

Tipo de artículo: Artículo original

Sostenibilidad ambiental: Implementación de una estrategia verde en centros de datos ecuatorianos

Environmental sustainability: Implementation of a green strategy in ecuadorian data centers

Raul Santiago Hurel Guzmán^{1*} , <https://orcid.org/0000-0001-8663-9291>

Lugio David Román Barrezueta² , <https://orcid.org/0000-0002-3081-8052>

Patricia María Marcillo Sánchez³ , <https://orcid.org/0000-0003-1421-1004>

¹ Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: raul.hurelgu@ug.edu.ec

² Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: lugio.romanb@ug.edu.ec

³ Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: patricia.marcillos@ug.edu.ec

* Autor para correspondencia: patricia.marcillos@ug.edu.ec

Resumen

La gestión de los centros de datos se está volviendo cada vez más desafiante en los últimos años, dadas las estrictas políticas ambientales. Los centros de datos verdes tienen como objetivo optimizar el rendimiento de la red; disminuir las emisiones de CO₂; disminuir los gastos de capital y los gastos operativos; a la par que crean una cultura organizacional respetuosa con el medio ambiente. En 2021 los autores de la presente investigación comenzaron a trabajar en la creación de una estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los Centros de Datos ecuatorianos, la cual fue publicada a inicios del año 2023. Partiendo de estos antecedentes, la presente investigación tiene como objetivo validar la estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los Centros de Datos ecuatorianos. Se contó con la representación de siete empresas de centros de datos de referencia en Ecuador. Las buenas prácticas recomendadas fueron evaluadas con un Alto grado de impacto para los centros de datos. Sin embargo, la facilidad de implementación es menor debido al esfuerzo e inversión que es necesario realizar, además de trabas organizativas. Como resultado fundamental se logró determinar la pertinencia de la estrategia validada y el compromiso de una implementación gradual y sistemática de dicha estrategia.

Palabras clave: buenas prácticas; disminución de las emisiones de CO₂; centros de datos verdes; validación; estrategia.

Abstract

Data center management is becoming increasingly challenging in recent years, given strict environmental policies. Green data centers aim to optimize network performance; reduce CO₂ emissions; decrease capital expenditures and operating expenses; at the same time that they create an organizational culture that respects the environment. In 2021, the authors of this research began working on the creation of a strategy to reduce CO₂ emissions in Ecuadorian Data Centers, which was published at the beginning of 2023. Based on this background, this research has as its objective to validate the strategy to reduce CO₂ emissions in Ecuadorian Data Centers. Seven reference data center companies in Ecuador were represented. The recommended good practices were evaluated with a High degree of impact for data centers. However, the ease of implementation is less due to the effort and investment that is necessary, as well as organizational obstacles. As a fundamental result, it was possible to determine the relevance of the validated strategy and the commitment to a gradual and systematic implementation of said strategy.

Keywords: good practices; reduction of CO₂ emissions; green data centers; validation; strategy.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Recibido: 18/12/2022
Aceptado: 10/02/2023
En línea: 12/02/2023

Introducción

La ubicuidad de las aplicaciones en la nube requiere el diseño minucioso de redes en la nube con alta calidad de servicio, bajos costos y bajas emisiones de CO₂ (Cappiello et al., 2013). En las empresas dedicadas íntegramente a las tecnologías es necesario optimizar las ubicaciones de los centros de datos en la nube específicamente, y los componentes de software (Morstadt, 2019; Mubarak & Zainal, 2018), al mismo tiempo que encuentran las capacidades de enrutamiento de información y enlace de red (Abbas et al., 2021). Los centros de datos verdes, tienen como objetivo optimizar el rendimiento de la red, disminuir las emisiones de CO₂, disminuir los gastos de capital y los gastos operativos, a la par que crean una cultura organizacional respetuosa con el medio ambiente (Cappiello et al., 2013) (García-Berna et al., 2021).

