

Estimación de la huella de carbono con alcance 1 y 2 en la Escuela de Educación Básica “Ecuador”: un estudio comparativo en el período 2023-2025.

Estimation of the Scope 1 and 2 Carbon Footprint at the “Ecuador” Elementary School: A Comparative Study for the 2023–2025 Period.

Bósquez-Mestanza, Angelita Leonor¹; Rodríguez-Balza, Mairett².

¹ Universidad Politécnica Estatal del Carchi; Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0002-3224-884X>; abosquezm@uteq.edu.ec.

² INTEROC S.A; Ecuador, Guayaquil; <https://orcid.org/0000-0002-3177-6456>; mairrett.rodriguez@interoc.biz

¹ Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v4/n3/348>

Cita: Bósquez-Mestanza, A. L., & Rodríguez-Balza, M. (2026). Estimación de la huella de carbono con alcance 1 y 2 en la Escuela de Educación Básica “Ecuador”: un estudio comparativo en el período 2023-2025. *Innova Science Journal*, 4(3), 297-318. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v4/n3/348>

Recibido: 17/01/2026

Aceptado: 15/06/2026

Publicado: 31/07/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Resumen: El incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero representa un desafío ambiental global que exige evaluar el impacto de diversos sectores, incluidas las instituciones educativas, para fortalecer estrategias de sostenibilidad. Esta investigación tuvo como objetivo estimar la huella de carbono de alcance 1 y 2 de la Escuela de Educación Básica “Ecuador”, ubicada en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, Ecuador, durante el período 2023–2025. Se desarrolló un estudio cuantitativo, descriptivo, comparativo y longitudinal, utilizando registros institucionales de consumo de combustibles fósiles y energía eléctrica. Las emisiones, expresadas en toneladas de CO₂ equivalente, se calcularon mediante las metodologías del Greenhouse Gas Protocol, MITECO e IPCC. El análisis incluyó pruebas de Shapiro-Wilk, Levene, Kruskal-Wallis, regresión lineal simple y variación porcentual interanual. Los resultados mostraron una huella de carbono de 10,42 t CO₂e en 2023, 11,29 t CO₂e en 2024 y 9,89 t CO₂e en 2025. El incremento registrado en 2024 se atribuyó al mayor uso del generador eléctrico durante los racionamientos nacionales. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre años ($p > 0,05$), la crisis energética influyó en las emisiones, evidenciando la necesidad de fortalecer la eficiencia energética y adoptar tecnologías renovables.

Palabras clave: huella de carbono; sostenibilidad educativa; emisiones de CO₂; eficiencia energética; cambio climático.

Abstract: The increase in greenhouse gas emissions represents a global environmental challenge that requires an assessment of the impact of various sectors—including educational institutions—in order to strengthen sustainability strategies. The objective of this research was to estimate the Scope 1 and 2 carbon footprint of the “Ecuador” Elementary School, located in the San Carlos parish, Quevedo canton, Ecuador, during the 2023–2025 period. A quantitative, descriptive, comparative, and longitudinal study was conducted using institutional records of fossil fuel and electricity consumption. Emissions, expressed in metric tons of CO₂ equivalent, were calculated using the methodologies of the Greenhouse Gas Protocol, MITECO, and the IPCC. The analysis included Shapiro-Wilk, Levene, and Kruskal-Wallis tests, simple linear regression, and year-over-year percentage change. The results showed a carbon footprint of 10.42 t CO₂e in 2023, 11.29 t CO₂e in 2024, and 9.89 t CO₂e in 2025. The increase recorded in 2024 was attributed to greater use of the electric generator during national power rationing. Although no significant differences were found between years ($p > 0.05$), the energy crisis influenced emissions, highlighting the need to improve energy efficiency and adopt renewable technologies.

Keywords: carbon footprint; sustainability in education; CO₂ emissions; energy efficiency; climate change.

1. Introducción

Las actividades humanas han incrementado significativamente la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que refuerza la retención de calor y favorece el aumento de la temperatura global. Esta alteración afecta directamente al sistema climático, generando modificaciones en las condiciones meteorológicas, elevación del nivel del mar y diversos impactos sobre el entorno natural (Filonchyk et al., 2024). Entre los principales responsables de este proceso se encuentran gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y otros compuestos contaminantes (Gálvez-Campos et al., 2025). Frente a esta problemática, resulta fundamental disminuir las emisiones contaminantes y promover alternativas sostenibles que contribuyan a la protección ambiental a largo plazo.

Por consiguiente, la huella de carbono se ha convertido en un instrumento esencial para determinar la cantidad de gases de efecto invernadero liberados como resultado de distintas actividades humanas. Este indicador permite cuantificar emisiones generadas por procesos, servicios o acciones diarias, facilitando una comprensión más precisa del impacto ambiental (National Geographic, 2024). Su evaluación contempla emisiones directas, asociadas a fuentes bajo control institucional como combustibles utilizados en vehículos o equipos, así como emisiones indirectas relacionadas principalmente con la energía eléctrica consumida. Estas fuentes se clasifican dentro de los alcances 1 y 2, y su cálculo en toneladas de CO_2 equivalente proporciona una base técnica sólida para analizar el desempeño ambiental de las organizaciones y establecer medidas orientadas a la disminución de emisiones (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023).

En respuesta a este problema, diversas organizaciones han reconocido la necesidad de evaluar con mayor exactitud el impacto ambiental derivado de sus actividades operativas. Dentro de este marco, la aplicación de la huella de carbono permite comprender de forma más clara cómo las dinámicas operativas contribuyen al cambio climático y facilita la implementación de medidas orientadas a reducir emisiones y fortalecer prácticas sostenibles (Wagner et al., 2021).

En el ámbito educativo, este tipo de análisis ha cobrado especial importancia, debido a que las instituciones, además de su papel formativo en sostenibilidad, mantienen procesos administrativos y operativos que también generan emisiones significativas. Estudios recientes han demostrado que, dentro de estos espacios, el consumo eléctrico, el transporte y el uso de combustibles constituyen algunas de las principales fuentes de emisión, lo que evidencia la importancia de analizar particularmente los alcances 1 y 2 para comprender con mayor exactitud el comportamiento ambiental institucional (Paredes-Canencio et al., 2024).

Como antecedente internacional, en países desarrollados, estudios realizados en universidades han señalado que las emisiones indirectas vinculadas al uso de energía adquirida suelen superar otras categorías operativas, convirtiéndose en un componente prioritario dentro de los procesos de gestión y mitigación ambiental (Kiehle et al., 2023).

En América Latina, las emisiones de gases de efecto invernadero presentan una distribución desigual, siendo Brasil y México los países que históricamente registran mayores niveles de contaminación debido, entre otros factores, a su alta densidad

poblacional, actividad industrial y demanda energética. De igual manera, una investigación desarrollada por Rocha et al. (2023), demostró que en instalaciones educativas de América Latina el consumo de electricidad puede representar una proporción considerable dentro de la huella de carbono total institucional. En conjunto, estos antecedentes permiten reconocer que las instituciones educativas representan espacios pertinentes para el monitoreo continuo de emisiones, facilitando diagnósticos comparativos y fortaleciendo estrategias de sostenibilidad ajustadas a sus características operativas.

