horas de operación (H), se estimó el consumo total de energía (C) de cada uno, utilizando la fórmula:

$$C(kWh) = P (kW) * H \quad (1)$$

Sustitución de Iluminación por Tecnología LED

Se propuso sustituir luminarias tradicionales (fluorescentes, incandescentes) por luminarias LED, considerando su menor consumo de energía y mayor. También se analizó la posibilidad de sustituir equipos de aire acondicionado antiguos por modelos más eficientes con un mayor coeficiente de eficiencia estacional (SEER), lo que reduce significativamente el consumo eléctrico en aire acondicionado.

Se calculó la inversión inicial requerida para la instalación de la planta fotovoltaica, junto con un análisis del retorno de la inversión con base en el ahorro energético estimado y los incentivos fiscales disponibles para energías renovables. Estimación de Ahorros y Reducción de CO₂: Los beneficios ambientales, incluyendo la reducción de emisiones de CO₂, se estimaron con base en el porcentaje de energía que podría generarse a partir de los paneles solares.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del consumo de energía

Para el análisis es necesario conocer el consumo de energía (kWh), la potencia suministrada o demanda de energía y los distintos rubros de CNEL por el suministro de energía eléctrica a la universidad como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1

Consumo de energía en la Universidad

Meses	Consumo	Demanda de energía kW
Enero	280,230	1,220
Febrero	230,546	1,001
Marzo	137,989	820
Abril	197,113	940
Mayo	210,345	833
Junio	270,333	915
Julio	280,567	801
Agosto	222,111	998
Septiembre	197,109	727
Octubre	145,786	632
Noviembre	221,564	951
Diciembre	219,556	901
Total	2,613,249	10,739
Promedio	217,771	895

Fuente: Levantamiento de datos in situ.

En las facturas de energía eléctrica emitida por CNEL se estudiarán dos rubros fundamentales.

Costo promedio de la demanda de energía

Para obtener el costo por kW/Mes, se divide el costo por demanda (\$) y la demanda facturada (kW) obtenido de las facturas de energía emitidas por CNEL dando como resultado 3.00 USD/kW-Mes. Ver tabla 2.

Tabla 2

Cálculo del costo por kW

Mes	Demanda de energía (kW-mes)	Costo de Demanda (\$)	Costo por kW-Mes
Enero	1220	\$ 3,660.00	\$3.00
Febrero	1001	\$ 3,003.00	\$3.00
Marzo	820	\$ 2,460.00	\$3.00
Abril	940	\$ 2,820.00	\$3.00
Mayo	833	\$ 2,499.00	\$3.00
Junio	915	\$ 2,745.00	\$3.00
Julio	801	\$ 2,403.00	\$3.00
Agosto	998	\$ 2,994.00	\$3.00
Septiembre	727	\$ 2,181.00	\$3.00
Octubre	632	\$ 1,896.00	\$3.00
Noviembre	951	\$ 2,853.00	\$3.00
Diciembre	901	\$ 2,703.00	\$3.00
Total Anual	10,739.00	\$30,123.00	-
Promedio Mensual	870.60	\$2,611.80	\$3.00

Costo promedio por kWh

Para obtener el costo del kWh, se resta el costo total (\$) y el costo de demanda (\$), esta diferencia se la divide para el consumo mensual en kWh, dando como resultado un promedio de 0.075 USD/kWh como se observa en la tabla 3.

Tabla 3

Costo promedio por kWh

Mes	Consumo (kWh)	Costo por kWh	Costo del consumo (\$)	Costo de Demanda (\$)	Costo Total (\$)
Enero	280,230.00	\$0.079	\$ 22,138.17	\$ 3,660.00	\$ 25,798.17
Febrero	230,546.00	\$0.079	\$ 18,213.13	\$ 3,003.00	\$ 21,216.13
Marzo	137,989.00	\$0.065	\$ 8,969.29	\$ 2,460.00	\$ 11,429.29
Abril	197,113.00	\$0.075	\$ 14,783.48	\$ 2,820.00	\$ 17,603.48
Mayo	210,345.00	\$0.075	\$ 15,775.88	\$ 2,499.00	\$ 18,274.88
Junio	270,333.00	\$0.075	\$ 20,274.98	\$ 2,745.00	\$ 23,019.98
Julio	280,567.00	\$0.075	\$ 21,042.53	\$ 2,403.00	\$ 23,445.53
Agosto	222,111.00	\$0.075	\$ 16,658.33	\$ 2,994.00	\$ 19,652.33
Septiembre	197,109.00	\$0.075	\$ 14,783.18	\$ 2,181.00	\$ 16,964.18
Octubre	145,786.00	\$0.076	\$ 11,079.74	\$ 1,896.00	\$ 12,975.74
Noviembre	221,564.00	\$0.075	\$ 16,617.30	\$ 2,853.00	\$ 19,470.30
Diciembre	219,556.00	\$0.075	\$ 16,466.70	\$ 2,703.00	\$ 19,169.70
Total	6,132,249.00		\$ 196,802.68	\$ 32,217.00	\$ 229,019.68
Promedio Mensual	217,770.75	\$0.075	\$ 16,400.22	\$ 2,684.75	\$ 19,084.97

