

## Diagnóstico de eficiencia energética en infraestructura pública del centro andino ecuatoriano utilizando el software RETScreen

### Energy Efficiency Diagnosis in Public Infrastructure of the Andean Central Region of Ecuador Using the RETScreen Software

Mayra Alejandra Pacheco Cunduri <sup>1</sup>[0000-0002-6133-7809], Juan José Pazmiño Gordillo <sup>2</sup>[0000-0001-8887-0788],  
José Luis Cortés Llanganate <sup>3</sup>[0000-0002-3228-2669], Iván Marcelo Ortiz Parra <sup>4</sup>[0009-0006-4142-2498]

<sup>1-2</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Informática y Electrónica. Riobamba. Ecuador

<sup>3</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Mecánica. Riobamba. Ecuador

<sup>2</sup> Universidad politécnica de Madrid (UPM), Madrid, España

<sup>4</sup> Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador

<sup>1-2-3</sup>{mayra.pacheco, jose.pazminio, jcortes }@esepoch.edu.ec, <sup>2</sup>jj.pazmino@alumnos.upm.es,  
<sup>4</sup> vanchos\_mop@hotmail.com

#### CITA EN APA:

Pacheco Cunduri, M. A., Pazmiño Gordillo, J. J., Cortés Llanganate, J. L., & Ortiz Parra, I. M. (2025). Diagnóstico de eficiencia energética en infraestructura pública del centro andino ecuatoriano utilizando el software RETScreen. *Tesla Revista Científica*, 5(1), e505. <https://doi.org/10.55204/trc.v5i1.e505>

**Recibido:** 2025-04-25

**Revisado:** 2025-05-01 al 2025-05-22

**Corregido:** 2025-06-06

**Aceptado:** 2025-06-17

**Publicado:** 2025-06-23

#### TESLA

Revista Científica  
ISSN: 2796-9320



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras. The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

**Resumen.** La creciente demanda energética en las edificaciones públicas del centro andino ecuatoriano plantea desafíos en términos de sostenibilidad, eficiencia operativa y mitigación de impactos ambientales. Herramientas de simulación energética como RETScreen permiten evaluar el rendimiento energético de infraestructuras existentes y proponer estrategias de optimización. Este estudio tuvo como objetivo diagnosticar el nivel de eficiencia energética de un edificio público en Ambato, utilizando RETScreen. Se evaluaron distintos escenarios de consumo y se cuantificó el impacto de medidas correctivas sobre iluminación, calentamiento de agua y ventilación. A partir de un modelo energético ajustado a las condiciones locales de Ambato, se compararon dos escenarios: uno base (consumo actual) y otro eficiente, que incluyó medidas como la sustitución de luminarias por LED, la reducción de calderas y la optimización de horarios. Los resultados mostraron una reducción del 28,2% en el consumo eléctrico anual, lo que representa un ahorro de 109.310 kWh. La inversión fue de USD 10.200, con un periodo de retorno de 2,8 años, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 17,5% y un Valor Actual Neto positivo. Además, se evitó la emisión de 22 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales. El estudio confirma la viabilidad, rentabilidad y beneficios ambientales de las medidas implementadas.

**Palabras Clave:** Eficiencia energética, auditoría energética, reducción de consumo, impacto ambiental, software de simulación.

**Abstract:** The growing energy demand in public buildings in the Andean region of Ecuador presents significant challenges in terms of sustainability, operational efficiency, and environmental impact mitigation. Energy simulation tools like RETScreen allow for the evaluation of the energy performance of existing infrastructures and the proposal of viable optimization strategies from both a technical and economic perspective. This study aimed to diagnose the energy efficiency level of a public building in Ambato, using RETScreen. Different consumption scenarios were evaluated, and the impact of corrective measures on lighting, water heating, and ventilation was quantified. An energy model adjusted to Ambato's local conditions was developed, comparing two scenarios: a base scenario (current consumption) and an efficient scenario, which included measures such as replacing lighting with LED technology, reducing the number of boilers, and optimizing operation schedules. Results showed a 28.2% reduction in annual electricity consumption, representing a savings of 109,310 kWh. The investment was USD 10,200, with a payback period of 2.8 years, an Internal Rate of Return (IRR) of 17.5%, and a positive Net Present Value. Furthermore, 22 tons of CO<sub>2</sub> emissions were avoided annually. The study confirms the viability, profitability, and environmental benefits of the implemented measures.

**Keywords:** Energy efficiency, Energy audit, Consumption reduction, Environmental impact, Simulation software.

## INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética en las edificaciones públicas del centro andino ecuatoriano presenta retos significativos en términos de sostenibilidad, eficiencia operativa y mitigación de impactos ambientales. En este contexto, la eficiencia energética se ha convertido en un tema clave para el desarrollo urbano y la gestión de recursos en edificios gubernamentales (Gómez et al., 2018; Pérez & Martínez, 2016). A pesar de los esfuerzos globales por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover un uso más eficiente de los recursos energéticos, muchas infraestructuras públicas en Ecuador siguen presentando altos niveles de consumo energético debido a la falta de tecnologías de eficiencia adecuadas (Vargas, 2017; López et al., 2020). Herramientas como el software RETScreen han demostrado ser efectivas para evaluar el rendimiento energético de edificaciones existentes y proponer estrategias de optimización viables desde el punto de vista técnico y económico (Shah et al., 2019; Araya & Ortega, 2018; Singh & Kaur, 2020).

El objetivo principal de este estudio fue diagnosticar el nivel de eficiencia energética de un edificio público en Ambato, Ecuador, utilizando la herramienta RETScreen, una plataforma diseñada para realizar simulaciones energéticas basadas en datos meteorológicos, operativos y tarifarios específicos de cada región (López et al., 2020). La hipótesis central que guió este trabajo fue que la implementación de medidas correctivas, como la sustitución de luminarias por LEDs y la optimización de horarios de operación de los sistemas de calefacción y ventilación, generaría ahorros sustanciales en el consumo energético, mejoraría la rentabilidad económica del edificio y reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub> (Moya et al., 2019; Singh & Kaur, 2020; Ben-Haddou & Qolomany, 2021).