En Ecuador, los estudios sobre huella de carbono en instituciones educativas han comenzado a cobrar mayor relevancia, evidenciando que factores como el consumo eléctrico y el transporte representan fuentes importantes de emisiones (Padrón, 2023). Estos análisis permiten generar información clave para fortalecer la gestión ambiental institucional y promover estrategias sostenibles ajustadas a las necesidades del contexto nacional. Bajo esta perspectiva, la estimación de la huella de carbono en instituciones educativas adquiere relevancia porque permite generar información técnica precisa sobre el comportamiento de sus emisiones y convertir esos datos en una base sólida para la toma de decisiones ambientales. Ahonen et al. (2024) señalaron que los procesos orientados hacia la neutralidad del carbono en instituciones educativas requieren, como condición inicial, una cuantificación sistemática de emisiones que permita establecer metas realistas de reducción y consolidar políticas sostenibles a largo plazo. Desde esta perspectiva, evaluar las emisiones derivadas del funcionamiento institucional no solo permite identificar las principales fuentes de impacto ambiental, sino que también favorece una gestión más eficiente de recursos, una mejor planificación energética y el fortalecimiento de políticas ambientales dentro del entorno educativo.

Bajo esta línea de análisis, la presente investigación tuvo como objetivo estimar la huella de carbono de alcance 1 y 2 generada en la Escuela de Educación Básica “Ecuador” durante el período 2023–2025, con el propósito de determinar cómo las actividades cotidianas de la institución, especialmente aquellas relacionadas con el consumo de combustibles y energía eléctrica, contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero. La variable principal correspondió a la huella de carbono institucional, expresada en toneladas de CO₂ equivalente, considerando tanto emisiones directas como indirectas vinculadas a la operación del establecimiento. Para ello, se desarrolló un estudio con enfoque cuantitativo, de carácter descriptivo, comparativo y longitudinal, permitiendo analizar el comportamiento de las emisiones durante tres años consecutivos y generar información útil para futuras estrategias de gestión ambiental y sostenibilidad institucional.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio y delimitación

La investigación se desarrolló en la Escuela de Educación Básica “Ecuador”, institución de educación básica ubicada en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador. Esta institución cuenta con 205 estudiantes y desarrolla actividades académicas y administrativas permanentes que demandan consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles, constituyendo fuentes relevantes de emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero. El estudio se enfocó en las emisiones correspondientes a los alcances 1 y 2 generadas durante el período 2023–2025,

considerando como límites organizacionales las operaciones vinculadas al funcionamiento institucional. La ubicación geográfica del área de estudio se presenta en la Figura 1, donde se muestra la localización de la Unidad Educativa.

Figura 1.

Ubicación del área de estudio



Nota: La figura muestra la localización geográfica de la Escuela de Educación Básica "Ecuador", correspondiente al área donde se desarrolló la investigación.

2.2. Tipo de estudio

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo, comparativo y longitudinal, considerando que este tipo de diseño permite medir de manera objetiva las emisiones de gases de efecto invernadero y analizar su comportamiento en diferentes períodos de tiempo. El componente descriptivo facilitó la cuantificación de las emisiones generadas por las actividades operativas de la Escuela de Educación Básica "Ecuador", mientras que el análisis comparativo permitió identificar variaciones en la huella de carbono entre los años 2023, 2024 y 2025. Asimismo, el carácter longitudinal hizo posible evaluar la evolución temporal de las emisiones institucionales durante tres años consecutivos, permitiendo reconocer tendencias y cambios en el desempeño ambiental. Según Clement et al. (2021), los estudios cuantitativos con análisis comparativo temporal resultan adecuados para evaluar patrones ambientales, identificar cambios sostenidos y generar evidencia técnica útil para procesos de planificación y toma de decisiones en sostenibilidad.

2.3. Materiales y/o instrumentos

Para la recolección de datos se emplearon registros administrativos institucionales, facturación eléctrica, reportes de consumo de combustibles y hojas de cálculo para sistematización de información. Como instrumento principal se utilizó una matriz de recopilación y organización de datos, diseñada para registrar variables como consumo mensual de electricidad (kWh), consumo de combustibles (galones o litros) y factores de emisión correspondientes. Además, se aplicaron factores de conversión basados en

metodologías reconocidas internacionalmente para expresar resultados en toneladas de CO₂ equivalente.

2.4. Procedimiento metodológico

Para estimar la huella de carbono institucional correspondiente a los alcances 1 y 2, inicialmente se establecieron criterios metodológicos basados en la Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2023), complementados con los lineamientos del Greenhouse Gas Protocol (2015) y World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2004). Esta integración metodológica permitió desarrollar un procedimiento técnicamente sólido y ajustado a estándares internacionales para organizaciones educativas.

En primer lugar, se definieron los límites organizacionales bajo un enfoque de control operativo, considerando exclusivamente las actividades académicas, administrativas y de funcionamiento general de la Escuela de Educación Básica “Ecuador” durante el período 2023–2025. Esto implicó incluir todas aquellas operaciones sobre las cuales la institución tuvo control directo en materia de consumo energético y utilización de combustibles. Posteriormente, se determinaron los límites operativos mediante la identificación y clasificación de las fuentes emisoras. Las emisiones directas (alcance 1) incluyeron el consumo de combustibles fósiles en vehículos institucionales, equipos motorizados, maquinaria o generadores. Por su parte, las emisiones indirectas (alcance 2) comprendieron el consumo de electricidad adquirida para el funcionamiento de las instalaciones escolares.

Una vez definidos estos límites, se procedió a la recopilación de datos de actividad a partir de fuentes documentales institucionales, incluyendo facturas de consumo eléctrico, registros de abastecimiento de combustibles y documentación administrativa relacionada con el uso de recursos energéticos. Los datos de combustibles fueron expresados en litros o galones, según disponibilidad, mientras que el consumo eléctrico se registró en kilovatios-hora (kWh).

En la etapa posterior, se definieron los factores de emisión aplicables a cada una de las fuentes energéticas consideradas dentro del estudio, tomando como referencia valores oficiales reportados por la (ARCONEL) Agencia de Regulación y Control de Electricidad et al. (2025), el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2025) y las Directrices del IPCC (2023). Estos factores corresponden a coeficientes técnicos previamente establecidos que permiten convertir los datos reales de consumo, como litros de combustible o kilovatios-hora de electricidad, en emisiones de gases de efecto invernadero expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Su selección dependió del tipo de energía utilizada por la institución, ya que cada combustible o fuente eléctrica presenta características de emisión particulares. En el caso de combustibles fósiles, se aplicaron factores específicos según gasolina, diésel o gas licuado de petróleo, mientras que para el consumo eléctrico se utilizó el valor de emisión correspondiente a la red energética de referencia (Tabla 1).

Tabla 1.

Factores de emisión de referencia utilizados en la investigación

Fuente de emisión	Factor de emisión aplicado	Unidad de consumo	Fuente metodológica
Electricidad red pública	0,1616 tCO ₂ /MWh (0,1616 kg CO ₂ e/kWh)	kWh	ARCONEL et al. (2025)
Gasolina	2,246 kg CO ₂ e/L	Litros (L)	MITECO (2025)
Diésel	2,505 kg CO ₂ e/L	Litros (L)	MITECO (2025)
GLP	1,545 kg CO ₂ e/L	Litros (L) o kg	MITECO (2025)
CO ₂ extintores	PCG = 1	kg	IPCC (2023)

Nota: La tabla muestra los factores de emisión aplicados para la estimación de la huella de carbono institucional. Fuente: Elaboración propia con base en ARCONEL et al. (2025), MITECO (2025) e IPCC (2023).