Fuente: elaboración propia.

En el 2022 la universidad obtuvo un consumo promedio de energía mensual de 217,770.75 kWh y un consumo anual de 2'613,249 kWh, esto representó un costo promedio mensual de 19,084.97 USD y el costo anual de 229,019.68 USD como se observa en la tabla 3.

Línea base energética

Las líneas base se utilizan para facilitar un modelo de predicción de energía simple en una etapa temprana de diseño del desarrollo del edificio (Lin et al., 2017). Para este estudio se utilizará la línea base energética para tener una predicción del consumo energético a futuro y poder comparar la línea base actual vs la línea base con la implementación de las mejoras.

Para establecer la línea base energética fue necesario calcular las horas de funcionamiento mensual, el cual da como promedio 244.77 horas al mes y 12.24 horas diarias.

Tabla 4

Horas de funcionamiento

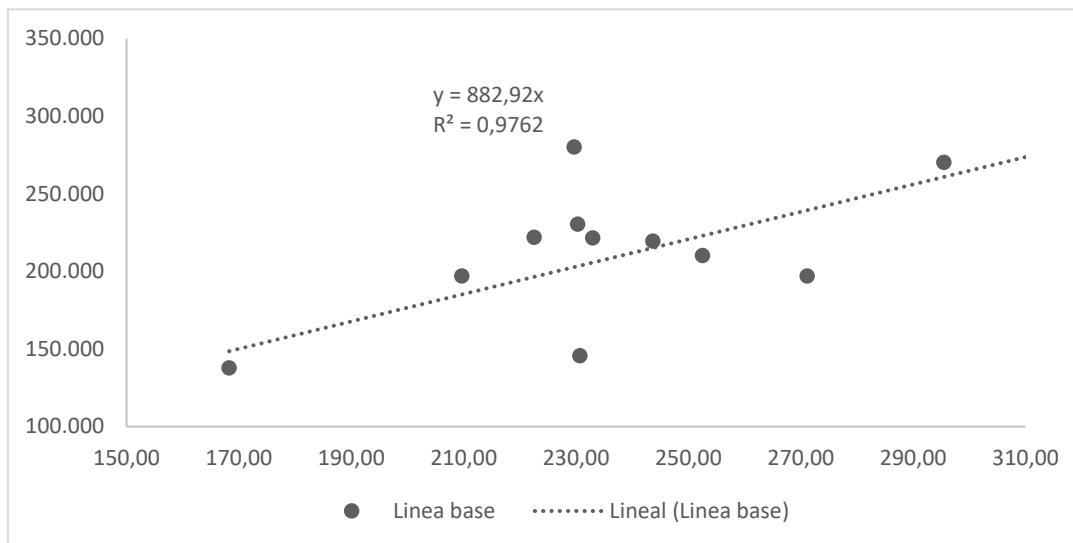
Meses	Consumo	Demanda de energía kW	Horas de funcionamiento en el mes	Horas de funcionamiento diario
Enero	280,230	1,220	229.70	11.48
Febrero	230,546	1,001	230.32	11.52
Marzo	137,989	820	168.28	8.41
Abril	197,113	940	209.69	10.48
Mayo	210,345	833	252.52	12.63
Junio	270,333	915	295.45	14.77
Julio	280,567	801	350.27	17.51
Agosto	222,111	998	222.56	11.13
Septiembre	197,109	727	271.13	13.56
Octubre	145,786	632	230.67	11.53
Noviembre	221,564	951	232.98	11.65
Diciembre	219,556	901	243.68	12.18
Total	2,613,249	10,739	2,937	146.86
Promedio	217,771	894.92	244.77	12.24

Fuente: elaboración propia.