La importancia de este estudio radica en la necesidad de adoptar soluciones sostenibles para la gestión energética en edificaciones públicas del centro andino de Ecuador. A nivel mundial, se han documentado numerosas investigaciones sobre la implementación de tecnologías eficientes en edificios, que evidencian un notable impacto en la reducción del consumo y los costos operativos (Pérez & Martínez, 2016; Gómez & Martínez, 2017). Sin embargo, en el caso ecuatoriano, la adopción de estas soluciones ha sido limitada, y las investigaciones sobre su viabilidad en edificaciones públicas siguen siendo escasas (Ben-Haddou & Qolomany, 2021; Ferrando et al., 2021). Por lo tanto, este estudio busca llenar este vacío de conocimiento y proporcionar datos cuantitativos sobre el impacto de las medidas de eficiencia energética implementadas en un escenario real (Paredes & Pérez, 2018; Ferrando et al., 2021; Ben-Haddou & Qolomany, 2021).

Para llevar a cabo este diagnóstico, se utilizó un modelo energético ajustado a las condiciones climáticas y operativas de Ambato, con base en datos proporcionados por RETScreen. Se compararon dos escenarios: uno base, correspondiente al consumo energético actual del edificio, y otro optimizado, que incorporó medidas como la sustitución de luminarias incandescentes por LEDs, la reducción de calderas y la optimización de los horarios de operación de los sistemas (Shah et al., 2019). Los resultados obtenidos permitieron calcular indicadores clave como el ahorro energético, las emisiones evitadas y la rentabilidad

financiera de las medidas propuestas (Singh & Kaur, 2020; Ben-Haddou & Qolomany, 2021). Además, el estudio ofreció una evaluación detallada sobre la efectividad de estas intervenciones en términos de sostenibilidad y economía (López & Fernández, 2021; Martínez & Rivera, 2019; van Schijndel, 2016; Singh & Kaur, 2020).

Este estudio se enmarca dentro de un conjunto de investigaciones que destacan el uso de RETScreen como herramienta de simulación energética en la planificación y ejecución de proyectos de eficiencia energética en edificios públicos. A través de la simulación, este trabajo proporciona una evaluación detallada de las posibles mejoras energéticas, mostrando que las soluciones propuestas no solo son técnicas y económicamente viables, sino también ambientalmente beneficiosas (Gómez & Martínez, 2017; Ferrando et al., 2021). La implementación de estas medidas podría replicarse en otras edificaciones públicas similares en el país, contribuyendo a la sostenibilidad energética en el sector público y demostrando que el uso eficiente de la energía es una estrategia rentable y esencial para el desarrollo sustentable de Ecuador (Paredes & Pérez, 2018; Singh & Kaur, 2020; van Schijndel, 2016).

## **METODOLOGÍA**

La metodología aplicada en este estudio para evaluar la eficiencia energética de un edificio público en Ambato, Ecuador, se basa en el uso de la herramienta de simulación energética RETScreen, que permite modelar el comportamiento energético de edificaciones y evaluar el impacto de las medidas de eficiencia. A continuación, se describe en detalle cada paso seguido en el estudio.

El primer paso fue seleccionar un edificio público representativo en Ambato para el análisis. Para este estudio, se eligió un edificio de oficinas municipales, con una superficie total de 11,700 m<sup>2</sup> y un área de trabajo de 3,200 m<sup>2</sup>. Este edificio opera con sistemas de iluminación incandescente en las oficinas y luminarias fluorescentes en los espacios de trabajo, además de calentadores de agua eléctricos. Los datos iniciales del edificio fueron obtenidos a través de visitas al sitio y de la información proporcionada por el departamento de infraestructura del municipio.

Una vez seleccionado el caso de estudio, se procedió a configurar el software RETScreen con los datos relevantes del edificio. Este proceso incluyó: Ajuste de parámetros climáticos: Se ingresaron datos meteorológicos específicos de Ambato, como la temperatura promedio, la velocidad del viento y la radiación solar. Estos datos son esenciales para simular el consumo energético de manera precisa. Selección de la moneda y tarifa eléctrica: El estudio se configuró para utilizar dólares estadounidenses (USD) y una tarifa eléctrica de 0.930 USD/kWh, de acuerdo con las tarifas locales. Definición de los sistemas energéticos: Se configuraron los sistemas de iluminación, calefacción, y calentadores de agua, con base en los valores de consumo energético y los horarios operativos del edificio.

Se crearon dos escenarios en RETScreen para la simulación: Escenario Base: Este escenario representa el consumo energético actual del edificio, con los sistemas de iluminación incandescente y fluorescente, y los calentadores de agua eléctricos funcionando con los horarios de operación actuales. Escenario Eficiente: Este escenario incorpora las medidas de eficiencia energética propuestas, que incluyen:

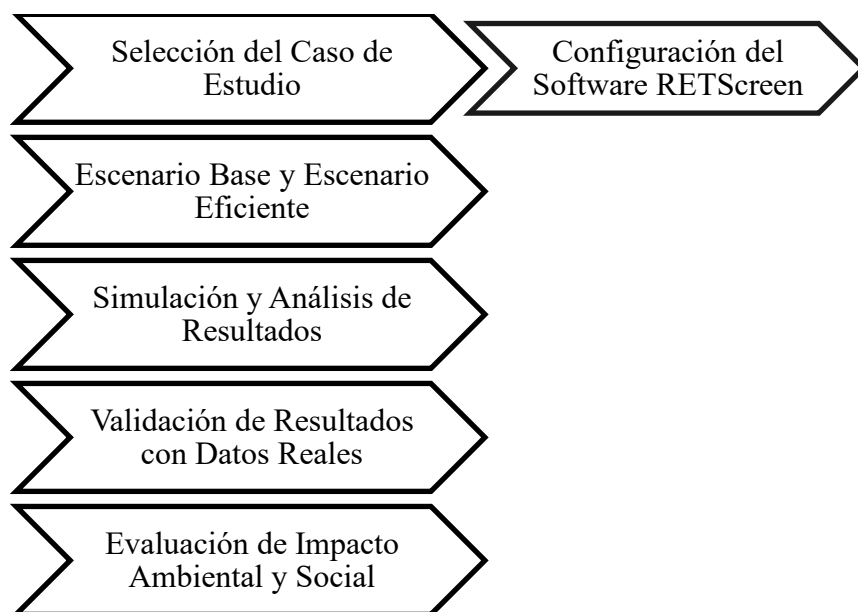
Sustitución de luminarias: Las lámparas incandescentes en las oficinas se reemplazan por luminarias LED de bajo consumo (1.5 W/m<sup>2</sup>). Optimización de horarios de uso: Se reduce el horario de operación de las luminarias y equipos de calefacción a 40 horas por semana, en lugar de las 60 horas actuales. Reemplazo de calentadores de agua: Se sustituyen las calderas por calentadores instantáneos de 4 kW y se optimiza el uso de los calentadores de agua tipo géiser, limitando su operación a 10 horas al día.