La gestión de los centros de datos se está volviendo cada vez más desafiante en los últimos años, dadas las estrictas políticas ambientales (Chi & Meng, 2022), así como el aumento de los costos de la energía y el impulso siempre presente de preservar el medio ambiente (Ciuffo & Fontaras, 2017). Una forma de ayudar a los tomadores de decisiones de los centros de datos en Ecuador en sus elecciones diarias, es consultar las herramientas de apoyo a la toma de decisiones, que pueden brindar asesoramiento sobre las mejores prácticas sobre cómo operar una infraestructura tecnológica para reducir el consumo de energía y las emisiones de CO₂ manteniendo al mismo tiempo los principios de desarrollo sostenible bajo parámetros eficientes (Paredes & Pozo, 2020).

En 2018 los autores de la presente investigación comenzaron a trabajar en la creación de una estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los Centros de Datos ecuatorianos. El proceso de creación y revisión de la estrategia contó con la ayuda y supervisión de especialistas de centros de datos de varias instituciones del país, que accedieron a colaborar con la investigación sin ánimo de lucro. El objetivo era común para todos los participantes: Implementar un conjunto de acciones y buenas prácticas recomendadas, para disminuir el impacto negativo de los centros de datos en el medio ambiente. Como resultado, en enero de 2023 se publicó la estrategia creada en un artículo científico titulado “Centros de datos verdes en Ecuador: Una estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los Centros de Datos ecuatorianos”, el cual puede ser consultado en (Sánchez & Barrezueta, 2023).



En la citada publicación se determinó como trabajo futuro “... realizar la validación de la estrategia propuesta, en centros de datos de referencia en Ecuador, y así evaluar el aporte significativo y la utilidad que tiene la investigación realizada para la protección y cuidado del medio ambiente en los Centros de datos de Ecuador” (Sánchez & Barrezueta, 2023). La validación de la estrategia había comenzado con un estudio de prueba con siete centros de datos de referencia en Ecuador, los cuales serán identificados en esta investigación, de forma numérica, a partir de una petición personal de las propias instituciones. Partiendo de estos antecedentes, la presente investigación tiene como objetivo validar la estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los Centros de Datos ecuatorianos.

Materiales y métodos

Para la validación de la estrategia y las buenas prácticas que en ella se proponen, se utilizó el método multicriterio basado en los aspectos cualitativos evaluados por un conjunto de siete expertos con el objetivo de verificar la pertinencia de la propuesta. Se diseñó una encuesta para evaluar la aplicabilidad y el nivel de implementación que tendría la estrategia propuesta a través del criterio de expertos, lo que permitió determinar la factibilidad de la propuesta de acuerdo a las valoraciones emitidas.

Como método teórico de la investigación se empleó el método Análisis Histórico-Lógico con el cual se realizó un estudio para profundizar en los antecedentes, la evolución en el tiempo y las tendencias en la preservación y cuidado del medio ambiente en los centros de datos. La aplicación de este método permitió identificar los rasgos y características que se tuvieron en cuenta para proponer la estrategia, y las necesidades de la actualidad, enfatizando en las deficiencias que presentan las infraestructuras tecnológicas para disminuir la emisión de CO₂.

Resultados y discusión

Se realiza el análisis sobre la implementación de la estrategia para disminuir la emisión de CO₂ propuesta en (Sánchez & Barrezueta, 2023). La referida estrategia se compone de cuatro etapas para implementar adecuadamente técnicas de TI ecológicas para lograr centros de datos ecológicos:

1. Planeación,
2. Diagnóstico,
3. Ecologización, y
4. Monitoreo y Control.

Como uno de los resultados más relevantes se propuso un total de 42 buenas prácticas para implementar en centros de datos ecuatorianos, las cuales se sometieron a un proceso de evaluación con un conjunto de expertos representante de siete instituciones en Ecuador.



Análisis de buenas prácticas del desarrollo sostenible por niveles

Como entrada a esta actividad se tienen 42 Buenas Prácticas (BP) recomendadas que constituyen el conjunto de prácticas que se deben evaluar $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{42}\}$, estas prácticas fueron agrupadas en tres niveles (Básico, Avanzado y Crítico) y cinco categorías (Equipamiento tecnológico; Aplicaciones de Tecnologías de la Información; Reciclaje y eliminación de la tecnología obsoleta; Ahorro energético; Otras). En la tabla 1 se muestra el listado de Buenas Prácticas a evaluar.