Al graficar los resultados obtenidos en la tabla cuatro se tiene como resultado la línea base energética con una ecuación de la recta de $C=882.92 h$ con un $R^2 = 0.9762$ donde C es el consumo de energía mensual en kWh y h son las horas de funcionamiento mensuales como se observa en el gráfico 1.

Gráfico 1

kWh vs horas de funcionamiento



Fuente: elaboración propia.

Auditoría energética

En la realización de la auditoría energética se determinó la potencia consumida en Watts mediante especificaciones de los equipos electrónicos instalados en la Universidad.

Entre ellos se tuvieron unas luminarias T 12 de 32 W y equipos de climatización de 12,000, 18,000, 24,000, 36,000 y 60,000 BTU.

La eficiencia de los equipos de climatización es calculada por el Factor de Eficiencia de Energía Ambiental (SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio) se define como la capacidad de refrigeración/la entrada de energía eléctrica (Romero Lara et al., 2023)

$$P = \frac{Q}{SEER} \quad (2)$$

En la auditoría energética, se obtuvo un total de 7,577 focos T 12 de 32W con un consumo total de energía de 59,347.91 kWh/mes y una demanda de energía de 242.46 kW. En el conteo de equipos de climatización tenemos 10 A/C de 9,000 BTU, 91 A/C de 12,000 BTU, 11 A/C de 8,000 BTU, 16 A/C de 24,000 BTU, 153 A/C de 36,000 BTU y 30 A/C de 60,000 BTU con un consumo total de energía de 170,811.80 kWh/mes y una demanda de energía de 697.85 kW, entre otros consumos de energía como computadoras, laptops, televisores e impresoras. Entre los equipos de iluminación y climatización nos da un consumo total de energía aproximado de 230,159.71 kWh-mes y una demanda de 940.31 kW

Emisiones de CO₂ por kWh de energía eléctrica

En el año 2020 en el Ecuador se generó un total de 32,206.88 GWh de energía eléctrica en donde 26,088.42 GWh fueron generados por energía renovable y 6,118.46 GWh por energía no renovable, representando este último un 19%. Para la generación de energía eléctrica por medio de energía no renovable se utilizaron combustibles como el fuel oil, diésel, gas natural, residuo, crudo, gas

licuado de petróleo (GLP) y gabazo de caña donde las cantidades utilizadas se describen en la siguiente tabla. (Renovables, 2021).

Para el año 2020 el factor de emisión de CO₂ por el uso de energías no renovables fue de 0,4509 tCO₂/MWh (Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2021-2.pdf, s. f.)

Tabla 5

Consumo de combustible utilizado para generación eléctrica

Combustible	Unidad	Cantidad
Fuel Oil	kgal	104,342.82
Diésel	kgal	120,583.17
Gas Natural	Gft ³	15.60

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de energía, 2021)

Como se pudo observar en la tabla 4 la universidad tuvo un consumo total de 2,613,249 kWh en el año 2022, lo que significa que se generaron 1,178.31 toneladas de CO₂ por el consumo de energía eléctrica en el año 2022.

Como propuesta para mejorar la eficiencia energética de la universidad, se basa en la utilización de una política de encendido y apagado de equipos eléctricos en las aulas, luces led, aires acondicionados de mayor eficiencia y análisis de costos de una planta fotovoltaica.

Se busca conocer la cantidad de inversión prevista, el porcentaje de ahorro de energía en comparación con el año 2022 con las propuestas planteadas y, finalmente, estimar el retorno de la inversión en años.

Política de ahorro de energía

Actualmente los equipos eléctricos en las aulas de la Universidad permanecen encendidos un promedio de 12.24 horas diarias (Ver tabla 4), una propuesta para el ahorro de la energía eléctrica sería establecer una política para apagar los equipos eléctricos de las aulas en horas no productivas, dando como resultado un promedio de 9 horas diarias.

Luminarias led

Los tubos fluorescentes T 12 de 32 W fueron encontrados en la auditoría energética de la universidad con una eficiencia del 60%. Si se desea una luminaria de mayor eficiencia, se puede usar la tecnología LED. Una lámpara LED de 15 W equivale una lámpara fluorescente T 12 de 32W, que proporciona la misma cantidad de luz, pero consume menos energía.