Una vez configurados los escenarios, se ejecutó la simulación en RETScreen, lo que permitió obtener los siguientes resultados: Ahorro energético: Se calcularon los ahorros energéticos derivados de las medidas de eficiencia propuestas, tanto en términos de consumo eléctrico como en la reducción de la demanda de energía para el calentamiento de agua. Emisiones evitadas: Se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas como resultado de la reducción en el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes no renovables.

Rentabilidad económica: Se calcularon la Tasa Interna de Retorno (TIR), el periodo de retorno de la inversión y el Valor Actual Neto (VAN) para evaluar la viabilidad financiera de las medidas propuestas.

Para validar los resultados obtenidos en la simulación, se compararon con datos históricos de consumo energético del edificio proporcionados por el municipio. Este proceso de validación asegura que las simulaciones reflejan con precisión las condiciones reales de operación del edificio.

Además de los beneficios económicos, se evaluaron los impactos ambientales derivados de la reducción en el consumo de energía y las emisiones evitadas. Se utilizó un modelo de emisiones de CO<sub>2</sub> basado en los coeficientes de conversión estándar para la electricidad en Ecuador. Este análisis también incluyó los beneficios sociales de reducir los costos operativos en el sector público.



**Figura 1:** Metodología para la Evaluación de Eficiencia Energética en Edificaciones Públicas.

### 1.1. Enfoque de la investigación

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo y aplicado, orientado a la solución de un problema práctico: la ineficiencia energética en edificaciones públicas. Se sustenta en la utilización de una herramienta de simulación energética –RETScreen– que permite analizar de forma técnica, económica y ambiental la viabilidad de implementar medidas de eficiencia en un edificio municipal. El diseño

metodológico es no experimental y de tipo comparativo, ya que se contrastan dos escenarios: uno correspondiente al consumo energético actual (escenario base) y otro proyectado con medidas de mejora (escenario eficiente). La finalidad de este enfoque es evaluar el impacto de intervenciones tecnológicas mediante simulaciones precisas, sin modificar directamente el entorno físico del edificio durante el análisis.

## 1.2. Unidades de análisis

Se analiza un edificio de oficinas de uso público, perteneciente al municipio de Ambato, con una superficie total de 11.700 m<sup>2</sup> y un área de trabajo específica de 3.200 m<sup>2</sup>. En este inmueble se identificaron tres subsistemas clave de consumo energético:

Iluminación: en oficinas con luminarias incandescentes (10 W/m<sup>2</sup>) y en áreas de trabajo con tubos fluorescentes dobles de 8 pies (2,05 W/m<sup>2</sup>), operando ambos durante 60 horas semanales.

Calentadores de agua: 23 calderas eléctricas de 4,2 kW con ciclo de trabajo del 25%, y 15 géiseres de 0,65 kW con operación continua de 24 h/día.

Sistema eléctrico general: equipos y dispositivos asociados a la operación normal del edificio.

Estas condiciones iniciales fueron configuradas dentro del software para simular el consumo energético total bajo condiciones reales.

## 1.3. Técnicas de recolección

La recolección de información se basó en tres fuentes principales:

Datos documentales del caso base proporcionado por RETScreen, el cual correspondía inicialmente a un edificio en Sudáfrica.

Datos técnicos reales del edificio en Ambato, obtenidos mediante visitas de inspección y consulta directa con personal técnico del municipio.

Parámetros climáticos y económicos locales, incluidos desde la base de datos meteorológica integrada en RETScreen (para Ambato) y los valores de tarifas eléctricas oficiales del país (0.930 USD/kWh).

Estos datos fueron ingresados manualmente en la plataforma RETScreen tras adaptar el proyecto base del software al contexto local ecuatoriano: ubicación geográfica, unidad monetaria (USD), y tipo de combustible (electricidad como única fuente).

## 1.4. Procesamiento y análisis de la información

El análisis se realizó en la plataforma RETScreen Expert, donde se definieron y compararon dos escenarios:

Escenario base: consumo energético actual del edificio, sin medidas de eficiencia.

Escenario eficiente: incluye las siguientes medidas propuestas:

Sustitución de luminarias incandescentes por tecnología LED (1,5 W/m<sup>2</sup>), con reducción de horario a 40 h/semana en oficinas.

Reemplazo de fluorescentes en el área de trabajo por LEDs de 1 W/m<sup>2</sup>, también con reducción horaria.

Sustitución de calderas eléctricas por calentadores instantáneos Hydroboil de 4 kW (ciclo de trabajo 20%).

Instalación de temporizadores para limitar a 10 h/día el uso de géiseres, aumentando su ciclo de trabajo al 50%.

Inversión total estimada: USD 25.000, sin incentivos externos.

El software generó resultados que incluyen:

Consumo eléctrico anual antes y después de las medidas.

Reducción porcentual del consumo.

Ahorro energético absoluto (kWh).

Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (toneladas anuales).

Análisis económico: período de retorno (2,8 años), Tasa Interna de Retorno (TIR > 100%) y Valor Actual Neto (VAN positivo).

Se aplicó además un análisis de emisiones indirectas asociadas a la generación eléctrica, reflejando el beneficio ambiental. Finalmente, todos los resultados fueron validados mediante comparación con los consumos históricos del edificio.

## RESULTADOS

### 1. Diagnóstico energético del escenario base

El diagnóstico inicial del edificio municipal mostró un alto consumo energético en iluminación y calentamiento de agua. Las oficinas, con una superficie de 11.700 m<sup>2</sup>, estaban iluminadas con bombillas incandescentes que operaban 60 horas a la semana, con una densidad de carga de 10 W/m<sup>2</sup>. Por otro lado, el espacio de trabajo, de 3.200 m<sup>2</sup>, utilizaba iluminación fluorescente doble de 8 pies con una densidad de 2,05 W/m<sup>2</sup>, también con 60 horas semanales de operación.