Una vez definidos estos factores, el procedimiento de cálculo consistió en transformar cada dato de actividad registrado en emisiones equivalentes mediante la multiplicación del consumo correspondiente por su respectivo coeficiente de emisión. Este proceso permitió cuantificar de forma individual las emisiones asociadas a cada fuente y, posteriormente, consolidarlas en una estimación total de la huella de carbono institucional. Para ello, se aplicó inicialmente la fórmula general de huella de carbono (Ecuación 1), donde cada dato de actividad fue multiplicado por su factor de emisión específico.

Ecuación 1.

Ecuación general de la Huella de Carbono

$$HC = DA \times FE$$

Posteriormente, se desarrolló el cálculo diferenciado para las emisiones de alcance 1, relacionadas con combustibles fósiles, y para las emisiones de alcance 2, vinculadas al consumo eléctrico, utilizando la Ecuación 2 y 3.

Ecuación 2.

Emisiones de alcance 1 (combustibles fósiles)

$$E_{A1} = CC \times FE_C$$

Donde:

- E_{A1} = Emisiones de alcance 1 (kg o t CO₂e)
- CC = Consumo de combustible
- FE_C = Factor de emisión del combustible

Ecuación 3.

Emisiones de alcance 2 (electricidad)

$$E_{A2} = CC \times FE_e$$

Donde:

- E_{A2} = Emisiones de alcance 2 (kg o t CO₂e)
- CC = Consumo eléctrico (kWh)
- FE_e = Factor de emisión de la electricidad

Finalmente, ambos resultados fueron integrados para obtener la huella de carbono total anual de la institución (Ecuación 4 y Ecuación 5), expresada en toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), permitiendo así organizar y comparar los resultados por año y categoría de emisión. Este enfoque metodológico proporcionó una estructura clara para el análisis temporal de las emisiones y sirvió como base técnica para futuras estrategias de reducción, eficiencia energética y fortalecimiento de la sostenibilidad institucional.

Ecuación 4.

Huella de carbono total institucional

$$HC_{total} = E_{A1} + E_{A2}$$

Ecuación 5.

Conversión de kg a toneladas de CO₂ equivalente

$$tCO_2e = \frac{kgCO_2e}{1000}$$

Finalmente, las emisiones parciales obtenidas fueron consolidadas para determinar la huella de carbono anual de la institución, expresada en toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). Los resultados fueron organizados por año y por categoría de emisión, permitiendo desarrollar un análisis descriptivo y comparativo que facilitó la identificación de tendencias, variaciones interanuales y posibles oportunidades de mejora en la gestión ambiental institucional. Este procedimiento proporcionó una base técnica clara para futuras estrategias orientadas a la reducción de emisiones, optimización energética y fortalecimiento de prácticas sostenibles dentro del entorno educativo.

2.5. Análisis inferencial de datos

Inicialmente, se verificó la distribución de normalidad de los datos mensuales de emisiones mediante la prueba de Shapiro-Wilk, con el fin de determinar la selección adecuada de pruebas comparativas. La elección de esta prueba se sustenta en que permite evaluar si un conjunto de datos presenta un comportamiento compatible con una distribución normal, siendo especialmente útil cuando se trabaja con tamaños muestrales reducidos (King & Eckersley, 2019). Debido a su sensibilidad y confiabilidad en muestras pequeñas (<50), constituye una herramienta adecuada para verificar supuestos de normalidad previos a la selección de procedimientos estadísticos inferenciales.

Posteriormente, se evaluó la homogeneidad de varianzas entre los grupos anuales mediante la prueba de Levene, utilizada para determinar si las dispersiones de las emisiones institucionales fueron estadísticamente equivalentes entre los períodos 2023, 2024 y 2025. Esta prueba permitió comprobar uno de los supuestos fundamentales para

la aplicación de análisis paramétricos o no paramétricos, garantizando así una selección metodológica rigurosa del procedimiento estadístico comparativo (Levene, 1960).

Cuando los datos mensuales de emisiones presentaron distribución normal y cumplieron simultáneamente con el supuesto de homogeneidad de varianzas, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) como procedimiento estadístico para comparar las medias de emisiones entre los años evaluados. Esta prueba resulta apropiada para analizar diferencias significativas entre tres o más grupos independientes bajo condiciones paramétricas, permitiendo determinar si las variaciones observadas entre períodos respondieron a fluctuaciones aleatorias o reflejaron cambios estadísticamente relevantes en el comportamiento de las emisiones (Fisher, 1925). En aquellos casos donde los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y/o homogeneidad, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, considerada una alternativa robusta para comparar múltiples grupos independientes cuando los datos no se ajustan a criterios paramétricos (Kruskal & Wallis, 1952).

Cuando se identificaron diferencias estadísticamente significativas, se realizaron análisis post hoc con el propósito de determinar específicamente entre qué años se presentaban dichas diferencias. Para los análisis paramétricos se utilizó la prueba de Tukey, ampliamente reconocida por su capacidad para realizar comparaciones múltiples controlando el error tipo I entre grupos (Tukey, 1949). En contraste, para los análisis no paramétricos se aplicó la corrección de Dunn-Bonferroni, procedimiento que permite efectuar comparaciones pareadas posteriores al Kruskal-Wallis manteniendo rigurosidad estadística en la interpretación de resultados (Dunn, 1964). Este enfoque permitió desarrollar una evaluación comparativa más precisa de la evolución temporal de la huella de carbono institucional, fortaleciendo la validez estadística del estudio.

Con el propósito de analizar la evolución temporal de las emisiones institucionales, se aplicó un análisis de tendencia mediante regresión lineal simple, considerando la secuencia mensual como variable independiente y los valores de emisiones como variable dependiente. Este enfoque permitió identificar la posible existencia de patrones de aumento o disminución sostenida en la huella de carbono a lo largo del período evaluado, resultando apropiado para el estudio de series de datos organizadas cronológicamente (Montgomery et al., 2021).

De manera complementaria, se calcularon las variaciones porcentuales interanuales entre los períodos 2023–2024 y 2024–2025 mediante la Ecuación 6, con el fin de cuantificar la magnitud relativa de los cambios observados entre años consecutivos. Este procedimiento, ampliamente utilizado en análisis estadístico comparativo para medir incrementos o reducciones relativas entre períodos sucesivos (Lind et al., 2021), permitió interpretar con mayor claridad la dirección y magnitud de los cambios en la huella de carbono institucional, facilitando así la identificación de posibles mejoras o deterioros en el desempeño ambiental del establecimiento.

Ecuación 6.

Variación porcentual

$$\text{Variación porcentual} = \frac{\text{Valor final} - \text{Valor inicial}}{\text{Valor inicial}} \times 100$$

3. Resultados

3.1. Estimación de las emisiones de alcance 1 derivadas del consumo de combustibles fósiles

Durante los años 2023, 2024 y 2025 se identificaron dentro de la institución varias actividades que generaron emisiones directas de alcance 1, debido al uso de combustibles o liberación de gases bajo control propio del establecimiento. Entre las principales fuentes registradas estuvo la buseta institucional, utilizada de forma regular para actividades de transporte relacionadas con el funcionamiento escolar, lo que implicó un consumo constante de gasolina. También se consideró el uso de gas licuado de petróleo (GLP) en el bar o cafetería institucional, empleado diariamente en la preparación de alimentos. Otra fuente importante fue el generador eléctrico, utilizado únicamente en momentos de cortes de energía o apagones, especialmente durante los períodos de racionamiento eléctrico que afectaron al país. Finalmente, se tomó en cuenta la recarga anual de extintores de CO₂, como parte de las actividades de mantenimiento y seguridad institucional.

Con base en los consumos mensuales registrados, se estimaron las emisiones directas de alcance 1 mediante la aplicación de factores de emisión específicos para cada fuente institucional. Los resultados de la Tabla 2 mostraron que la buseta institucional representó la fuente más constante de emisiones durante todo el año 2023, mientras que los valores más altos se registraron en noviembre y diciembre debido al incremento en el uso del generador eléctrico durante períodos de racionamiento energético.

Tabla 2.

Emisiones mensuales estimadas de alcance 1 derivadas de fuentes institucionales en la Escuela de Educación Básica “Ecuador” durante el año 2023.

Mes	Buseta (L gasolina)	Generador (L diésel)	GLP cafetería (kg)	Extintor CO ₂ (kg)	Emisiones totales (kg CO ₂ e)
Enero	266,6	0,0	15	0	621,96
Febrero	266,6	0,0	0	0	598,78
Marzo	266,6	0,0	15	0	621,96
Abril	266,6	0,0	0	0	598,78
Mayo	266,6	0,0	15	0	621,96
Junio	266,6	0,0	0	0	598,78
Julio	266,6	0,0	15	0	621,96
Agosto	266,6	0,0	0	0	598,78
Septiembre	266,6	0,0	15	0	621,96
Octubre	266,6	40,0	0	0	698,98
Noviembre	266,6	120,0	15	0	922,56
Diciembre	266,6	120,0	0	10	909,38

Nota: Se refleja una mayor carga de emisiones en los meses donde se incorporó el uso del generador eléctrico, evidenciando variaciones temporales asociadas a factores externos del suministro energético. Fuente: Elaboración propia con base en documentos institucionales.

En la Tabla 3 se presentan las emisiones mensuales estimadas para 2024, donde se evidencia un incremento progresivo a partir de septiembre debido al retorno de los racionamientos energéticos a nivel nacional, situación que provocó un mayor uso del generador eléctrico y elevó temporalmente la carga de emisiones institucionales.

Tabla 3.

Emisiones mensuales estimadas de alcance 1 derivadas de fuentes institucionales en la Escuela de Educación Básica “Ecuador” durante el año 2024

Mes	Buseta (L gasolina)	Generador (L diésel)	GLP cafetería (kg)	Extintor CO ₂ (kg)	Emisiones totales (kg CO ₂ e)
Enero	266,6	0,0	15	0	621,96
Febrero	266,6	0,0	0	0	598,78
Marzo	266,6	0,0	15	0	621,96
Abril	266,6	80,0	0	0	799,18
Mayo	266,6	50,0	15	0	747,21
Junio	266,6	0,0	0	0	598,78
Julio	266,6	0,0	15	0	621,96
Agosto	266,6	0,0	0	0	598,78
Septiembre	266,6	20,0	15	0	672,06
Octubre	266,6	220,0	0	0	1.149,88
Noviembre	266,6	240,0	15	0	1.223,16
Diciembre	266,6	80,0	0	10	809,18

Nota: Durante 2024, las emisiones aumentaron en los primeros y últimos meses del año debido al uso intensificado del generador eléctrico, mientras que el resto de las fuentes conservaron niveles similares a los registrados previamente. Fuente: Elaboración propia con base en documentos institucionales.

La Tabla 4 muestra que durante 2025 las emisiones de alcance 1 retomaron un comportamiento más estable, sin incrementos asociados al uso del generador eléctrico, reflejando una reducción de las emisiones extraordinarias y un retorno a patrones operativos regulares dentro de la institución.

Tabla 4.

Emisiones mensuales estimadas de alcance 1 derivadas de fuentes institucionales en la Escuela de Educación Básica “Ecuador” durante el año 2025

Mes	Buseta (L gasolina)	Generador (L diésel)	GLP cafetería (kg)	Extintor CO ₂ (kg)	Emisiones totales (kg CO ₂ e)
Enero	266,6	0,0	15	0	621,96
Febrero	266,6	0,0	0	0	598,78
Marzo	266,6	0,0	15	0	621,96
Abril	266,6	0,0	0	0	598,78
Mayo	266,6	0,0	15	0	621,96
Junio	266,6	0,0	0	0	598,78
Julio	266,6	0,0	15	0	621,96
Agosto	266,6	0,0	0	0	598,78
Septiembre	266,6	0,0	15	0	621,96
Octubre	266,6	0,0	0	0	598,78
Noviembre	266,6	0,0	15	0	621,96
Diciembre	266,6	0,0	0	10	608,78

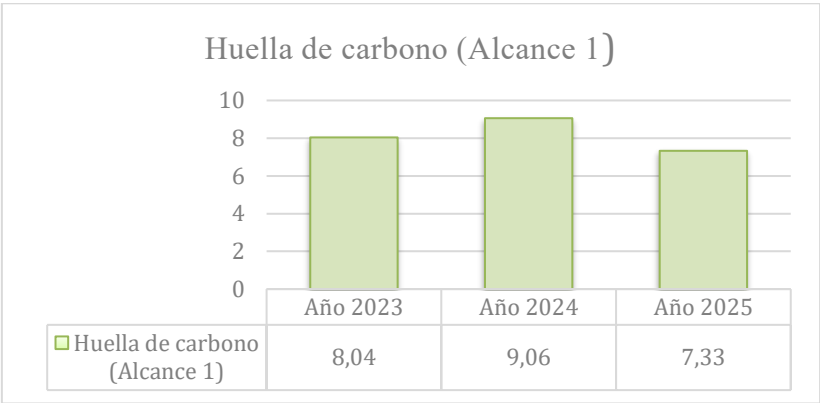
Nota: En 2025, las emisiones mantuvieron un comportamiento más uniforme a lo largo del año. Fuente: Elaboración propia con base en documentos institucionales.

La consolidación anual de las emisiones directas de alcance 1 permitió identificar variaciones importantes en la huella de carbono institucional a lo largo del período

evaluado. La suma total de las emisiones mensuales evidenció que el año 2024 presentó la mayor carga de emisiones (9,06 [tCO₂e]), influenciada principalmente por el incremento en el uso del generador eléctrico durante períodos prolongados de racionamiento energético, mientras que 2025 registró una reducción significativa asociada a una mayor estabilidad operativa. La Figura 2 muestra la evolución anual de la huella de carbono de alcance 1 durante los años 2023, 2024 y 2025.

Figura 2.

Huella de carbono (suma) estimada de las emisiones del Alcance 1



Nota: La mayor huella de carbono de alcance 1 se registró en 2024 debido al incremento del uso del generador eléctrico. Fuente: Elaboración propia con base en documentos institucionales.

3.2. Estimación de las emisiones de alcance 2 asociadas al consumo de energía eléctrica

Durante el período 2023–2025, las emisiones de alcance 2 estuvieron asociadas al consumo de energía eléctrica proveniente de la red pública, utilizada para el funcionamiento general de la institución en actividades administrativas, académicas y operativas. Estas emisiones indirectas se derivaron principalmente del uso de iluminación, equipos informáticos, ventilación, sistemas de refrigeración y demás dispositivos eléctricos necesarios para el desarrollo cotidiano de las actividades escolares. Para su estimación, se emplearon los registros mensuales de consumo eléctrico expresados en kilovatios-hora (kWh), aplicando el factor de emisión correspondiente a la matriz eléctrica nacional ecuatoriana. En la Tabla 5 se presentan las emisiones mensuales estimadas de alcance 2 correspondientes al año 2023, donde se observa un comportamiento relativamente estable durante la mayor parte del año, con reducciones más notorias en el último trimestre debido a la disminución del consumo eléctrico institucional asociada a los períodos de racionamiento energético nacional.

Tabla 5.

Emisiones mensuales estimadas de alcance 2 asociadas al consumo de energía eléctrica en la Escuela de Educación Básica “Ecuador” durante el año 2023

Mes	Consumo eléctrico (kWh)	Emisiones (kg CO ₂ e)
Enero	1.320	213,31
Febrero	1.250	202,00
Marzo	1.310	211,70
Abril	1.280	206,85
Mayo	1.340	216,54

Junio	1.300	210,08
Julio	1.270	205,23
Agosto	1.290	208,46
Septiembre	1.330	214,93
Octubre	1.120	180,99
Noviembre	980	158,37
Diciembre	920	148,67

Nota: Las emisiones disminuyeron en el último trimestre debido a la reducción del consumo eléctrico durante períodos de racionamiento energético. Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones institucionales.

En la Tabla 6 se presentan las emisiones mensuales estimadas de alcance 2 correspondientes al año 2024, donde se evidencian reducciones en varios períodos del año como consecuencia de las restricciones energéticas nacionales, las cuales disminuyeron temporalmente el consumo eléctrico institucional.

Tabla 6.

Emisiones mensuales estimadas de alcance 2 asociadas al consumo de energía eléctrica en la Escuela de Educación Básica “Ecuador” durante el año 2024

Mes	Consumo eléctrico (kWh)	Emisiones (kg CO ₂ e)
Enero	1.330	214,93
Febrero	1.270	205,23
Marzo	1.320	213,31
Abril	1.050	169,68
Mayo	1.120	180,99
Junio	1.300	210,08
Julio	1.290	208,46
Agosto	1.310	211,70
Septiembre	1.100	177,76
Octubre	900	145,44
Noviembre	850	137,36
Diciembre	950	153,52

Nota: Las emisiones presentaron reducciones en los meses con racionamiento energético, reflejando variaciones temporales en el consumo eléctrico institucional durante 2024. Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones institucionales.

La Tabla 7 muestra las emisiones mensuales estimadas de alcance 2 para el año 2025, evidenciando un comportamiento más uniforme del consumo eléctrico institucional, asociado a condiciones operativas estables y a la ausencia de racionamientos energéticos durante el período evaluado.

Tabla 7.

Emisiones mensuales estimadas de alcance 2 asociadas al consumo de energía eléctrica en la Escuela de Educación Básica “Ecuador” durante el año 2025

Mes	Consumo eléctrico (kWh)	Emisiones (kg CO ₂ e)
Enero	1.340	216,54
Febrero	1.280	206,85
Marzo	1.330	214,93
Abril	1.300	210,08
Mayo	1.350	218,16
Junio	1.310	211,70
Julio	1.290	208,46
Agosto	1.320	213,31
Septiembre	1.340	216,54

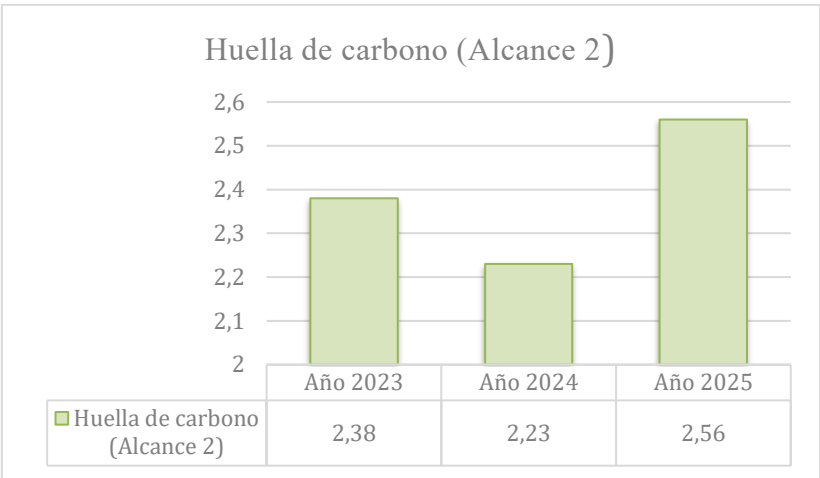
Octubre	1.310	211,70
Noviembre	1.350	218,16
Diciembre	1.300	210,08

Nota: Las emisiones mantuvieron una distribución más uniforme durante 2025, reflejando estabilidad en el consumo eléctrico institucional. Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones institucionales.

La consolidación anual de las emisiones indirectas de alcance 2 evidenció variaciones en la huella de carbono institucional, registrándose la mayor carga en 2025 con 2,56 t CO₂e, debido a la estabilidad del consumo eléctrico. La Figura 3 muestra la evolución anual estimada de la huella de carbono de alcance 2 durante los años 2023–2025.

Figura 3.

Huella de carbono (suma) estimada de las emisiones del Alcance 2



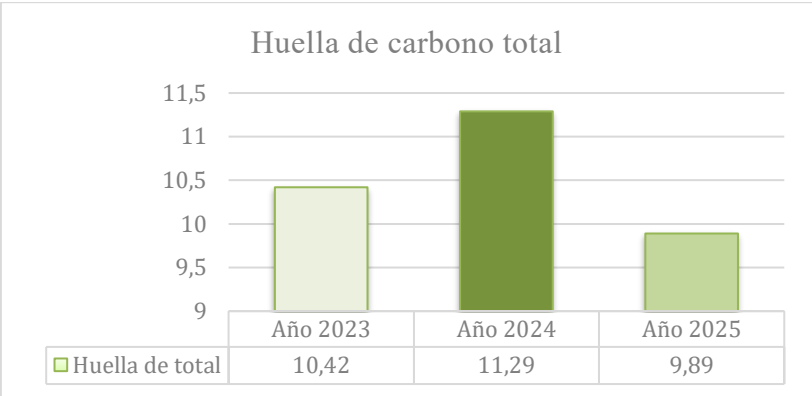
Nota: La mayor huella de carbono de alcance 2 se registró en 2025 debido a la estabilidad del consumo eléctrico institucional. Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones institucionales.

3.2.1. Cuantificación de la huella de carbono total institucional durante el período 2023–2025

La cuantificación total de la huella de carbono institucional durante el período 2023–2025 evidenció variaciones interanuales en la carga ambiental generada por las actividades operativas de la institución. Los resultados mostraron que en 2023 la huella de carbono total alcanzó 10,42 t CO₂e, incrementándose en 2024 hasta 11,29 t CO₂e, valor que representó el mayor impacto del período debido al aumento de emisiones de alcance 1 asociadas al uso intensificado del generador eléctrico durante racionamientos energéticos. Para 2025, la huella total se redujo a 9,89 t CO₂e, reflejando una disminución de emisiones directas pese al incremento del consumo eléctrico institucional. Estos resultados permitieron identificar que las variaciones en el suministro energético nacional tuvieron una influencia significativa sobre la huella de carbono global de la institución. La Figura 4 presenta la evolución anual de la huella de carbono total institucional durante los años evaluados.

Figura 4.

Huella de carbono (suma) estimada de las emisiones totales



Nota: La mayor huella de carbono total se registró en 2024, mientras que en 2025 se evidenció una reducción institucional. Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones institucionales.

Los resultados obtenidos evidenciaron que las emisiones mensuales institucionales no siguieron una distribución normal ($W = 0,59$; $p < 0,0001$), indicando fluctuaciones significativas entre meses y años. Adicionalmente, la prueba de Levene mostró que las varianzas entre los grupos anuales no fueron homogéneas ($F = 6,92$; $p = 0,0031$), reflejando diferencias en la dispersión de los datos entre períodos. Debido al incumplimiento simultáneo de los supuestos de normalidad y homogeneidad, se descartó la aplicación de pruebas paramétricas, optándose por la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las emisiones institucionales entre 2023, 2024 y 2025. La Tabla 8 a continuación muestran los valores obtenidos a partir de la aplicación del análisis estadístico

Tabla 8.

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para las emisiones mensuales totales institucionales durante el período 2023–2025

Prueba	Variable	n	Media (t CO ₂ e)	D.E.	W/F	p (Unilateral D)	Interpretación
Shapiro-Wilk	(t CO ₂ e)	36	0,87765	0,12955	0,59	<0,0001	Distribución no normal
Leneve	(t CO ₂ e)	36	0,87765	0,12955	6,92	0,0031	Varianzas no homogéneas

Nota: La tabla muestra la prueba de normalidad y la prueba de homogeneidad. Fuente: Elaboración propia.

Una vez verificado que los datos mensuales no cumplían con el supuesto de normalidad, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Tabla 9) con el propósito de comparar estadísticamente las emisiones mensuales totales de huella de carbono entre los años 2023, 2024 y 2025. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis aplicada evidenció que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los períodos evaluados ($H = 2,25$; $p = 0,3231$), debido a que el valor de p fue superior al nivel de significancia establecido ($p > 0,05$). Aunque descriptivamente el año 2024 presentó mayores emisiones promedio y una mayor dispersión mensual en comparación con 2023 y 2025, estas variaciones no fueron suficientemente consistentes desde el

punto de vista estadístico para confirmar cambios significativos en la huella de carbono institucional entre años.

Tabla 9.

Prueba de Kruskal-Wallis para las emisiones mensuales totales institucionales durante el período 2023–2025

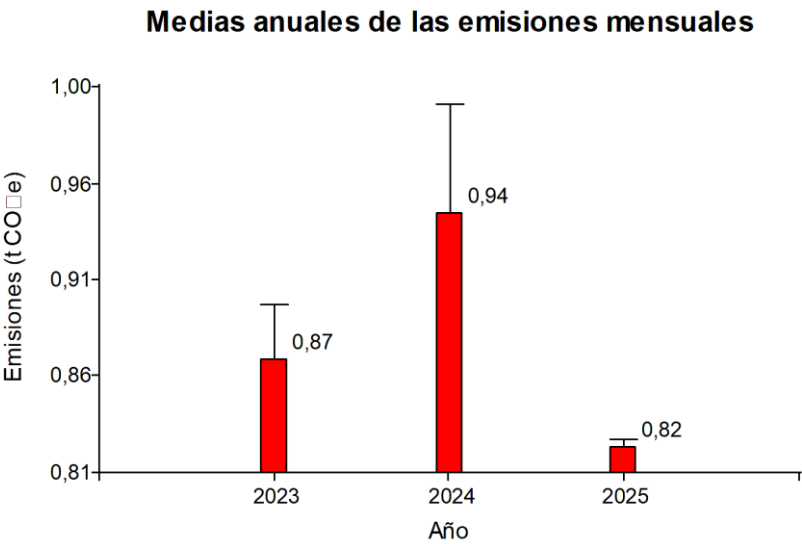
Variable	Año	N	Media (t CO ₂ e)	D.E.	Mediana (t CO ₂ e)	H	p
Emisiones (t CO ₂ e)	2023	12	0,87	0,10	0,83	2,25	0,3231
Emisiones (t CO ₂ e)	2024	12	0,94	0,19	0,84		
Emisiones (t CO ₂ e)	2025	12	0,82	0,01	0,82		

Nota: La prueba de Kruskal-Wallis no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los años evaluados ($p > 0,05$), indicando estabilidad comparativa en las emisiones institucionales durante el período 2023–2025.

A pesar de que la prueba de Kruskal-Wallis no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los años evaluados ($p > 0,05$), el análisis descriptivo de las medias anuales permitió identificar variaciones operativas en la huella de carbono institucional (Figura 5). En este sentido, 2024 presentó el mayor promedio de emisiones mensuales totales (0,94 t CO₂e), asociado a incrementos temporales derivados del uso intensificado del generador eléctrico, mientras que 2025 registró el menor valor promedio (0,82 t CO₂e), reflejando mayor estabilidad en las actividades institucionales. Por su parte, 2023 mostró un comportamiento intermedio (0,87 t CO₂e).

Figura 5.

Comparación de medias anuales de las emisiones mensuales totales institucionales durante el período 2023–2025



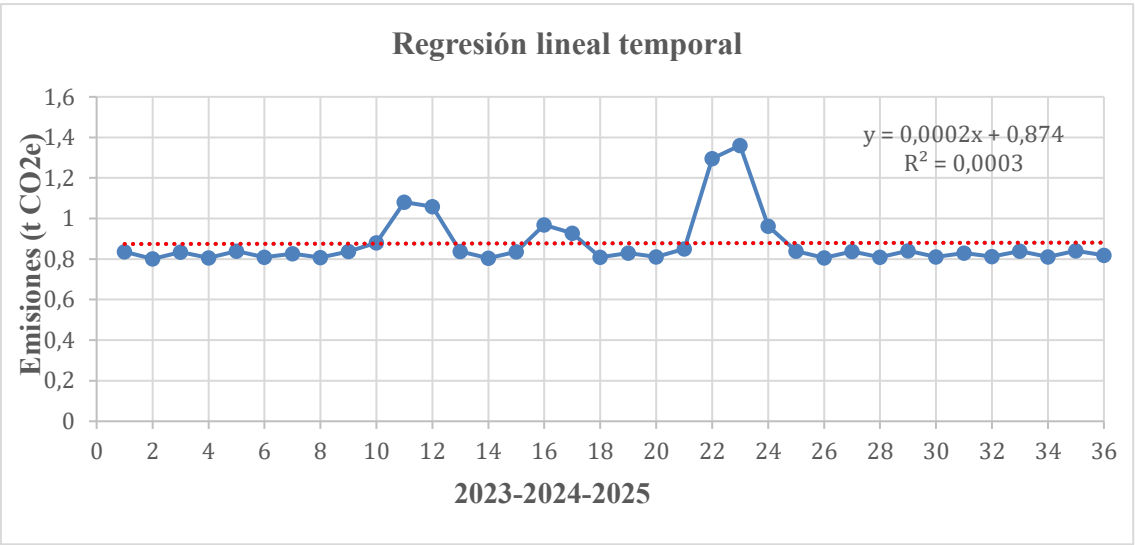
Nota: Las barras representan las medias anuales de las emisiones mensuales totales institucionales y las líneas verticales corresponden a la desviación estándar. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de regresión lineal simple aplicado en la Figura 6 permitió evidenciar una pendiente positiva mínima ($y = 0,0002x + 0,874$), lo que indicó un incremento mensual

prácticamente insignificante en la huella de carbono institucional. Asimismo, el coeficiente de determinación extremadamente bajo ($R^2 = 0,0003$) demostró que el tiempo explicó una proporción mínima de la variabilidad observada en las emisiones.

En consecuencia, se determinó que la huella de carbono institucional mantuvo un comportamiento globalmente estable durante los 36 meses analizados, sin presentar tendencias crecientes o decrecientes significativas, siendo las fluctuaciones registradas consecuencia de eventos operativos temporales más que de modificaciones estructurales sostenidas en el desempeño ambiental de la institución.

Figura 6.
Regresión lineal temporal de las emisiones mensuales totales institucionales durante el período 2023–2025



Nota: La variable X corresponde a la secuencia mensual consolidada del período 2023–2025, donde los meses 1–12 representan el año 2023, los meses 13–24 corresponden a 2024 y los meses 25–36 a 2025.

De manera complementaria, la Tabla 10 muestra el análisis de variación porcentual interanual basado en la suma total anual de la huella de carbono institucional evidenció que entre 2023 y 2024 ocurrió un incremento del 8,35 % en las emisiones totales, reflejando un aumento en el impacto ambiental institucional asociado principalmente al uso intensificado del generador eléctrico durante períodos de racionamiento energético. Posteriormente, entre 2024 y 2025 se registró una reducción del 12,40 %, indicando una mejora relativa en el desempeño ambiental de la institución, atribuida a la disminución de emisiones extraordinarias y a una mayor estabilidad operativa.

Tabla 10.
Variación porcentual interanual de la huella de carbono institucional durante el período 2023–2025

Comparación	Huella inicial (t CO ₂ e)	Huella final (t CO ₂ e)	Variación (%)	Interpretación
2023–2024	10,42	11,29	+8,35 %	Incremento
2024–2025	11,29	9,89	-12,40 %	Reducción

Nota: Los porcentajes positivos indican incremento en la huella de carbono institucional, mientras que los valores negativos reflejan reducciones relativas entre periodos consecutivos

4. Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidenciaron que la huella de carbono institucional de la Escuela de Educación Básica “Ecuador” presentó fluctuaciones moderadas durante el periodo 2023–2025, alcanzando su mayor valor en 2024 (11,29 t CO₂e) debido principalmente al incremento de emisiones de alcance 1 asociado al uso intensificado del generador eléctrico durante los racionamientos energéticos nacionales, mientras que en 2025 se observó una reducción del 12,40 %, relacionada con la recuperación de la estabilidad operativa institucional . Este comportamiento demuestra que la variabilidad de las emisiones no dependió exclusivamente de cambios internos en el funcionamiento institucional, sino de factores externos vinculados a la crisis energética ecuatoriana.

Esta interpretación encuentra respaldo en estudios recientes sobre el impacto de los apagones eléctricos en Ecuador. Salazar Quevedo et al. (2025) documentaron que los cortes prolongados de energía registrados durante 2024 en la provincia del Guayas generaron incrementos sustanciales en costos operativos debido a la necesidad de recurrir a sistemas alternativos basados en combustibles fósiles, afectando negativamente la eficiencia de múltiples sectores productivos. Aunque dicho estudio se enfocó en rentabilidad empresarial, sus hallazgos permiten explicar de forma consistente el incremento de emisiones directas observado en la institución educativa analizada, ya que el uso de generadores diésel como medida de contingencia representa una respuesta operativa similar frente a la inestabilidad energética nacional. De esta manera, el aumento de la huella de carbono en 2024 puede interpretarse como una consecuencia indirecta de la vulnerabilidad estructural del sistema eléctrico nacional, más que como resultado de un incremento ordinario de actividades escolares.

En términos comparativos, mientras múltiples investigaciones desarrolladas en universidades reportan que las emisiones de alcance 2 suelen constituir la principal fuente de huella de carbono institucional debido al consumo eléctrico continuo (Kiehle et al., 2023; Paredes-Canencio et al., 2024), el presente estudio mostró un predominio excepcional del alcance 1 durante 2024. Esta diferencia puede explicarse porque la incorporación intensiva de combustibles fósiles de respaldo alteró temporalmente la estructura habitual de emisiones. Situaciones similares han sido descritas por Mendoza Vargas et al. (2022), quienes señalaron que en contextos ecuatorianos la dependencia de combustibles alternativos durante contingencias energéticas puede modificar sustancialmente el balance de emisiones organizacionales.

Otros estudios, como por ejemplo el de Zamora-Mendoza y Palacios-López (2025), determinaron que las emisiones de alcance 1 asociadas al consumo de combustibles fósiles representaron una de las principales fuentes de generación de CO₂ equivalente dentro de un sistema productivo ecuatoriano. Esta similitud permite inferir que, independientemente de la naturaleza de la organización, la dependencia de combustibles convencionales continúa siendo un factor determinante en el incremento de la huella de carbono institucional.

Por otro lado, las emisiones de alcance 2 mostraron una relativa estabilidad, siendo mayores en 2025 (2,56 t CO₂e) debido a la continuidad del suministro eléctrico y la ausencia de restricciones energéticas. Este patrón confirma que la operación institucional mantuvo niveles relativamente constantes de consumo energético, y que las disminuciones registradas en 2023 y 2024 estuvieron asociadas principalmente a restricciones externas de consumo. En este sentido, Rocha et al. (2023) destacan que en instituciones educativas latinoamericanas las reducciones abruptas en emisiones indirectas no siempre reflejan mejoras estructurales, sino limitaciones circunstanciales del suministro energético o políticas de racionamiento.

La ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre años (Kruskal-Wallis, $p = 0,3231$) indica que, pese a las variaciones operativas observadas, la estructura general de emisiones institucionales permaneció relativamente estable durante el período de estudio. Este hallazgo resulta coherente con lo reportado por Wagner et al. (2021), quienes sostienen que instituciones educativas de escala básica o media suelen mantener patrones relativamente constantes de emisiones cuando sus actividades principales, población estudiantil y estructura administrativa no experimentan transformaciones sustanciales. Así, las fluctuaciones observadas en este estudio pueden considerarse perturbaciones temporales más que cambios estructurales permanentes.

Asimismo, el análisis de regresión lineal simple ($R^2 = 0,0003$) corroboró la ausencia de tendencias significativas en la evolución temporal de las emisiones, demostrando que el comportamiento global de la huella de carbono fue estable y que las principales alteraciones estuvieron determinadas por eventos extraordinarios relacionados con la crisis energética nacional. Este resultado coincide con Ahonen et al. (2024), quienes señalan que las instituciones educativas presentan trayectorias de emisiones relativamente estables cuando no existen modificaciones sustanciales en infraestructura o expansión operativa, siendo los factores externos los principales responsables de fluctuaciones interanuales.

De manera complementaria, Navarro-Saltos et al. (2025) señalaron que la reducción de la huella de carbono requiere estrategias orientadas a la eficiencia energética, adopción de tecnologías sostenibles y disminución de la dependencia de combustibles fósiles. Desde una perspectiva práctica, los hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer la resiliencia energética institucional mediante estrategias que reduzcan la dependencia de sistemas fósiles de emergencia. Salazar Quevedo et al. (2025) enfatizaron que la inestabilidad energética no solo afecta indicadores económicos, sino también compromete sostenibilidad y eficiencia organizacional, recomendando la implementación de sistemas energéticos alternativos y planes de contingencia robustos. En el caso de instituciones educativas, esto podría traducirse en inversiones en energía solar fotovoltaica, almacenamiento energético o programas de eficiencia que permitan reducir tanto emisiones directas como vulnerabilidad operativa.

5. Conclusiones

La cuantificación de la huella de carbono institucional durante el período 2023–2025 evidenció que la Escuela de Educación Básica “Ecuador” mantuvo un comportamiento general relativamente estable en sus emisiones, aunque condicionado por factores externos asociados a la crisis energética nacional. El mayor impacto ambiental se

registró en 2024 (11,29 t CO₂e), debido al incremento extraordinario de emisiones de alcance 1 por el uso intensificado del generador eléctrico durante los apagones, mientras que en 2025 la huella total se redujo a 9,89 t CO₂e, reflejando una recuperación operativa y energética.

Los resultados permitieron determinar que las emisiones directas de alcance 1 fueron el principal factor de variabilidad interanual, demostrando que la dependencia de combustibles fósiles de respaldo representa una fuente crítica de incremento en la huella de carbono institucional frente a escenarios de inestabilidad eléctrica. En contraste, las emisiones de alcance 2 mostraron mayor regularidad, asociada a patrones estables de consumo eléctrico, lo que confirma que la sostenibilidad ambiental educativa depende tanto de la eficiencia interna como del contexto energético nacional.

Como futura línea de investigación, se recomienda incorporar el análisis de las emisiones de alcance 3, considerando variables como transporte de estudiantes y docentes, consumo de papel, generación de residuos sólidos, compra de insumos, alimentación escolar y otros servicios indirectos vinculados al funcionamiento institucional. Esto permitiría obtener una estimación más completa de la huella de carbono y conocer con mayor precisión qué actividades externas o complementarias generan mayor impacto ambiental.

Se recomienda ampliar el alcance del tema relacionando la huella de carbono institucional con otras problemáticas ambientales y energéticas no abordadas en profundidad en este estudio, como eficiencia energética en infraestructura escolar, vulnerabilidad frente a apagones, uso de energías renovables, educación ambiental y gestión climática local. Esta ampliación permitiría comprender la sostenibilidad escolar desde una visión más integral, no limitada solo al cálculo de emisiones, sino también a la capacidad de adaptación de las instituciones educativas frente a crisis energéticas y ambientales.

Si en los próximos años se repiten escenarios de racionamiento eléctrico similares a los registrados en 2024, las instituciones educativas que dependan de generadores a diésel podrían presentar nuevos incrementos en sus emisiones directas. Por ello, la adopción progresiva de sistemas solares, medidas de ahorro energético y planes de contingencia ambiental será clave para reducir la huella de carbono futura y fortalecer la resiliencia institucional frente a posibles crisis energéticas.

Referencias Bibliográficas

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad [ARCONEL], Operador Nacional de Electricidad [CENACE], & Comisión Técnica de Determinación de Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero. (2025). *Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador: Informe 2024*. Ministerio de Energía y Minas del Ecuador. https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/09/Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2024_compressed.pdf
- Ahonen, V. L., Woszczek, A., Baumeister, S., Helimo, U. T., Jackson, A. K., Kopsakangas-Savolainen, M., Kääriä, J., Lehtonen, T., Luoranen, M., Pongrácz, E., Soukka, R., Vainio, V., & El Geneidy, S. (2024). Carbon neutral higher education

- institutions: A reality check, challenges and solutions. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 25(9), 293–315. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-11-2023-0515>
- Clement, M. T., Smith, C. L., & Leverenz, T. (2021). Quality of life and the carbon footprint: A zip-code level study across the United States. *Local Environment*, 30(4), 453–470. <https://doi.org/10.1177/10704965211052130>
- Dunn, O. J. (1964). Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, 6(3), 241–252. <https://doi.org/10.1080/00401706.1964.10490181>
- Fisher, R. A. (1925). *Statistical methods for research workers*. Oliver and Boyd. <https://psychclassics.yorku.ca/Fisher/Methods/>
- Filonchik, M., Peterson, M. P., Zhang, L., Hurynovich, V., & He, Y. (2024). Greenhouse gas emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O. *Science of the Total Environment*, 935, 173359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173359>
- Gálvez-Campos, B., Sosa Escobar, F., de León Alvarado, A., Hernández Sosa, D., Escalante Cantoral, M., Castañeda Gramajo, L., & González Rivera, F. (2025). Emisiones de gases de efecto invernadero en un campus universitario de Guatemala: Bases para una huella de carbono neutral a 2040. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41. <https://doi.org/10.20937/RICA.55235>
- Greenhouse Gas Protocol. (2015). *GHG protocol scope 2 guidance: An amendment to the GHG protocol corporate standard*. World Resources Institute. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-03/Scope%20%20Guidance.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 2, Energy*. Institute for Global Environmental Strategies. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Kiehle, J., Kopsakangas-Savolainen, M., Hilli, M., & Pongrácz, E. (2023). Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu. *Journal of Environmental Management*, 329, 117056. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117056>
- King, A. P., & Eckersley, R. J. (2019). Statistical inference IV: Choosing a hypothesis test. En *Statistics for biomedical engineers and scientists: How to visualize and analyze data* (pp. 147–171). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102939-8.00016-5>

- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. En I. Olkin (Ed.), *Contributions to probability and statistics: Essays in honor of Harold Hotelling* (pp. 278–292). Stanford University Press.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2021). *Statistical techniques in business & economics* (18th ed.). McGraw-Hill Education.
- Mendoza Vargas, E. Y., Saa Saltos, J. W., Fiallos Barrionuevo, A. R., & Escobar Terán, H. E. (2022). Universidad verde y la reducción de la huella de carbono en las actividades académicas en una universidad pública del Ecuador. *Centrosur Agraria*, 1(15). <https://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/219>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Oficina Española de Cambio Climático. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mites/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2025). *Factores de emisión 2007–2024*.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- National Geographic. (2024, enero 11). ¿Qué es la huella de carbono y cómo medirla? *National Geographic Latinoamérica*. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/que-es-huella-de-carbono-como-se-mide>
- Navarro-Saltos, G. E., Intriago-Intriago, A. P., Bustamante-Mieles, X. A., & Guerrero-Calero, J. M. (2025). Análisis de estrategias para reducir la huella de carbono en la producción agroindustrial. *Innova Science Journal*, 3(2), 27–38. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/n2/51>
- Padrón, C. (2023). Actualización de la huella de carbono de la Universidad Católica Andrés Bello sede Montalbán para el año 2022. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 15(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v15i2.3017>
- Paredes-Canencio, K. N., Lasso, A., Castrillon, R., Vidal-Medina, J. R., & Quispe, E. C. (2024). Carbon footprint of higher education institutions. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 30239–30272. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04596-4>
- Rocha, T. de A., Silva, L. B., Alves, E. B. B. M., Jacovine, L. A. G., & Torres, C. M. M. E. (2023). Carbon footprint in an educational institution and compensation potential in urban forests. *Environmental Development*, 46, 100860. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100860>

- Salazar Quevedo, S. S., Bravo Carrasco, A., Lindao Cabrera, K. J., Sánchez Parrales, C. E., & Salazar Soledispa, V. B. (2025). Análisis del impacto de los apagones de energía eléctrica en la rentabilidad de las grandes empresas en la provincia del Guayas, 2024. *Polo del Conocimiento*, 10(5), 1411–1430. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i5.9513>
- Tukey, J. W. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5(2), 99–114.
- Wagner, O., Tholen, L., Nawothnig, L., & Albert-Seifried, S. (2021). Making school-based GHG-emissions tangible by student-led carbon footprint assessment program. *Energies*, 14(24), 8558. <https://doi.org/10.3390/en14248558>
- World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard* (Rev. ed.). <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>
- Zamora-Mendoza, J. L., & Palacios-López, L. A. (2025). Cálculo de la huella de carbono en la granja avícola “Maravilla 3” en Manabí, Ecuador. *Innova Science Journal*, 3(3), 1–27. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/n3/67>

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.