En la universidad existe un total de 7,577 tubos T 12 de 32 W con un consumo de energía de 59,347.91 kWh/mes y una demanda de energía de 242.46 kW, que se los reemplaza por Led de 15 W, con un consumo total de energía de 20,457.90 kWh/mes y una demanda de 113.65 kW, este cambio de luminarias generaría un ahorro de 38,890.01 kWh/mes esto significa un ahorro del 65.53%.

Climatización

En los equipos de climatización tiene un consumo de energía total de 170,811.80 kWh/mes y una demanda de energía de 697.85 kW, que se los reemplazará con aires acondicionados de mayor eficiencia, con un consumo total de energía de 90,720 kWh/mes y una demanda de energía de 504 kW, este cambio de sistema de climatización genera un ahorro del consumo de energía eléctrica de 38,317.58 kWh/mes, que significa un ahorro del 46.89% de energía.

La propuesta requiere un consumo de energía total de 111,177.90 kWh/mes al sumar los consumos de energía de la iluminación Led y los sistemas de climatización. En comparación con el consumo de energía actual calculado, la auditoría de energía, esto resulta en un ahorro de energía de 118,981.81 kilovatios-hora por mes con un porcentaje del 51.69%.

En el cálculo de la demanda de energía en kW con la situación actual de la Universidad y con la propuesta planteada, se tiene una demanda de energía actual teórica de 940.31 kW y con la propuesta planteada se tendría una demanda de energía de 617.65 kW.

Costo de la propuesta

Para calcular el costo de inversión de la propuesta, se examinaron los precios de los diversos equipos que serían reemplazados, así como la suma de los equipos de cada edificio de la universidad. Se estimó un costo por mano de obra del 10% y un IVA del 12%, lo que resultó en un gasto total de \$336,730.24, como se muestra en la Tabla 8

Tabla 8

Costo de inversión

Descripción	Precio por unidad	Cantidad	Costo
Tubos Led de 15 W	\$ 2.50	7,577	\$ 18,942.50
A/C Inverter de 9,000 BTU	\$ 309.00	10	\$ 3,090.00
A/C Inverter de 12,000 BTU	\$ 420.00	91	\$ 38,220.00
A/C Inverter de 18,000 BTU	\$ 760.00	11	\$ 8,360.00
A/C Inverter de 24,000 BTU	\$ 850.00	26	\$ 22,100.00
A/C Inverter de 36,000 BTU	\$ 990.00	143	\$141,570.00
A/C Inverter de 60,000 BTU	\$ 1,400.00	30	\$ 42,000.00
Subtotal			\$273,320.00
10% de Mano de obra			\$ 27,332.00
12% IVA			\$ 36,078.24
Total			\$ 339,640.84

Fuente: elaboración propia.

Cálculo del costo de operación e inversión inicial de una planta de energía fotovoltaica

El costo de la energía fotovoltaica puede ser expresado por la siguiente ecuación (3) (Veronese et al., 2021).

$$C = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^n \frac{OPEX}{(1+WACC)^t}}{\sum_{t=1}^n \left[\frac{Utiliz * (1 - degrad)^t}{(1+WACC)^t} \right]} \quad (3)$$

Donde CAPEX es el gasto de inversión total del sistema en el año t = 0, OPEX(t) es el gasto de operación y mantenimiento en el año t, WACC producción anual de electricidad, Utilización 0 es

la utilización inicial en el año $t = 0$ (sin considerar la degradación), Degradación es la degradación anual de la potencia nominal del sistema, n es la vida económica del sistema y t el año de vida (Romero Lara et al., 2023)

Considerando n vida útil del sistema de 20 años; los costos anuales de operación y mantenimiento OPEX = 1% del CAPEX y CAPEX = 780 USD/kW (Eduardo Landivar, comunicación personal, 2023)

De esta manera el costo de energía producida por el sistema fotovoltaico es de 0.06 USD/kWh.

La planta fotovoltaica proporcionará energía a los edificios, lo que representa el 50% del consumo de energía de la Universidad. Se espera que las propuestas planteadas para estos edificios demanden un total de 308.82 kW de energía.

En lo antes mencionado en las tablas 2 y 3 se obtuvo un costo promedio de 0.075 USD/kWh y un costo promedio de la demanda de 3.00 USD/kW al mes facturado por CNEL.