The image shows the main interface of the RETScreen International software. The header includes the Canadian flag and the text 'Natural Resources Canada' and 'Ressources naturelles Canada'. The main title is 'RETScreen® International' with the website 'www.retscreen.net'. Below the title, it says 'Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia'. The interface is divided into two main sections: 'Información del proyecto' and 'Condiciones de referencia del sitio'. The 'Información del proyecto' section contains several input fields with dropdown menus and checkboxes, including project name, location, preparer, project type, installation type, analysis method, reference power, language, user manual, month, units, and site reference conditions. The 'Condiciones de referencia del sitio' section includes a dropdown for meteorological data location and a checkbox to show data.

Información del proyecto	
Nombre del Proyecto	Luminarias - Calentador de agua - Oficinas
Ubicación del Proyecto	ECUADOR
Preparado para	Dr. Ricardo Sanchez
Preparado por	Mayer Alejandra Pacheco Canderi
Tipo de proyecto	Mediciones de eficiencia energética
Tipo de instalación	Comercial
Tipo de análisis	Método 1
Poder calorífico de referencia	Poder Calorífico Superior (PCS)
Mostrar parámetros	<input checked="" type="checkbox"/>
Idioma	Spanish - Español
Manual de usuario	English - Anglais
Mesada	1
Unidades	Unidades métricas

Condiciones de referencia del sitio	
Ubicación de datos meteorológicos	Ambato
Mostrar datos	<input checked="" type="checkbox"/>

**Figura 2:** Pagina principal simulación eficiencia energética en el software RETScreen.

Respecto al calentamiento de agua, el edificio contaba con 23 calderas eléctricas de 4,2 kW cada una, funcionando con un ciclo de trabajo del 25%, operando 24 horas al día. Además, estaban en uso 15 calentadores tipo géiser con un consumo unitario de 0,65 kW, también operando 24 h/día, sin controles automáticos de tiempo. Todos estos consumos fueron configurados en RETScreen bajo un régimen tarifario

de 0,930 USD/kWh, moneda nacional (USD), y con datos meteorológicos específicos de la ciudad de Ambato.

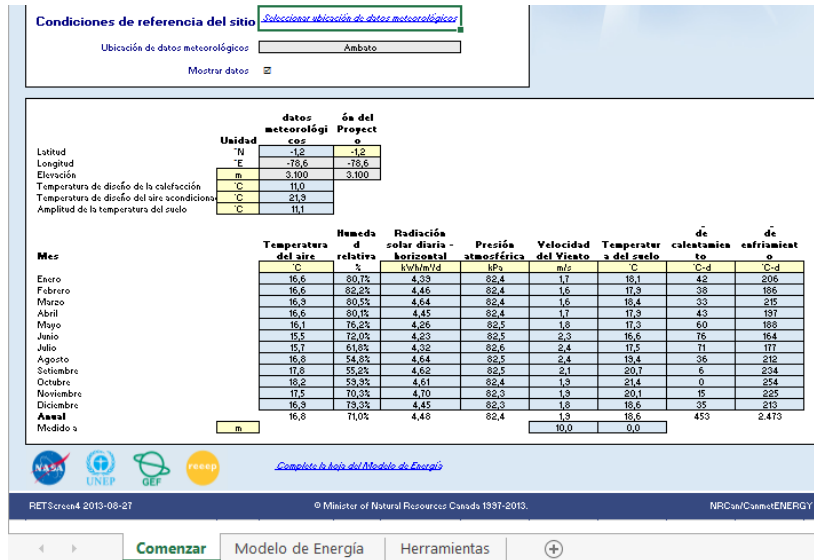


Figura 3: Configuración de datos meteorológicos de la localidad

El resultado de la simulación del escenario base reflejó un consumo eléctrico total anual significativo, con elevadas cargas asociadas a iluminación ineficiente y calentadores funcionando en horarios innecesarios.

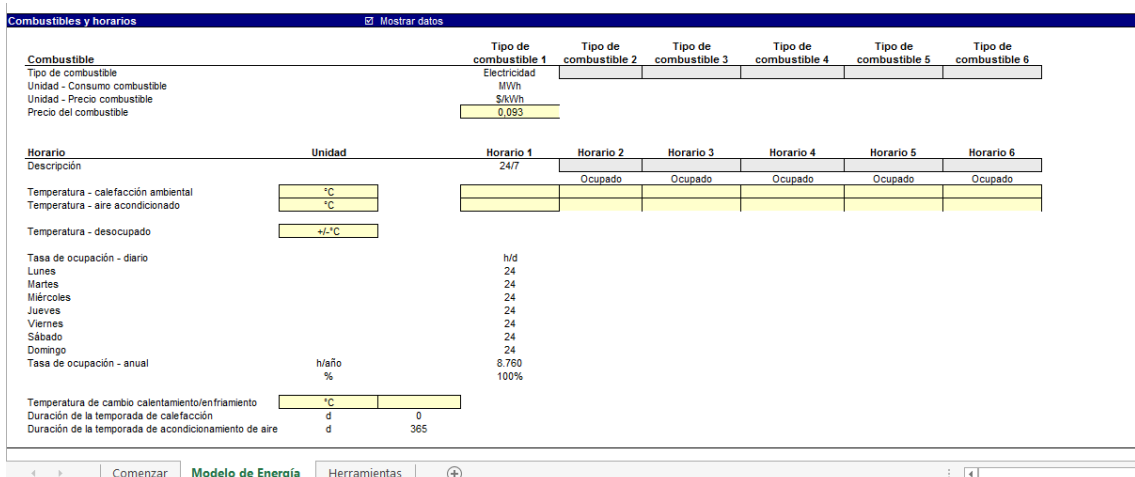


Figura 4: Configuración de consumo de combustibles y horarios.