Tabla 1. Buenas prácticas del desarrollo sostenible.

| A | Buenas prácticas |
|----------|--|
| a_1 | Desconectar las infraestructuras innecesarias |
| a_2 | Instalar equipo de instrumentación con sensores de temperatura y consumo eléctrico. |
| a_3 | Actualizar fuentes de alimentación, convertidores, sistemas UPS y sistemas CRAC |
| a_4 | Cambiar a fuentes de energía verdes |
| a_5 | Utilizar estados de bajo consumo de energía de las unidades de procesamiento de gráficos. |
| a_6 | Reducir los cambios de pantalla durante la realización de las tareas. |
| a_7 | Implementar la virtualización de los servidores |
| a_8 | Implementar un sistema de administración de energía de PC en red |
| a_9 | Migrar los espacios físicos a los virtuales |
| a_{10} | Actualice los procesos de TI |
| a_{11} | Actualice el software de administración |
| a_{12} | Automatiza las tareas que lo permitan |
| a_{13} | La gestión del búfer se debe aplicar mediante políticas de reemplazo por lotes para explotar la I/O secuencial. |
| a_{14} | Desarrollar aplicaciones donde los usuarios visualicen datos de energía y obtengan comentarios ecológicos de forma dinámica. |
| a_{15} | Implementa sistemas de apagado automático |
| a_{16} | Comprar estrictamente el equipamiento necesario (Evitar acumular y posteriormente desechar) |
| a_{17} | Comprar productos con menos embalaje (Reduce los residuos y desechos) |
| a_{18} | Comprar productos que se puedan usar repetidamente. |
| a_{19} | Comprar baterías recargables (Reciclar las baterías como las alcalinas y muy difícil, y el nivel de contaminación es muy alto). |
| a_{20} | Reciclar todos los equipos posibles |
| a_{21} | Prolongar el ciclo de vida de la PC |
| a_{22} | Realizar análisis utilizando calculadoras de eficiencia energética y de CO ₂ |
| a_{23} | Simplificar los sistemas de cableado |
| a_{24} | Desbloquear las salidas de aire acondicionado |
| a_{25} | Agrupar equipos con requisitos similares de alimentación y refrigeración de forma modular |
| a_{26} | Optimize la temperatura del centro de datos a través del enfriamiento de precisión y otras técnicas. |
| a_{27} | Mejore el flujo de aire del centro de datos |
| a_{28} | Reemplace los generadores eléctricos y equipos de refrigeración más antiguos, por otros más nuevos y eficientes. |
| a_{29} | Se debe elegir un esquema de color de bajo consumo de acuerdo con la tecnología del monitor |
| a_{30} | Reducir las cargas de trabajo intensivas de I/O ejecutadas con frecuencia. |
| a_{31} | Reducir el número de barras de progreso, animaciones y, especialmente, barras de desplazamiento utilizadas |
| a_{32} | Los datos de uso de energía y la información sobre emisiones de carbono deben mostrarse al personal que se encuentra dentro del centro de datos. |



| | |
|----------|--|
| a_{33} | Analizar la factura de energía de TI por separado de la factura corporativa general. |
| a_{34} | Designar un <i>sábado verde</i> al mes para la plantación de árboles en las zonas aledañas al espacio físico del centro de datos |
| a_{35} | Crear un <i>espacio verde</i> dentro de la sede física del centro de datos |
| a_{36} | Realice donativos para invertir en sostenibilidad ambiental, al GAD del municipio donde se encuentra la sede física del centro de datos. |
| a_{37} | Genere un <i>intercambio verde</i> con los pobladores cercanos a la sede del centro de datos para fomentar la cultura ambiental. |
| a_{38} | Crear un tablero virtual con la medición semanal de las emisiones de CO ₂ , para su utilización como base para la reducción del impacto ambiental |
| a_{39} | Crear un código de conducta sobre la política de cuidado ambiental del centro de datos. |
| a_{40} | Pagar los impuestos ambientales que establece el Estado ecuatoriano según la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de Recursos. |
| a_{41} | Auditar la eficiencia energética de los sistemas y TI existentes |
| a_{42} | Actualizar el logo del centro de datos, agregando un sello de <i>Green IT</i> |

Fuente: (Sánchez & Barrezueta, 2023).