Cálculo del ahorro de energía con el funcionamiento de una planta fotovoltaica que suministre el 50% del total de energía de la Universidad

Considerando los consumos de kilovatios hora mensuales de los edificios, que representan el 50% del consumo total de energía, $230,159.71$ kilovatios hora mensuales $\times 0.5 = 115,079.85$ kilovatios hora mensuales. Además, multiplicando por el costo promedio de 0,075 dólares por kilovatio hora que le cobra CNEL a la Universidad, se obtiene un costo total de 8,630.99 dólares mensuales.

Considerando el ahorro de energía de la propuesta para los edificios, que corresponde al 50% de $111,177.90$ kilovatios hora/mes $\times 0.5 = 55,588.95$ kilovatios hora/mes, y multiplicando por el costo de energía de la planta fotovoltaica de 0,06 dólares por kilovatio hora, se obtiene un costo total de 3,335.34 dólares por mes.

Restando el costo total actual y el costo total con la propuesta se obtiene un ahorro de 5,295.65 USD/mes.

Debido a la implementación de una planta fotovoltaica, los edificios consumen el 50% del consumo total de energía de la IES no pagarán costo por demanda de energía, lo que resulta en un ahorro mensual de 1,410.45 USD. dando como resultado un ahorro mensual de 6,706.10 USD

Cálculo del ahorro de energía correspondiente al 50% sin planta fotovoltaica

Como se muestra en la Tabla 9, se consideran los costos mensuales de kilovatios hora calculados en la auditoría energética de los edificios, que representan el 50% del consumo total de energía de la Universidad. Esto se multiplica por el costo promedio de 0.075 USD/kWh y el costo promedio de 3.00 USD/kW por la demanda de energía que le factura CNEL a la Universidad.

Tabla 9

Costo total actual de la energía correspondiente al 50% sin planta fotovoltaica

	Consumo Actual	50%	Costos	Total
Consumo de energía	230,159.71	115,079.85	0.075 USD/kWh	8,630.99
Demanda de energía	940.31	470.15	3.00 USD/kW	1,410.45
Total	-	-	-	10,041.44 USD/mes

Fuente: elaboración propia.

El costo promedio de 0.075 USD/kWh y el costo promedio de 3.00 USD/kW por demanda de energía que le factura CNEL a la Universidad se multiplican por los consumos mensuales de kilovatios hora de la propuesta de ahorro de energía a los edificios, que representan el 50% del consumo de energía de la Universidad.

Tabla 10

Costo total con la propuesta correspondiente al 50% sin planta fotovoltaica

	Consumo con propuesta	50%	Costos	Total
Consumo de energía	111,177.90 kWh-mes	55,588.95 kWh-mes	0.075 USD/kWh	4,169.17 USD/mes
Demanda de energía	617.65 kW	308.82 kW	3.00 USD/kW	926.47 USD/mes
Total	-	-	-	5,095.64 USD/mes

Restando los resultados de la tabla 6 y la tabla 7 se obtiene un ahorro de 4,945.79 USD/mes.

Considerando todos los ahorros mensuales de energía antes calculados nos da como resultado un ahorro de 11,651.90 USD/mes y 139,822.86 USD/anual.

Reducción de emisiones de CO₂

Ya que el 50% de la energía que se suministrará a la universidad será por medio de una planta fotovoltaica, esta no generará emisiones por ser energía limpia.

Para este análisis se considera el 50% restante del consumo energético que seguirá siendo suministrado por CNEL, teniendo así un consumo de energía de 55,588.95 kWh-mes y 667,067.40 kWh-anual lo que nos da un total de emisiones de 300.78 toneladas de CO₂ esto representa una reducción del 74.47% de emisiones de CO₂.

Análisis del retorno de la inversión

La tabla 11 que se muestra a continuación muestra el flujo neto anual donde se consideró una inversión inicial de 580,520.44 USD entre los equipos de mayor eficiencia y la planta fotovoltaica, además se considera un ahorro anual de 139,822.86 USD y un presupuesto de la Universidad de 35,000 USD anuales para renovar los equipos eléctricos.

Tabla 11

Flujo anual neto

Año	Flujo neto
0	\$580,520.44
1	\$174,822.86
2	\$167,831.72
3	\$154,548.55
4	\$136,616.26
5	\$116,293.01

Fuente: elaboración propia.