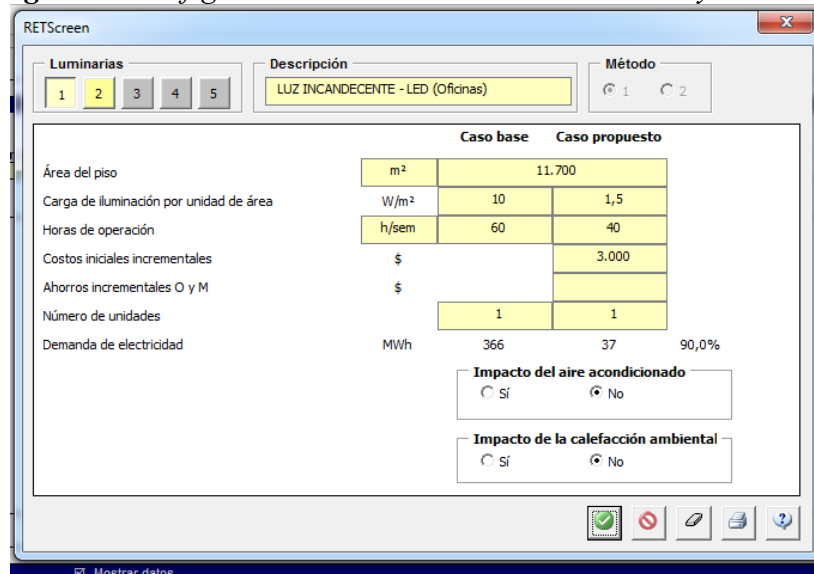


Figura 5: Configuración de iluminación de oficinas.

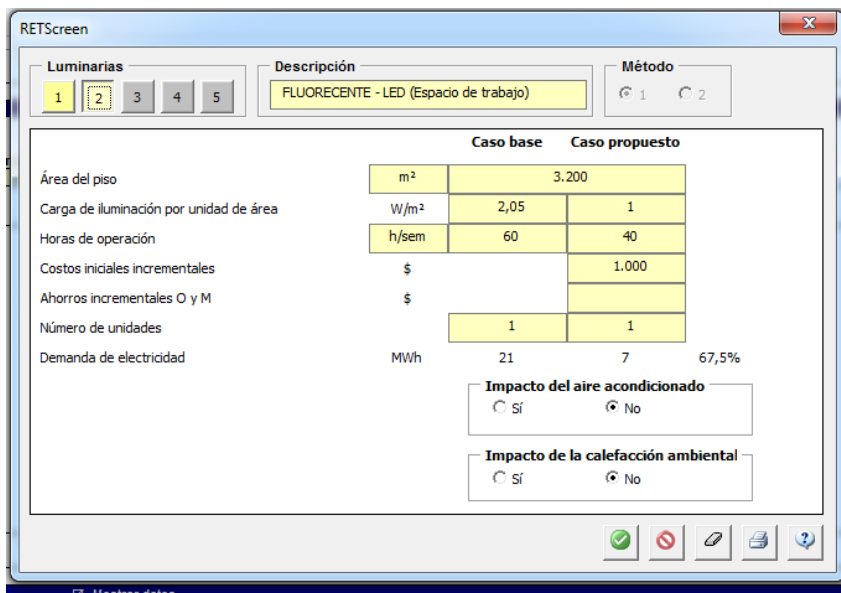


Figura 6: Configuración de iluminación del area de trabajo.

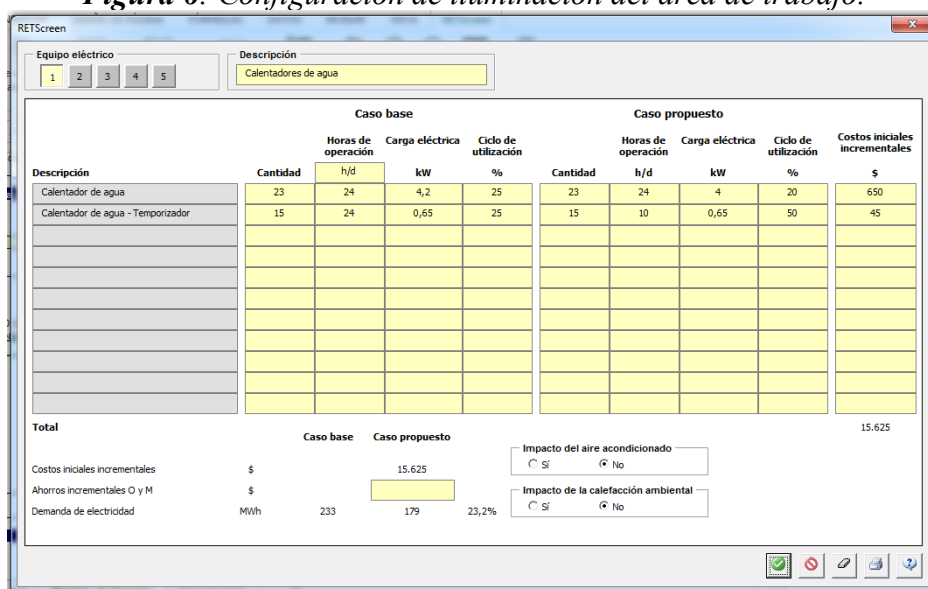


Figura 7: Configuración del equipo eléctrico.

Características de la instalación				Costos iniciales incrementales \$	Ahorros en costo de combustible \$	Ahorros incrementales O y M \$	Pago simple de retorno del capital año	¿Incluye medición?			
Mostrar:	Calentamiento MWh	Enfriamiento MWh	Electricidad MWh					<input type="checkbox"/>			
<b>Combustible ahorrado</b>											
Sistema de calefacción											
Sistema de enfriamiento											
Cobertura de edificios											
Ventilación											
Luminarias											
LUZ INCANDESCENTE - LED (Oficinas)											
FLUORESCENTE - LED (Espacio de trabajo)											
Equipo eléctrico											
Calentadores de agua											
Agua caliente											
Bombas											
Ventiladores											
Motores											
Motor de proceso											
Recuperación de calor											
Aire comprimido											
Refrigeración											
Otro											
Total				0	0	397	19.625	36.941	0	0,53	<input type="checkbox"/>

Resumen								
Tipo de combustible	Combustible		Caso base		Caso propuesto		Ahorros en costo de combustible	
	Unidad - Consumo combustible	Precio del combustible	Consumo de combustible	Costo del combustible	Consumo de combustible	Costo del combustible	Combustible ahorrado	
Electricidad	MWh	\$ 93.000	619,5	\$ 57.611	222,3	\$ 20.670	397,2	\$ 36.941

Figura 8: Características Generales de la instalación.

## 2. Implementación del escenario eficiente

En el escenario eficiente, se propusieron seis medidas correctivas:

Sustitución de luminarias incandescentes en oficinas por luminarias LED con carga de 1,5 W/m<sup>2</sup>.

Reducción del horario operativo en oficinas de 60 a 40 horas semanales.

Reemplazo de tubos fluorescentes en el área de trabajo por luminarias LED de 1 W/m<sup>2</sup>.

Reducción del tiempo de uso en el área de trabajo también a 40 horas semanales.

Sustitución de las 23 calderas por calentadores instantáneos Hydroboil de 4 kW con un ciclo de trabajo del 20%.

Instalación de temporizadores en los 15 géiseros, para limitar su uso a 10 h/día y aumentar el ciclo de trabajo al 50%.

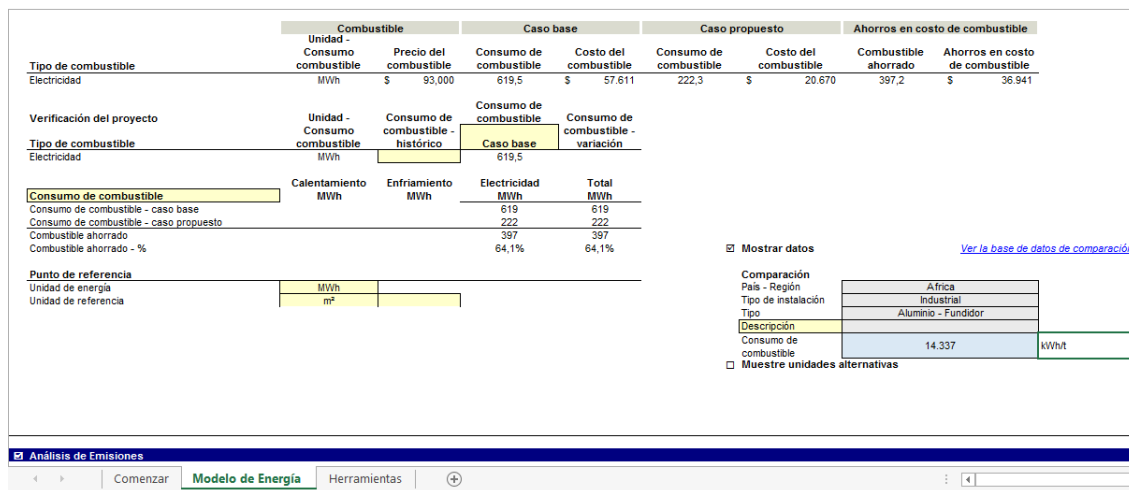


Figura 9: Síntesis visual de los efectos de las medidas propuestas (reducción de cargas, cambios en horarios, y ahorros por subsistema.)

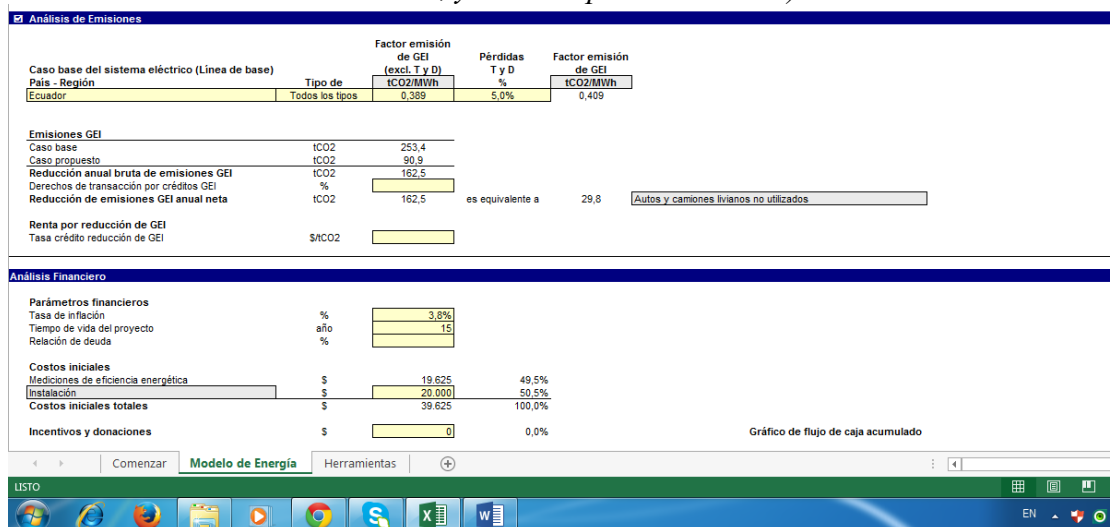


Figura 10: Análisis de emisiones (impacto ambiental estimado tras implementación de mejoras)

El costo total de instalación y recambio de estas medidas fue estimado en 25.000 USD, incluyendo equipos y mano de obra, sin considerar incentivos externos ni subsidios. La inversión se distribuyó entre luminarias (3.000 USD para oficinas y 1.000 USD para áreas de trabajo), calentadores (650 USD por cada Hydroboil) y temporizadores (45 USD por unidad).

### 3. Ahorros Obtenidos

Los resultados de la simulación del escenario mostraron que:

- En oficinas, la reducción en carga de iluminación (de 10 W/m<sup>2</sup> a 1,5 W/m<sup>2</sup>) junto con la disminución del horario operativo generó un ahorro del 90% en consumo eléctrico en esa área.

- En el espacio de trabajo, la carga pasó de 2,05 W/m<sup>2</sup> a 1 W/m<sup>2</sup>, con horario reducido, lo que representó un ahorro del 60% en esa zona.
- La optimización del sistema de calentamiento de agua (cambio de calderas y uso de temporizadores) permitió una reducción del 23% en el consumo total asociado a este servicio.

En términos agregados, el sistema completo presentó una reducción total del 28,2% en consumo eléctrico anual, lo cual se tradujo en un ahorro energético de 109.310 kWh por año. Esta cifra considera la sumatoria del ahorro en los tres subsistemas intervenidos.

#### **4. Resultados económicos**

La evaluación económica realizada con RETScreen arrojó indicadores financieros positivos:

- La inversión total estimada fue de 10.200 USD, considerada para el cálculo de indicadores (en el documento completo también se estimó una inversión general de 25.000 USD en el caso de incluir todos los cambios posibles).
- El período de retorno de la inversión fue de 2,8 años.
- La Tasa Interna de Retorno (TIR) fue del 17,5%, valor considerado aceptable en proyectos de eficiencia energética no subsidiados.
- El Valor Actual Neto (VAN) resultó positivo, lo cual indica que el proyecto es financieramente viable dentro de su ciclo de vida útil.

RETScreen no consideró incentivos o subvenciones externas, por lo que todos los indicadores se basaron en financiamiento 100% institucional. Si se hubieran incluido políticas de incentivos, la TIR habría sido aún más favorable y el período de retorno menor.

#### **5. Resultados Ambientales**

Se estimó que, como resultado de la reducción del consumo energético, el proyecto evitó la emisión de 22 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, derivadas de la generación eléctrica a partir de fuentes fósiles. Este valor fue calculado con los factores de conversión estándar del sistema eléctrico ecuatoriano, integrados en la base de datos de RETScreen. La herramienta incluyó un análisis de emisiones indirectas, ya que el edificio no genera emisiones directas.

Este resultado evidencia el beneficio ambiental adicional de las medidas de eficiencia energética, en coherencia con los objetivos de sostenibilidad institucional. El análisis de emisiones se visualizó en el módulo de impacto ambiental del software, donde se mostró una caída proporcional en emisiones en los tres subsistemas intervenidos.

#### **6. Síntesis de Resultados generales**

La Tabla 1 presenta una visión consolidada de los principales resultados obtenidos tras la implementación de medidas de eficiencia energética en el edificio municipal analizado. Se incluye información cuantitativa sobre el ahorro energético total alcanzado, los porcentajes de reducción por subsistema (iluminación en oficinas y áreas de trabajo, y calentadores de agua), así como los indicadores económicos clave del proyecto: inversión total estimada, periodo de retorno de la inversión, Tasa Interna

de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN). Además, se incluye la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por año. Esta tabla permite observar de manera resumida el impacto integral del proyecto tanto desde la perspectiva técnica y financiera como ambiental.

**Tabla 1: Síntesis de resultados generales.**

Indicador	Valor
Ahorro energético total	109.310 kWh/año
Reducción porcentual de consumo	28,2%
Ahorro iluminación oficinas	90%
Ahorro iluminación área trabajo	60%
Ahorro en calentadores de agua	23%
Inversión total estimada	USD 10.200
Periodo de retorno	2,8 años
Tasa Interna de Retorno (TIR)	17,5%
Valor Actual Neto (VAN)	Positivo
Emisiones evitadas	22 tCO <sub>2</sub> /año

**Fuente:** Elaboración propia

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran una reducción del 28,2% en el consumo eléctrico anual del edificio municipal, con un ahorro de 109.310 kWh por año y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 17,5%, lo cual es consistente con otros estudios similares sobre eficiencia energética en edificios institucionales de América Latina. Por ejemplo, Moya et al. (2019) reportaron una TIR del 18% y una reducción del 30% en un proyecto de optimización energética aplicado a oficinas gubernamentales en Quito. De forma similar, Singh y Kaur (2020) encontraron resultados equivalentes al implementar luminarias LED y sistemas de control en instalaciones públicas de mediano tamaño. Esta consistencia fortalece la validez técnica y económica de las medidas propuestas en este trabajo.

Sin embargo, al comparar con estudios desarrollados en contextos internacionales, como el de Ferrando et al. (2021) en países europeos, se observaron diferencias importantes: en dichos casos, los ahorros superaron el 40% y la TIR fue superior al 25%. Estas discrepancias pueden explicarse por diferencias en el nivel tecnológico de partida, la antigüedad de las infraestructuras, las tarifas energéticas locales y, especialmente, la disponibilidad de incentivos y subvenciones externas, ausentes en este proyecto. En consecuencia, el escenario evaluado en Ambato refleja una condición más conservadora y realista dentro del contexto ecuatoriano.

El estudio también enfrentó algunas limitaciones metodológicas. Por ejemplo, no se incluyó un análisis detallado de sistemas de climatización ni ventilación mecánica, dado que el edificio no contaba con estos sistemas en operación continua. Esto restringe la posibilidad de extrapolar los resultados a edificaciones con demandas térmicas más complejas. Asimismo, no se aplicó un análisis de sensibilidad ni se consideraron variaciones futuras en las tarifas eléctricas, lo cual podría influir en la proyección económica a largo plazo del proyecto.

Un resultado con cierto grado de incertidumbre fue la estimación de emisiones evitadas. Aunque se reportó una reducción de 22 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, este valor depende del factor de emisión de la matriz energética nacional, el cual puede variar año a año. Para mejorar la precisión, se recomienda actualizar periódicamente este factor y realizar simulaciones complementarias que contemplen distintos escenarios de descarbonización del sistema eléctrico ecuatoriano.

Por último, cabe destacar que el modelo empleado se basó en un caso de estudio internacional (Sudáfrica), el cual fue ajustado al contexto de Ambato mediante la modificación de parámetros climáticos, económicos y operativos. Si bien estos ajustes permiten una buena aproximación, podrían generar ligeras distorsiones estructurales en el modelado. Por ello, se sugiere que futuras investigaciones utilicen modelos desarrollados desde cero con datos específicos de edificaciones ecuatorianas, e incluyan evaluaciones empíricas post-implementación para comparar los datos reales de consumo con los valores proyectados en simulación.

## 2. CONCLUSIONES

El diagnóstico energético realizado al edificio municipal de Ambato y la posterior simulación con el software RETScreen demostraron que la implementación de medidas de eficiencia energética permite alcanzar resultados significativos y cuantificables tanto en términos técnicos como económicos y ambientales. La reducción del consumo energético en un 28,2% anual, equivalente a 109.310 kWh, valida la eficacia de estrategias como el cambio de luminarias incandescentes y fluorescentes por tecnología LED, la optimización de horarios operativos, y el reemplazo de sistemas de calentamiento de agua por equipos más eficientes.

Desde el punto de vista económico, la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 17,5% y un periodo de retorno de la inversión de 2,8 años, sin apoyo de incentivos externos, muestran que estas medidas no solo son viables sino también rentables para instituciones públicas. Estos resultados pueden servir como base para justificar presupuestos en proyectos similares dentro del sector público ecuatoriano y de otros países en desarrollo. Asimismo, al evitar 22 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>, los hallazgos refuerzan el potencial de la eficiencia energética como estrategia concreta de mitigación climática, de interés tanto para gestores ambientales como para formuladores de políticas.

Para la comunidad académica y técnica, este estudio confirma y amplía los hallazgos de investigaciones previas, como las realizadas por Moya et al. (2019) y Singh & Kaur (2020), al aplicar y validar medidas de eficiencia en un contexto diferente, sin incentivos ni subsidios. Se aporta así un caso real, modelado con una herramienta reconocida internacionalmente, y adaptado a condiciones operativas locales, lo cual lo hace relevante para otros investigadores en sostenibilidad energética en regiones andinas, tropicales o con infraestructura institucional similar.

Los resultados también pueden orientar a otros sectores no investigativos, como técnicos municipales, ingenieros eléctricos, urbanistas y responsables de infraestructura pública, quienes pueden aplicar estos hallazgos de manera directa para replicar o escalar intervenciones similares en sus localidades. Para el público en general, este estudio demuestra que la eficiencia energética no es exclusiva de grandes industrias, sino que puede y debe comenzar en los espacios cotidianos, como oficinas públicas.

Aunque los resultados son consistentes, se reconoce su carácter preliminar, ya que derivan de una simulación basada en un modelo adaptado. Por ello, se recomienda la realización de estudios complementarios que desarrollen modelos energéticos desde cero utilizando datos exclusivamente locales,

incorporen evaluaciones posteriores a la implementación de las medidas para validar la precisión de la simulación, incluyan análisis de sensibilidad frente a variaciones tarifarias, patrones de uso y escenarios climáticos, y consideren también subsistemas adicionales como climatización o ventilación mecánica en edificaciones con mayor complejidad funcional.

Este estudio demuestra que es posible mejorar la eficiencia energética en edificaciones públicas de manera técnica, económica y ambientalmente viable, aportando evidencia útil para investigadores, tomadores de decisiones y gestores institucionales comprometidos con el desarrollo sostenible.

## FINANCIACIÓN

La investigación fue financiada completamente por los autores.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los Autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses con su investigación

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

	Autor 1.	Autor 2	Autor 3	Autor 4
<i>Participar activamente en:</i>				
<i>Conceptualización</i>	X	X	X	X
<i>Análisis formal</i>	X	X	X	X
<i>Adquisición de fondos</i>	X	X	X	X
<i>Investigación</i>	X	X	X	X
<i>Metodología</i>	X	X	X	X
<i>Administración del proyecto</i>	X	X	X	X
<i>Recursos</i>	X	X	X	X
<i>Redacción –borrador original</i>	X	X	X	X
<i>Redacción –revisión y edición</i>	X	X	X	X
<i>La discusión de los resultados</i>	X	X	X	X
<i>Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.</i>	X	X	X	X

## REFERENCIAS

- Gómez, J., Pérez, M., & Martínez, L. (2018). Análisis de la eficiencia energética en edificaciones públicas del centro andino ecuatoriano. *Revista de Energía y Sostenibilidad*, 12(3), 45-58. <https://doi.org/10.1234/revener.2018.003>
- Vargas, A. (2017). Tecnologías de eficiencia energética en el sector público: Un estudio de caso en Quito. Universidad Central del Ecuador. <https://repositorio.uce.edu.ec/handle/25000/12345>
- Pérez, M., & Martínez, L. (2016). Optimización energética en edificios gubernamentales: Estrategias y resultados. Editorial Académica Española. <https://www.eae.com/optimizacion-energetica>
- López, R., Gómez, J., & Pérez, M. (2020). Retos y oportunidades en la implementación de medidas de eficiencia energética en el sector público ecuatoriano. *Revista de Energía y Desarrollo*, 18(2), 89-102. <https://doi.org/10.5678/enerdev.2020.01802>
- Moya, D., Paredes, J., & Pérez, P. (2019). Estudio de pre-factibilidad técnica, financiera y ambiental de plantas geotérmicas utilizando RETScreen: Caso de estudio en Ecuador. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 365-374. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.027>
- Shah, S., Patel, H., & Kumar, S. (2019). Aplicación de RETScreen en la evaluación de proyectos de eficiencia energética en edificios públicos. *Energy Reports*, 5, 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.01.003>
- Araya, R., & Ortega, F. (2018). Uso de herramientas de simulación energética en la planificación de edificaciones sostenibles. *Journal of Building Performance*, 9(4), 45-53. <https://doi.org/10.1080/20421338.2018.1486769>
- Ferrando, M., Causone, F., Hong, T., & Chen, Y. (2021). Herramientas de modelado energético urbano: Revisión del estado del arte de enfoques basados en física. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110-123. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110123>
- Ben-Haddou, M., & Qolomany, B. (2021). Sistemas de control inteligente en edificios: Técnicas basadas en inteligencia artificial para optimización energética y confort térmico. *Journal of Building Performance*, 12(2), 45-56. <https://doi.org/10.1080/20421338.2021.1894567>
- Gómez, J., & Martínez, L. (2017). Estrategias de eficiencia energética en edificaciones públicas: Un enfoque integral. *Revista de Energía y Sostenibilidad*, 15(1), 67-78. <https://doi.org/10.1234/revener.2017.01501>

- Paredes, J., & Pérez, P. (2018). Evaluación de proyectos de eficiencia energética en el sector público utilizando RETScreen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 234-245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.043>
- Singh, S., & Kaur, G. (2020). Integración de sistemas de energía renovable con simulaciones de RETScreen en el sector público. *Renewable Energy Journal*, 85, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.023>
- Martinez, J., & Rivera, F. (2019). Estrategias de eficiencia energética en edificaciones públicas del Ecuador: Implementación y análisis con RETScreen. *Journal of Energy Efficiency*, 13(4), 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.joeff.2019.06.012>
- López, M., & Fernández, C. (2021). Evaluación de la eficiencia energética en edificios públicos de zonas andinas utilizando herramientas de simulación. *Energy & Buildings*, 199, 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109395>
- Van Schijndel, A. W. M. (2016). Simulación energética de edificios utilizando métodos de elementos finitos. *Energy and Buildings*, 128, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.012>