En la tabla 2 se muestra el resumen de las BP a evaluar, según el nivel y la categoría:

Tabla 2. Buenas prácticas por categoría y nivel.

| Categorías | Niveles | | | Total |
|---|-----------|----------|----------|-----------|
| | Básico | Avanzado | Crítico | |
| Equipamiento tecnológico | 3 | 2 | 1 | 6 |
| Aplicaciones de Tecnologías de la Información | 4 | 1 | 4 | 9 |
| Reciclaje y eliminación de la tecnología obsoleta | 4 | 2 | 0 | 6 |
| Ahorro energético | 10 | 1 | 1 | 12 |
| Otras | 9 | 0 | 0 | 9 |
| Total | 30 | 6 | 6 | 42 |

La evaluación de las BP será realizada por siete especialistas, cada uno pertenece a un centro de datos diferente; estos especialistas conforman el de expertos $E = \{e_1, e_2, a_3, e_4, e_5, a_6, e_7\}$, para simplificar este análisis se considerará que su motivación, preparación y experticia es similar, por lo que todos tendrán el mismo peso en sus valoraciones.

La evaluación de las BP se realizará teniendo en cuenta los siguientes criterios: c_1 Probabilidad de implementación (P), c_2 Impacto en el centro de datos (I), y c_3 Facilidad de implementación (F), siendo $C = \{c_1, c_2, c_3\}$ el conjunto de estos criterios. Igualmente se considerará que todos los criterios tienen el mismo peso para este análisis.

Para el procesamiento de los resultados, se asignó un rango de importancia entre 1 y el 10 aplicando la escala: **Muy Alto** para los valores 10 y 9, **Alto** para los valores 8 y 7, **Medio** para los valores 6 y 5, **Bajo** para los valores 4 y 3, y **Muy Bajo** para los valores 2 y 1. En la Tabla 3 se muestra la evaluación emitida por los expertos, ordenadas por los criterios.

Tabla 3. Evaluación de las Buenas prácticas propuestas, según los criterios de implementación definidos.

| Probabilidad de implementación | | Impacto en el centro de datos | | Facilidad de implementación | |
|--------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-----------------------------|------------|
| Buena práctica | Evaluación | Buena práctica | Evaluación | Buena práctica | Evaluación |



| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a_1 | Muy Alto | a_1 | Muy Alto | a_1 | Muy Alto |
| a_6 | Muy Alto | a_2 | Muy Alto | a_6 | Muy Alto |
| a_{16} | Muy Alto | a_3 | Muy Alto | a_{34} | Muy Alto |
| a_{17} | Muy Alto | a_4 | Muy Alto | a_{36} | Muy Alto |
| a_{34} | Muy Alto | a_7 | Muy Alto | a_{37} | Muy Alto |
| a_{35} | Muy Alto | a_{16} | Muy Alto | a_{16} | Alto |
| a_{36} | Muy Alto | a_{17} | Muy Alto | a_{17} | Alto |
| a_{37} | Muy Alto | a_{42} | Muy Alto | a_{19} | Alto |
| a_{40} | Muy Alto | a_{37} | Muy Alto | a_{24} | Alto |
| a_{42} | Muy Alto | a_5 | Alto | a_{29} | Alto |
| a_5 | Alto | a_8 | Alto | a_{42} | Alto |
| a_{18} | Alto | a_9 | Alto | a_5 | Medio |
| a_{19} | Alto | a_{10} | Alto | a_8 | Medio |
| a_{24} | Alto | a_{13} | Alto | a_{14} | Medio |
| a_{32} | Alto | a_{14} | Alto | a_{18} | Medio |
| a_{39} | Alto | a_{15} | Alto | a_{21} | Medio |
| a_{41} | Alto | a_{18} | Alto | a_{25} | Medio |
| a_7 | Medio | a_{19} | Alto | a_{26} | Medio |
| a_8 | Medio | a_{20} | Alto | a_{30} | Medio |
| a_{11} | Medio | a_{21} | Alto | a_{32} | Medio |
| a_{12} | Medio | a_{22} | Alto | a_{35} | Medio |
| a_{14} | Medio | a_{23} | Alto | a_{39} | Medio |
| a_{20} | Medio | a_{24} | Alto | a_{40} | Medio |
| a_{21} | Medio | a_{32} | Alto | a_2 | Bajo |
| a_{22} | Medio | a_{33} | Alto | a_3 | Bajo |
| a_{25} | Medio | a_{35} | Alto | a_7 | Bajo |
| a_{26} | Medio | a_{41} | Alto | a_{11} | Bajo |
| a_{29} | Medio | a_6 | Medio | a_{12} | Bajo |
| a_{30} | Medio | a_{11} | Medio | a_{13} | Bajo |
| a_{33} | Medio | a_{12} | Medio | a_{20} | Bajo |
| a_{38} | Medio | a_{25} | Medio | a_{22} | Bajo |
| a_2 | Bajo | a_{26} | Medio | a_{27} | Bajo |
| a_3 | Bajo | a_{27} | Medio | a_{28} | Bajo |
| a_9 | Bajo | a_{28} | Medio | a_{31} | Bajo |
| a_{10} | Bajo | a_{29} | Medio | a_{33} | Bajo |
| a_{13} | Bajo | a_{30} | Medio | a_{38} | Bajo |
| a_{15} | Bajo | a_{34} | Medio | a_{41} | Bajo |
| a_{23} | Bajo | a_{36} | Medio | a_4 | Muy bajo |
| a_{27} | Bajo | a_{38} | Medio | a_9 | Muy bajo |
| a_{28} | Bajo | a_{39} | Medio | a_{10} | Muy bajo |
| a_{31} | Bajo | a_{40} | Medio | a_{15} | Muy bajo |
| a_4 | Muy Bajo | a_{31} | Bajo | a_{23} | Muy bajo |

Como en esta validación se asume que todos los expertos y criterios tienen el mismo peso, se ha utilizado la Media Aritmética para determinar la evaluación colectiva de cada criterio para cada BP a partir de la agregación de las preferencias de todos los expertos y la importancia que tiene cada BP para el centro de datos a partir de la agregación de las preferencias de todos sus criterios.



La evaluación de los encuestados sobre los criterios de implementar las buenas prácticas para disminuir la emisión de CO₂ en los Centros de Datos ecuatorianos, fue valorada de la siguiente manera:

1. Sobre el criterio de **Probabilidad de implementación**:

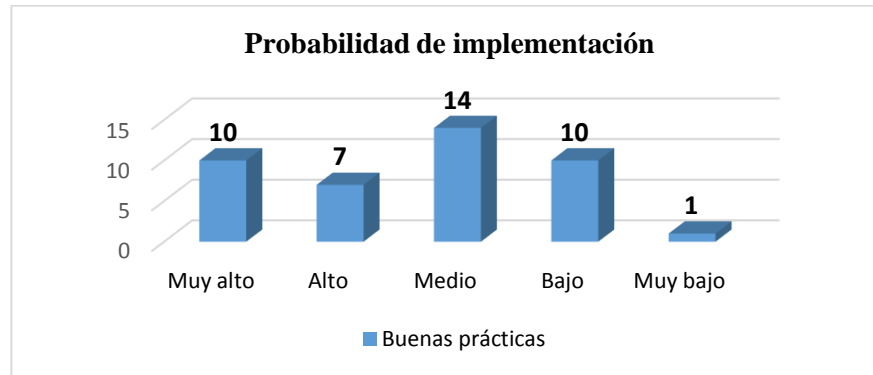


Figura 1. Evaluación de buenas prácticas recomendadas. Criterio: Probabilidad de implementación.

De un total de 42 buenas prácticas, se evaluó como Muy alto en el 23.8%, como Alto el 16.6%, como Medio el 33.3%, como Bajo el 23.8%, y como Muy bajo el 2.3% que representa la buena práctica: “Cambiar a fuentes de energía verdes”.

2. Respecto al criterio **Impacto en el centro de datos**:

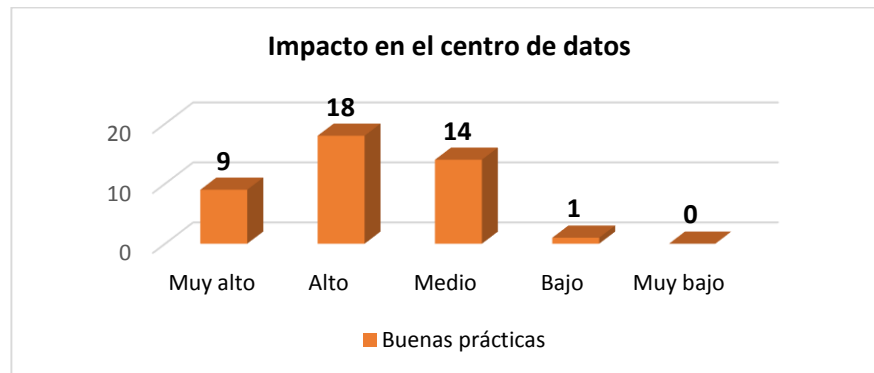


Figura 2. Evaluación de buenas prácticas recomendadas. Criterio: Impacto en el centro de datos.

De un total de 42 buenas prácticas, las evaluaciones fueron de un 21.4 % Muy Alto, como Alto el 42.8%, como Medio el 33.3%, y como Bajo el 2.3% que representa la buena práctica: “Reducir el número de barras de progreso, animaciones y, especialmente, barras de desplazamiento utilizadas”.

3. Respecto al criterio **Facilidad de implementación**:



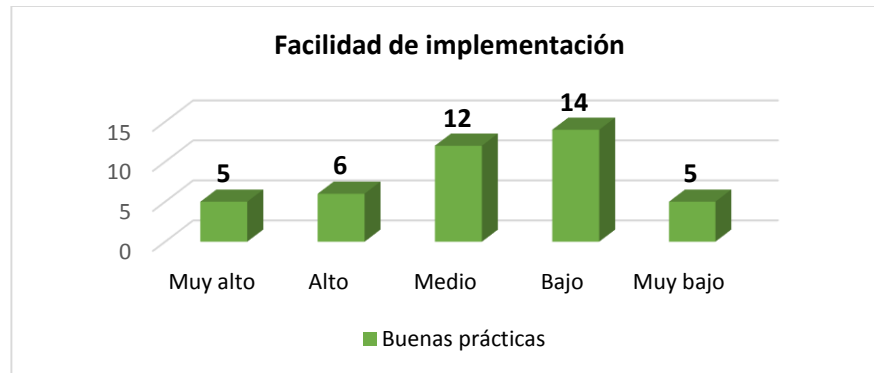


Figura 3. Evaluación de buenas prácticas recomendadas. Criterio: Facilidad de implementación.

De un total de 42 buenas prácticas, las evaluaciones fueron de un 11.9% Muy Alto, como Alto el 14.2%, como Medio el 28.5%, como Bajo el 33.3% y como Muy bajo el 11.9%.

Lo antes descrito refleja que, aunque el impacto para el centro de datos de las buenas prácticas recomendadas es Alto, la facilidad de implementación es mayormente baja, por lo que la probabilidad de implementación también disminuye. El criterio Facilidad de implementación, es el que obtuvo la más baja evaluación debido a que existen procedimientos arraigados institucionalmente, que cuando fueron implementados no tuvieron en cuenta la sostenibilidad ambiental, por tanto su modificación actual requiere de grandes esfuerzos.

La investigación realizada demuestra que los centros de datos en Ecuador han adoptado reglamentos y métodos oficiales para evaluar el rendimiento energético de sus infraestructuras. La mayoría de estos métodos se aplican al final de la fase del proyecto, con pocas oportunidades para corregir decisiones de diseño erróneas cuando no se logra el rendimiento energético deseado del edificio. Se demuestra que no existe un estándar implementado de sostenibilidad y que el proceso de toma de decisiones durante el desarrollo de un proyecto de edificación se ve comprometido por las metodologías y se retiran algunos conceptos, como el de inercia térmica.

Aún así, se logró el acuerdo común de implementar las buenas prácticas recomendadas, de forma estructurada, en la medida que se van alcanzando los objetivos de sostenibilidad ambiental. Siendo el objetivo primario, la disminución de la emisión de CO₂.

Conclusiones

Con la realización de la investigación se logró validar la estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los Centros de Datos ecuatorianos. Se contó con la representación de siete empresas de centros de datos de referencia en Ecuador. El éxito de la validación fue fundamentalmente, que los especialistas del panel de experto formaron parte de un



movimiento activo por la protección y sostenibilidad ambiental. Las buenas prácticas recomendadas fueron evaluadas con un Alto grado de impacto para los centros de datos. Sin embargo, la facilidad de implementación es menor debido al esfuerzo e inversión que es necesario realizar, además de trabas organizativas. Como resultado fundamental se logró determinar la pertinencia de la estrategia validada y el compromiso de una implementación gradual y sistemática de dicha estrategia.

Conflictos de intereses

Los autores o poseen conflicto de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Raul Santiago Hurel Guzmán, Lugio David Román Barrezueta, Patricia María Marcillo Sánchez.
2. Curación de datos: Raul Santiago Hurel Guzmán, Lugio David Román Barrezueta
3. Análisis formal: Raul Santiago Hurel Guzmán, Lugio David Román Barrezueta
4. Investigación: Lugio David Román Barrezueta, Patricia María Marcillo Sánchez.
5. Metodología: Lugio David Román Barrezueta, Patricia María Marcillo Sánchez.
6. Software: Patricia María Marcillo Sánchez.
7. Validación: Raul Santiago Hurel Guzmán, Patricia María Marcillo Sánchez.
8. Visualización: Raul Santiago Hurel Guzmán, Patricia María Marcillo Sánchez.
9. Redacción – borrador original: Raul Santiago Hurel Guzmán, Lugio David Román Barrezueta, Patricia María Marcillo Sánchez,
10. Redacción – revisión y edición: Raul Santiago Hurel Guzmán, Lugio David Román Barrezueta, Patricia María Marcillo Sánchez.

Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento.



Referencias

- Abbas, H. S. M., Xu, X., & Sun, C. (2021). Role of foreign direct investment interaction to energy consumption and institutional governance in sustainable GHG emission reduction. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 56808-56821. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-14650-7>
- Cappiello, C., Datre, S., Fugini, M., Melia, P., Pernici, B., Plebani, P., Gienger, M., & Tenschert, A. (2013). Monitoring and assessing energy consumption and CO2 emissions in cloud-based systems. 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics,
- Ciuffo, B., & Fontaras, G. (2017). Models and scientific tools for regulatory purposes: The case of CO2 emissions from light duty vehicles in Europe. *Energy Policy*, 109, 76-81. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517304111>
- Chi, F., & Meng, Z. (2022). Effects of ICT hardware, software and FDI on CO2 emissions in China. <https://www.researchsquare.com/article/rs-1458267/latest.pdf>
- García-Berna, J. A., Fernández-Aleman, J. L., de Gea, J. M. C., Toval, A., Mancebo, J., Calero, C., & García, F. (2021). Energy efficiency in software: A case study on sustainability in personal health records. *Journal of cleaner production*, 282, 124262. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620343079>
- Morstadt, F. J. D. C. (2019). Inserción de Dióxido de Carbono (CO2) con base al crecimiento económico y la población en Ecuador (2000–2050) *Económicas CUC*, 40(2), 83-194. <https://doi.org/https://doi.org/10.17981/econuc.40.2.2019.11>
- Mubarak, A., & Zainal, F. (2018). Development of a framework for the calculation of co2 emissions in transport and logistics in Southeast Asia. *Development*, 9(4). <https://ijtech.eng.ui.ac.id/article/view/1432>
- Paredes, L., & Pozo, M. (2020). Movilidad Eléctrica y Eficiencia Energética en el Sistema de Transporte Público del Ecuador un Mecanismo para Reducir Emisiones de CO2. *Revista Técnica" energía"*, 16(2), 91-99. <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/356>
- Sánchez, P. M. M., & Barrezueta, L. D. R. (2023). Centros de datos verdes en Ecuador: Una estrategia para disminuir la emisión de CO2 en los Centros de Datos ecuatorianos. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 16(1), 1-18. <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/1229>