El VAN calculará la cantidad de tiempo que tomará la universidad para recuperar la inversión. Se encontrarán dos valores de VAN, uno con un $n = 4$ años para obtener un VAN negativo y otro con un $n = 7$ años para obtener un VAN positivo.

El año en que el VAN es igual a cero es el año en que la universidad recuperó su inversión inicial. (Mete, 2014). Utilizando la ecuación siguiente, tenemos un retorno de inversión de 4.62 años.

$$VAN = -I_0 + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n}$$

Esta investigación se centra en la viabilidad económica y ambiental de las propuestas de optimización energética en la universidad. Los resultados de la auditoría energética confirman que la sustitución de equipos ineficientes y la implementación de una planta fotovoltaica generarán beneficios sustanciales. El ahorro energético estimado del 51.69% demuestra que la inversión inicial de 580,520.44 USD es justificada, con un retorno de inversión en 4.62 años, lo cual es favorable en el contexto de recortes presupuestario.

Además, la reducción de las emisiones de CO₂ en un 74,47% resalta el impacto positivo en la mitigación del cambio climático, alineándose con las tendencias globales hacia la sostenibilidad. Este aspecto no solo beneficia al medio ambiente, sino que también posiciona a la universidad como una institución comprometida con prácticas sostenibles, lo que podría servir de ejemplo para otras universidades.

Desde el punto de vista operativo, la implementación de luminarias LED y equipos de aire acondicionado más eficientes no solo reduce el consumo de energía, sino que también prolonga la vida útil de los sistemas, reduciendo los costos de mantenimiento. La planta fotovoltaica, además de reducir los costos energéticos, fomenta la independencia energética de la universidad.

CONCLUSIÓN

La auditoría energética realizada en la universidad de Guayas ha identificado claves para optimizar el consumo de energía, principalmente a través de la modernización de los sistemas de medidas de iluminación y climatización, así como la implementación de una planta fotovoltaica. Estas acciones no sólo permitirán una reducción significativa del consumo energético en un 51,69%, sino que también generarán un ahorro económico de 139.822,86 USD al año. Además, se logrará una reducción del 74,47% en las emisiones de CO₂, contribuyendo de manera importante a la mitigación del impacto ambiental.

El retorno de la inversión, estimado en 4,62 años, valida la viabilidad económica de las propuestas, lo que convierte a la universidad en un referente de sostenibilidad dentro del sector

educativo. Estos no solo aportan beneficios económicos a largo plazo, sino que también posicionan a la institución como un modelo en la transición hacia el uso de energías renovables y medidas para la reducción de huella de carbono. El estudio demuestra que las inversiones en eficiencia energética son no solo necesarias, sino también rentables, con un impacto positivo tanto para la institución como para el medio ambiente.

REFERENCIAS

Afgan, N. (2004). Sustainability assessment of hydrogen energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(13), 1327-1342. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2004.01.005>

Afgan, N. H., & Carvalho, M. G. (2002). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, 27(8), 739-755. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00019-1)

Afolabi, R. O., Oluyemi, G. F., Officer, S., & Ugwu, J. O. (2019). Hydrophobically associating polymers for enhanced oil recovery – Part A: A review on the effects of some key reservoir conditions. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 180, 681-698. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.06.016>

Agencia de Regulación y Control de energía. (2021).

Alnatheer, O. (2005). The potential contribution of renewable energy to electricity supply in Saudi Arabia. *Energy Policy*, 33(18), 2298-2312. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.013>

Banerjee, C., Sharma, A., & D, N. K. (2021). Decline in terrestrial water recharge with increasing global temperatures. *Science of The Total Environment*, 764, 142913. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142913>

Blok, K. (2005). Enhanced policies for the improvement of electricity efficiencies. *Energy Policy*, 33(13), 1635-1641. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.02.006>

Cavaliere, C. K. N., & Da Silva, E. P. (2005). Electricity generation: Regulatory mechanisms to incentive renewable alternative energy sources in Brazil. *Energy Policy*, 33, 1745-1752. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.02.012>

Cedula presupuestaria. (2021). https://www.unemi.edu.ec/wp-content/uploads/2019/02/cedula_presupuestaria_enero.pdf

Destouni, G., & Frank, H. (2010). Renewable Energy. *AMBIO*, 39(1), 18-21. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0059-7>

Dominioni, G., Romano, A., & Sotis, C. (2019). A Quantitative Study of the Interactions between Oil Price and Renewable Energy Sources Stock Prices. *Energies*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/en12091693>

Duque, R., Williams, R., & Payne, A. (2005). Accelerating residential PV expansion: Demand analysis for competitive electricity markets. *Energy Policy*, 33(15), 1912-1929. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.005>

Eduardo Landivar. (2023). Entrevista personal [Comunicación personal].

El-Sayed, M. A. H. (2005). Solar supported steam production for power generation in Egypt. *Energy Policy*, 33, 1251-1259. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.11.021>

Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2021-2.pdf. (s. f.). Recuperado 26 de junio de 2023, de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2021-2.pdf>

Farghali, M., Osman, A. I., Mohamed, I. M. A., Chen, Z., Chen, L., Ihara, I., Yap, P.-S., & Rooney, D. W. (2023). Strategies to save energy in the context of the energy crisis: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 2003-2039. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01591-5>

Germán Martínez Montes, María del Mar Serrano López, María del Carmen Rubio Gámez, & Antonio Menéndez Ondina. (2005). An overview of renewable energy in Spain. The small hydro-power case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(5), 521-534. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.05.008>

Global Energy Crisis – Topics. (s.f.). IEA. Recuperado 22 de junio de 2023, de <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis>

Gnansounou, E., Dauriat, A., & Wyman, C. E. (2005). Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: Economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology*, 96(9), 985-1002. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.015>

He, L., Lin, F., Li, X., Sui, H., & Xu, Z. (2015). Interfacial sciences in unconventional petroleum production: From fundamentals to applications. *Chemical Society Reviews*, 44(15), 5446-5494. <https://doi.org/10.1039/C5CS00102A>

Huacuz, J. M. (2005). The road to green power in Mexico—Reflections on the prospects for the large-scale and sustainable implementation of renewable energy. *Energy Policy*, 33(16), 2087-2099. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.04.004>

Hvelplund, F. (2006). Renewable energy and the need for local energy markets. *Energy*, 31(13), 2293-2302. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.016>

Informe-de-Gestion-2021. (2021). https://www.unemi.edu.ec/wp-content/uploads/2022/03/Informe-de-Gestion-2021-2021-31_3_22.pdf

Jackson, R. B., Friedlingstein, P., Le Quéré, C., Abernethy, S., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Ciais, P., Davis, S. J., Deng, Z., Liu, Z., Korbakken, J. I., & Peters, G. P. (2022). Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels. *Environmental Research Letters*, 17(3), 031001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac55b6>

Johnson, M. E. (2021). Geological Oceanography of the Pliocene Warm Period: A Review with Predictions on the Future of Global Warming. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/jmse9111210>

Kaldellis, K., Vlachou, D. S., & Korbakis, G. (2005). Techno-economic evaluation of small hydro power plants in Greece: A complete sensitivity analysis. *Energy Policy*, 33(15), 1969-1985. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.018>

Lin, K.-L., Jan, M.-Y., & Liao, C.-S. (2017). Energy Consumption Analysis for Concrete Residences—A Baseline Study in Taiwan. *Sustainability*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/su9020257>

Lior, N. (1997). Advanced energy conversion to power. *Energy Conversion and Management*, 38(10), 941-955. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(96\)00125-2](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(96)00125-2)


Lund, H. (2007). Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, 32(6), 912-919. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.017>

Min, H. (2022). Examining the Impact of Energy Price Volatility on Commodity Prices from Energy Supply Chain Perspectives. *Energies*, 15(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/en15217957>

ÓhAiseadha, C., Quinn, G., Connolly, R., Connolly, M., & Soon, W. (2020). Energy and Climate Policy—An Evaluation of Global Climate Change Expenditure 2011–2018. *Energies*, 13(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/en13184839>

Romero Lara, M. J., Comino, F., & Ruiz, M. (2023). Seasonal energy efficiency ratio of regenerative indirect evaporative coolers—Simplified calculation method. *Applied Thermal Engineering*, 220, 119710. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119710>

Veronese, E., Prina, M. G., Berizzi, A., Moser, D., & Manzolini, G. (2021). Costs of utility-scale photovoltaic systems integration in the future Italian energy scenarios. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 29(7), 786-801. <https://doi.org/10.1002/pip.3382>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .