







Energy Monitoring System for Digital Carbon Footprint Estimation

Cardozo Briceño César Antonio¹; Gamarra Dieguez Esteban Manuel²; Rosa M. Lopez Martos³

^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00269145@upn.pe, N00262480@upn.pe, rosa.lopez@upn.edu.pe

Abstract– Climate change represents one of the main current challenges, with the digital carbon footprint being a significant source of greenhouse gas emissions. The lack of effective monitoring tools leads to manual, tedious, and inaccurate processes. Therefore, the objective of this research was to determine the influence of a digital system on monitoring the digital carbon footprint of university students in Cajamarca. The Scrum framework was implemented to develop the system. The research was applied, with a quantitative approach, explanatory scope, and pre-experimental design. The sample consisted of 100 university students over a period of 15 days. The results led to the conclusion that the digital system had a positive effect on monitoring the digital carbon footprint of the participating students.

Sistema de Monitoreo Energético para la Estimación de Huella de Carbono Digital

Cardozo Briceño César Antonio¹; Gamarra Dieguez Esteban Manuel²; Rosa M. Lopez Martos³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00269145@upn.pe, N00262480@upn.pe, rosa.lopez@upn.edu.pe

Resumen– El cambio climático representa uno de los principales desafíos actuales, siendo la huella de carbono digital una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero. La falta de herramientas eficaces para su monitoreo conduce a procesos manuales, tediosos y poco precisos. Por ello, el objetivo de esta investigación fue determinar la influencia de un sistema digital en el monitoreo de la huella de carbono digital en estudiantes universitarios de Cajamarca. Para el desarrollo del sistema se empleó el framework Scrum. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, alcance explicativo y diseño preexperimental. La muestra estuvo conformada por 100 estudiantes universitarios durante un periodo de 15 días. Los resultados permitieron concluir que el sistema digital tuvo un efecto positivo en el monitoreo de la huella de carbono digital en los estudiantes participantes.

Palabras clave– Huella de carbono, sistema de monitoreo.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la preocupación por el cambio climático ha aumentado debido al impacto de los gases de efecto invernadero, especialmente el dióxido de carbono (CO₂) [1]. Un componente importante de estas emisiones es la huella de carbono digital, generada por el uso cotidiano de dispositivos electrónicos en diversos entornos. En 2023, las emisiones globales de CO₂ alcanzaron un récord de 37.4 gigatoneladas, con un incremento del 1.1 % respecto al año anterior [2]. En América Latina y el Caribe, aunque el consumo energético per cápita fue relativamente bajo (2.2 MWh en 2022), la creciente adopción de tecnologías digitales ha incrementado la demanda energética doméstica [3].

La huella de carbono digital se ha consolidado como una herramienta clave para evaluar el impacto ambiental, aunque persiste una brecha entre el conocimiento del concepto y su aplicación práctica en la vida diaria [4]. Esta desconexión también se manifiesta en el entorno digital, donde el uso de tecnologías de la información ha aumentado las emisiones sin una conciencia clara por parte de los usuarios [5]. Debido a esto, la creciente demanda de datos y el uso masivo de tecnologías digitales han incrementado significativamente el consumo energético, contribuyendo a una mayor huella de carbono digital [6].

Investigaciones recientes resaltan la necesidad de integrar herramientas accesibles y pedagógicas que permitan a los ciudadanos comprender y reducir su impacto ambiental [7]. En el contexto latinoamericano, se ha identificado una falta de uniformidad en las metodologías de estimación y una limitada implementación de medidas de mitigación, reflejando una desconexión entre el conocimiento teórico y la acción práctica [8]. Para cerrar esta brecha, es fundamental ofrecer herramientas

visuales e informativas que presenten indicadores clave —como picos de uso, consumo promedio o estimaciones de emisiones— y así fomentar una reflexión crítica en los usuarios sobre su comportamiento energético.

Estudios han demostrado que el monitoreo detallado del consumo en los hogares mediante medidores inteligentes permite identificar patrones de uso y aplicar estrategias para mejorar la eficiencia energética [9]. Además, factores psicológicos y sociales, como la conciencia ambiental y las normas personales, influyen significativamente en la adopción de tecnologías sostenibles [10]. Finalmente, el análisis del comportamiento de los usuarios a partir de datos de consumo eléctrico permite diseñar estrategias personalizadas que optimicen el uso de la energía y reduzcan las emisiones de CO₂ [11].

Diversas investigaciones recientes han abordado el impacto ambiental asociado al uso de tecnologías digitales y al diseño de edificaciones sostenibles, constituyendo una base sólida para el enfoque tecnológico y ambiental que plantea esta investigación.

Castañeda Olvera [12], analizó la huella de carbono digital generada por el uso creciente de TIC, destacando su impacto ambiental y su incompatibilidad con las metas de carbono neutralidad de la Agenda 2030. Propuso como medidas la adopción de energías renovables y la optimización de infraestructuras digitales como los centros de datos.

También, Giusti [13], estudió el aumento del consumo energético derivado de la digitalización y sus emisiones asociadas de CO₂. A través de casos internacionales, resaltó la necesidad de estrategias sostenibles y tecnologías más eficientes para reducir el impacto ambiental de las TIC.

De la misma forma, Pineda-Sosa et al. [14], aplicó simulaciones para reducir la huella de carbono e hídrica en una vivienda tropical en Panamá. Implementó estrategias de eficiencia energética y reutilización de agua, logrando reducciones del 57% y 53,8%, respectivamente.

Asimismo, la Revista Huamachuco [15], revisó el uso de soluciones digitales en turismo sostenible, identificando herramientas tecnológicas para medir huella de carbono, movilidad ecológica y gestión energética. El estudio resaltó el valor de las TIC en la promoción de prácticas responsables, especialmente en contextos de alta biodiversidad como Perú.

De la misma manera, Guillén-Chávez [16], examinó la huella de carbono en 55 universidades latinoamericanas entre 2016 y 2022, destacando el consumo indirecto como principal fuente emisora. El estudio resaltó la necesidad de institucionalizar prácticas sostenibles, incluyendo transporte limpio y compensaciones como reforestación y créditos de carbono.

En soluciones existentes se encontró la aplicación boliviana "Mi Huella", esta permite calcular las emisiones personales asociadas a actividades como el transporte, la dieta y el consumo energético en el hogar [17]. Por otro lado, el Website Carbon Calculator ofrece una estimación de las emisiones de CO₂ generadas por sitios web, considerando variables como el tamaño de la página y la eficiencia del servidor [18]. En el ámbito latinoamericano, la empresa ecuatoriana Netlife desarrolló la Calculadora Huella de Carbono Digital, esta es una plataforma web que calcula las emisiones derivadas del uso de tecnologías digitales comunes, incluyendo correos electrónicos, redes sociales, servicios de streaming y almacenamiento en la nube [19]. Finalmente, también se encontró a The Planet App, esta adopta un enfoque gamificado para fomentar hábitos sostenibles, permitiendo a los usuarios registrar acciones ecológicas, incluyendo aquellas relacionadas con el uso responsable de la tecnología, aunque su alcance no se limita exclusivamente a la huella de carbono digital [20].

El principal problema identificado radica en la ausencia de una plataforma que integre la medición de la huella de carbono digital generada por múltiples usuarios a través de diversos dispositivos, tanto móviles como de escritorio. Además, no existe una solución que permita centralizar y visualizar dicha información de manera accesible mediante una aplicación web unificada. Para el presente estudio se formuló la siguiente pregunta: ¿Cómo influye un sistema digital en el monitoreo de la huella de carbono digital en estudiantes universitarios de la ciudad de Cajamarca?. Se tiene como objetivo general determinar la influencia de un sistema digital en el monitoreo de la huella de carbono digital en estudiantes universitarios de Cajamarca. Para poder llegar al objetivo general se han considerado 3 objetivos específicos: a) evaluar los métodos actuales que utilizan los estudiantes universitarios para monitorizar su huella de carbono digital, b) diseñar e implementar un sistema digital para el monitoreo de la huella de carbono digital, c) evaluar el monitoreo de la huella de carbono digital en los estudiantes universitarios de Cajamarca después de la implementación del sistema de digital.

De igual forma, se planteó la siguiente hipótesis para el estudio; hipótesis alternativa: el sistema digital influirá de manera positiva en el monitoreo de la huella de carbono digital para los estudiantes universitarios de Cajamarca; hipótesis nula: el sistema digital no influirá de manera positiva en el monitoreo de la huella de carbono digital para los estudiantes universitarios de Cajamarca.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación fue de tipo aplicada, ya que tuvo como objetivo desarrollar e implementar un sistema digital orientado al monitoreo del consumo energético para calcular la huella de carbono digital, con el propósito de fomentar la reducción de la huella de carbono digital mediante la mejora de los hábitos de consumo de los usuarios. Se buscó aplicar el conocimiento científico a una problemática real, promoviendo prácticas sostenibles a través de la toma de decisiones informadas, basadas en los datos obtenidos por el monitoreo digital [21].

El enfoque adoptado fue cuantitativo, ya que se centró en la recolección y el análisis de datos numéricos relacionados con el consumo energético de dispositivos como computadoras y teléfonos móviles. Este tipo de enfoque permitió identificar patrones de uso, calcular indicadores clave (como el consumo promedio y las emisiones estimadas de CO₂) y evaluar de manera objetiva el impacto del sistema en los hábitos energéticos de los usuarios [22].

En cuanto al alcance del estudio, este fue de tipo explicativo, ya que buscó determinar la relación causal entre la implementación del sistema de monitoreo y los cambios en la huella de carbono digital. Se analizó cómo una intervención tecnológica podía influir tanto en el comportamiento energético como en la conciencia ambiental de los participantes [22].

El diseño metodológico fue pre-experimental, con un solo grupo bajo un esquema de pretest-posttest. La intervención consistió en la implementación del sistema digital, mediante el cual se registró la huella de carbono digital antes y después del uso del sistema, sin emplear un grupo control aleatorizado. Este tipo de diseño se caracteriza por su aplicabilidad en contextos donde no es viable la asignación aleatoria, y permite evaluar efectos directos de una intervención [23].

La población del estudio estuvo conformada por 176 489 personas del departamento de Cajamarca que, según el Censo Nacional 2017, declararon haber alcanzado el nivel de educación superior [24]. A partir de esta población, se seleccionó una muestra de 100 estudiantes universitarios, mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la accesibilidad, la disposición de los participantes y la proximidad institucional y territorial con el entorno universitario. Esta técnica es adecuada en estudios exploratorios o aplicados con limitaciones logísticas o de tiempo [23].

Para la recolección de datos, se utilizaron dos técnicas principales:

- En el pretest, se aplicó un cuestionario estructurado, donde los participantes informaron su tiempo promedio de uso diario de dispositivos electrónicos. Esto permitió estimar la huella de carbono digital inicial. Además, se recopilaban datos sobre el tiempo dedicado a generar reportes y registrar el consumo energético de forma manual, mediante formularios en línea.

- En el postest, el sistema desarrollado fue responsable de registrar automáticamente variables como el número de interacciones, el tiempo de uso y la huella de carbono generada. Esta automatización mejoró la precisión de los datos y redujo significativamente el esfuerzo manual necesario para el monitoreo.

Para estimar la huella de carbono digital generada por los usuarios, se empleó la siguiente fórmula (1):

$$HC = t(h) \times E(kWh) \times FE(kg\ CO_2e/kWh) \quad (1)$$

Donde:

- **HC** representa la huella de carbono,
- **t** es el tiempo de uso del dispositivo en horas,
- **E** es el consumo energético del equipo en kilovatios-hora, y
- **FE** es el factor de emisión correspondiente a la fuente energética utilizada.

Esta fórmula es ampliamente utilizada en estudios de sostenibilidad digital y evaluación ambiental de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) [25].

Los instrumentos utilizados fueron validados por tres expertos en sistemas tecnológicos, quienes evaluaron criterios como pertinencia, claridad, fundamentación teórica y adecuación al avance tecnológico. La evaluación se realizó mediante una rúbrica basada en una escala tipo Likert de 1 a 5 puntos, donde 5 representa el nivel más alto de cumplimiento. Las calificaciones asignadas a cada criterio fueron convertidas en porcentajes y analizadas para facilitar su interpretación. Los resultados obtenidos fueron: Experto 1: 90 %, Experto 2: 94 % y Experto 3: 88 %. A partir de estos valores, se calculó un promedio general de 91 %, lo que, según la escala de interpretación establecida, corresponde a un nivel excelente de confiabilidad. Este resultado respalda la validez y solidez técnica del instrumento utilizado en la investigación.

Para el procesamiento y análisis de datos, se utilizó Microsoft Excel, aplicando estadística descriptiva básica, incluyendo cálculos de promedios, porcentajes y variaciones entre los resultados del pretest y el postest. Asimismo, se elaboraron gráficos comparativos de barras que permitieron visualizar de manera clara y efectiva el impacto del sistema sobre los hábitos energéticos de los usuarios y la reducción de su huella de carbono digital. El proceso completo de recolección y análisis de datos se resume en la Fig. 1.

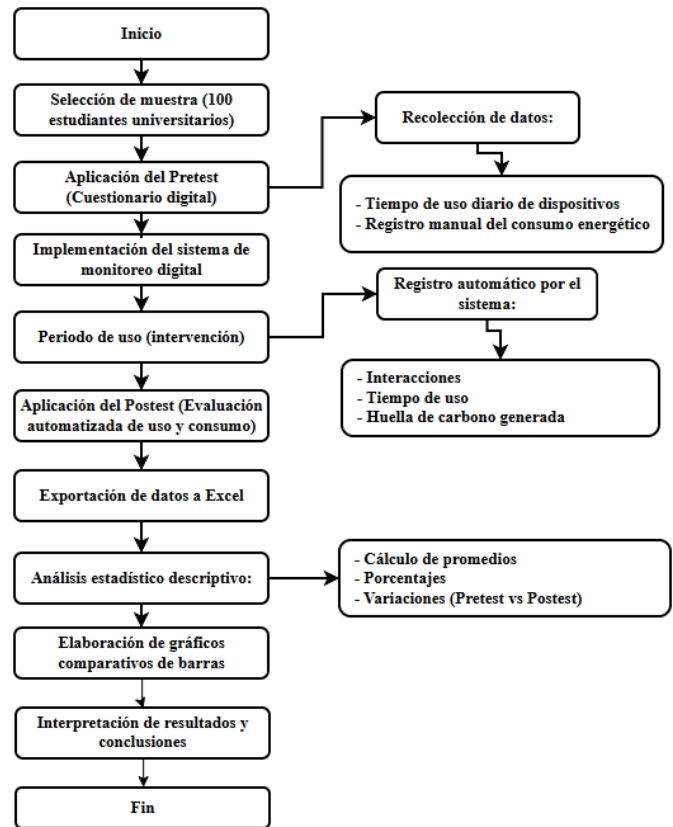


Fig. 1 Proceso secuencial para la recolección y análisis de datos.

En relación con las consideraciones éticas, todos los participantes fueron informados previamente sobre el propósito del estudio mediante un consentimiento informado, el cual fue explicado de forma clara para asegurar su comprensión. Además, los términos y condiciones del sistema, que incluían el uso y tratamiento de los datos recolectados, fueron presentados en el instalador de la aplicación. La aceptación de estos términos se consideró tácita al momento de la instalación y uso del sistema. Se garantiza en todo momento la confidencialidad y anonimato de la información, aplicándola exclusivamente con fines académicos y respetando los principios éticos institucionales y las normativas nacionales vigentes [26].

III. RESULTADOS

A. Evaluar los métodos actuales que utilizan los estudiantes universitarios para monitorizar su huella de carbono digital.

El monitoreo de la huella de carbono se evaluó en base a la dimensión de eficiencia en el monitoreo, teniendo así cuatro indicadores: tiempo de registro del consumo energético, tiempo para generar un reporte sobre la huella de carbono digital, número de registros de la huella de carbono digital y huella de carbono digital inicial. Los resultados se aprecian en la Tabla I.

TABLA I
RESULTADOS DEL MONITOREO DE LA HUELLA DE CARBONO
ANTES DEL SISTEMA

Indicador	Valor promedio usuario (1 día)	Valor promedio del usuario (15 días)
Tiempo de registro del consumo energético	30 segundos	450 segundos
Tiempo para generar un reporte sobre la huella	30 segundos	450 segundos
Número de registros de la huella	2 registros	30 registros
HCA inicial	0.578 kg CO ₂ e	4.97 kg CO ₂ e

B. Diseñar e implementar un sistema digital para el monitoreo de la huella de carbono digital

Para el desarrollo del sistema digital de monitoreo de la huella de carbono digital, se aplicó la metodología ágil Scrum, la cual facilitó una gestión iterativa e incremental del proyecto. Esta metodología se estructuró en cinco fases principales, como se ilustra en la Fig. 2, a continuación, se describen cada una de las fases:

- Fase 1: Inicio del proyecto

Se definieron los objetivos del sistema, los requisitos funcionales y no funcionales, así como el equipo de trabajo y los roles (Scrum Máster, Product Owner & Developers). También se elaboró el Product Backlog inicial con base en las necesidades identificadas.

- Fase 2: Planificación de Sprints

Se organizaron nueve sprints, cada uno con una duración de una semana. En esta fase se desglosaron las historias de usuario y tareas técnicas en un Sprint Backlog detallado (ver Tabla II), que guió el desarrollo por entregas funcionales.

- Fase 3: Ejecución de Sprint

Durante cada sprint se implementaron módulos específicos del sistema, incluyendo autenticación, recolección de datos, cálculo de huella de carbono digital, visualización gráfica, simuladores y funcionalidades de ranking y recomendaciones.

- Fase 4: Revisión del Sprint

Al finalizar cada iteración, se evaluaron los entregables con el Product Owner y se identificaron mejoras, errores o nuevas funcionalidades, las cuales retroalimentaron el backlog para los siguientes sprints.

- Fase 5: Retrospectiva del Sprint

Se reflexionó sobre la eficiencia del equipo, los aciertos y las dificultades encontradas, con el fin de mejorar continuamente la colaboración y los resultados en los siguientes sprints.

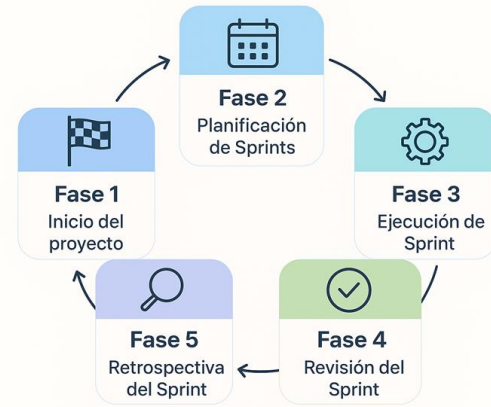


Fig. 2 Fases del desarrollo aplicando la metodología Scrum.

Arquitectura del sistema: El sistema se diseñó bajo una arquitectura cliente-servidor con múltiples plataformas. Incluye una aplicación móvil, una aplicación de escritorio (PC), una plataforma web para administración y un backend centralizado que gestiona la lógica del negocio, autenticación y persistencia de datos (Fig. 3). La base de datos utilizada fue PostgreSQL, y los distintos clientes se comunican con el backend mediante protocolos HTTP/HTTPS con autenticación JWT.

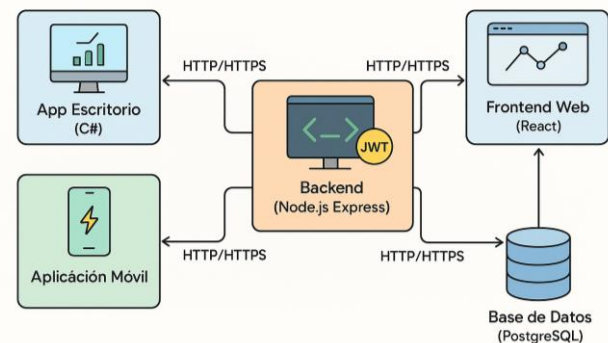


Fig. 3 Arquitectura general del sistema de monitoreo.

Sprint Backlog y funcionalidad entregada

A lo largo de los nueve sprints, se desarrollaron las siguientes funcionalidades clave mostradas en la tabla II:

TABLA II.

SPRINT BACKLOG DEL PROYECTO

Sprint	Objetivo principal	Funcionalidad clave entregada
1	Autenticación	Login, registro, recuperación de contraseña
2	Recolección de datos energéticos	Consumo en PC y móvil
3	Gestión de usuarios y roles	CRUD de usuarios, roles

4	Gestión de eventos	Registro y validación de eventos
5	Visualización de la huella de carbono digital	Gráficas, filtros y comparaciones
6	Simuladores ambientales	Dispositivos, nube, correo electrónico y papel
7	Recomendaciones y ranking	Generador de tips personalizados y posición del usuario
8	Dashboards y ajustes finales	Paneles administrativos y de usuario
9	Pruebas finales y documentación	Test funcional, corrección de errores y presentación

Entre las funcionalidades implementadas destacan:

- Registro automático del consumo energético en dispositivos móviles y de escritorio.
- Cálculo y visualización de la huella de carbono digital en tiempo real.
- Paneles de control interactivos (dashboards) para usuarios y administradores.
- Módulos de simulación del impacto ambiental por correos electrónicos, almacenamiento en la nube y uso de papel.
- Sistema de recomendaciones personalizadas y ranking comparativo entre usuarios.

Herramientas y tecnologías utilizadas

Para la construcción del sistema se emplearon las siguientes tecnologías:

- Frontend Web: React.js
- Backend: Node.js con Express y autenticación JWT
- Base de datos: PostgreSQL
- Aplicación de escritorio: C# (.NET)
- Aplicación móvil: Android Studio

En las Fig. 4-12 se muestran las interfaces principales de la aplicación:

Fig. 4. Interfaz de Login de Aplicación de escritorio

Fig. 5. Interfaz si la sesión ha sido iniciada correctamente

```

Iniciando cliente AppUsageEnergyMonitor
Inicio de sesión automático
[Tray icon inicializado correctamente. Esperando acción del usuario...]
Login Response:
Conectado al WebSocket
Inicio de sesión Manual
[EVENTO] brave (Medium): Inicio: 14/06/2025 18:19:42, Fin: 14/06/2025 18:20:45, Duración: 00:01:02.9519901 - CPU: 0.10% - Estimado: 1.57 mWh - Huella: 0.0007475548824375 - Tipo: PC
[EVENTO] brave (Medium): Inicio: 14/06/2025 18:20:46, Fin: 14/06/2025 18:21:53, Duración: 00:01:06.9846407 - CPU: 0.34% - Estimado: 1.67 mWh - Huella: 0.0007954426083125 - Tipo: PC
[EVENTO] brave (Medium): Inicio: 14/06/2025 18:21:54, Fin: 14/06/2025 18:22:07, Duración: 00:00:12.9864151 - CPU: 1.26% - Estimado: 0.32 mWh - Huella: 0.0001542136793125 - Tipo: PC
WebSocket cerrado
Sesión Finalizada Manualmente

```

Fig. 6. Logs de Aplicación de escritorio

Fig. 7. Recomendaciones por el uso de aplicaciones

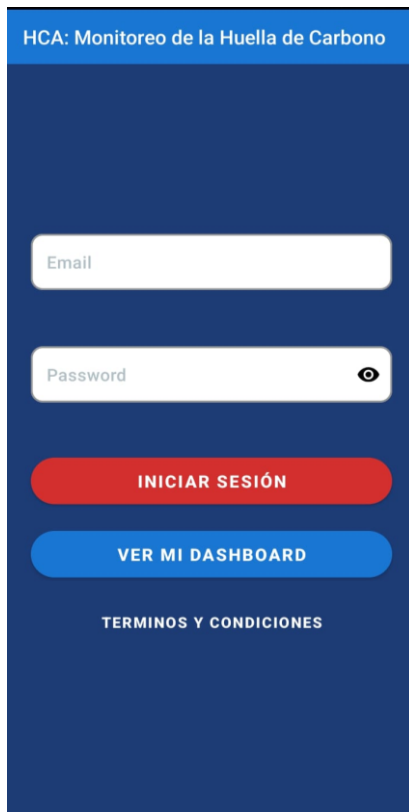


Fig. 8. Interfaz de Login de Aplicación móvil

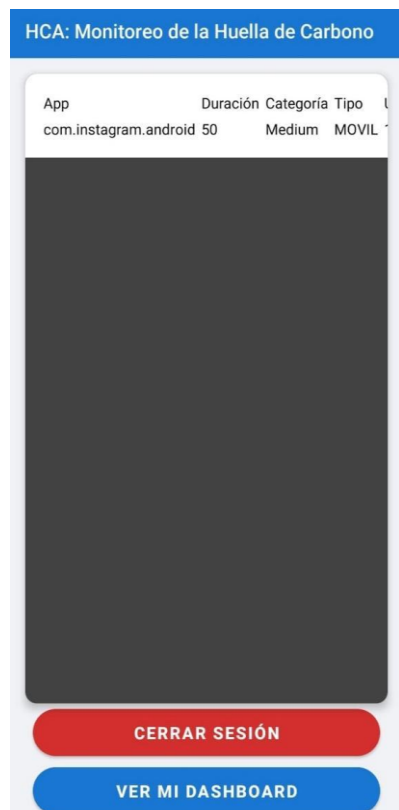


Fig. 9. Interfaz de eventos de Aplicación móvil

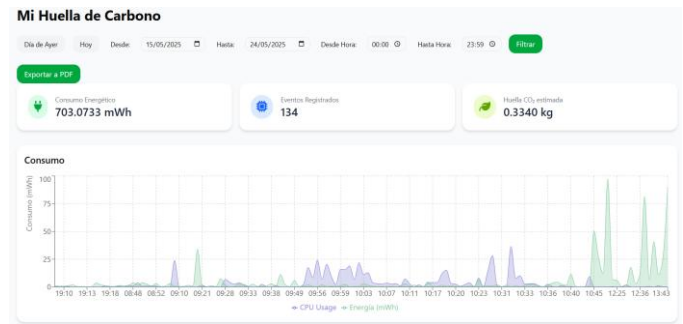


Fig. 10. Página web - Dashboard principal



Fig. 11. Página web - Interfaz de Clasificación de Aplicaciones



Fig. 12. Página web - Reporte generado en PDF

Tras la implementación de la aplicación, se aplicó un formulario de evaluación basado en una escala de Likert del 1 al 5, con el propósito de medir las dimensiones de funcionalidad, usabilidad, seguridad y satisfacción. Los resultados obtenidos reflejaron los siguientes promedios porcentuales: funcionalidad 91.39%, usabilidad 90.56%, seguridad 91.67% y satisfacción 91.67%.

C. Evaluar el monitoreo de la huella de carbono digital en los estudiantes universitarios de Cajamarca después de la implementación del sistema de digital

Después de la implementación del sistema de monitoreo se volvió a evaluar el monitoreo de la huella de carbono digital en base a la dimensión de eficiencia en el monitoreo, se muestran los resultados obtenidos en la tabla III.

Tabla III.
RESULTADOS DEL MONITOREO DE LA HUELLA DE CARBONO
DESPUÉS DEL USO DEL SISTEMA DIGITAL

Indicador	Valor promedio usuario (1 día)	Valor promedio del usuario (15 días)
Tiempo de registro del consumo energético	10 segundos	150 segundos
Tiempo para generar un reporte sobre la huella	10 segundos	150 segundos
Número de registros de la huella	225 registros	3375 registros
HCA final	0.0793 kg CO ₂ e	1.19 kg CO ₂ e

D. *Determinar la influencia de un sistema digital en el monitoreo de la huella de carbono digital en estudiantes universitarios de Cajamarca.*

De acuerdo con los resultados obtenidos, el impacto causado por un sistema de monitoreo de la huella de carbono para los estudiantes universitarios de Cajamarca fue positivo, esto se evidencia en la Fig. 13, 14, 15 y 16, mejorando el tiempo de registro, para generar un reporte, aumentando el número de registros y observando una reducción significativa en la huella de carbono digital.

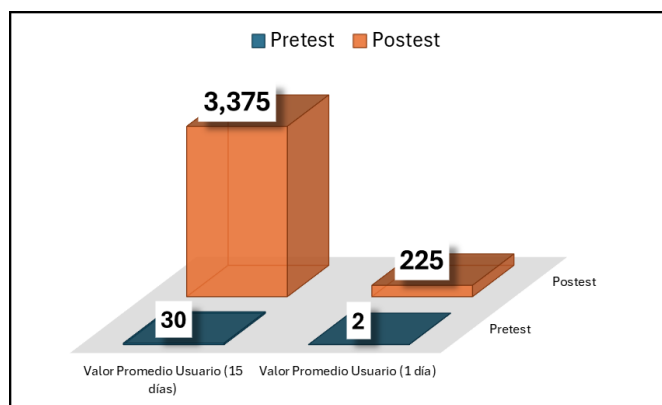


Fig. 15 Número de registros en Pretest vs Posttest

PROMEDIO DE HCA: PORCENTAJE DE
REDUCCIÓN 75.56%

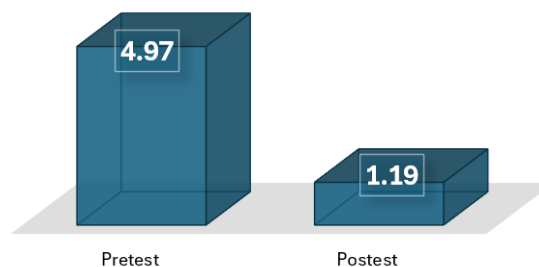


Fig. 16 Huella de carbono digital Pretest vs Posttest

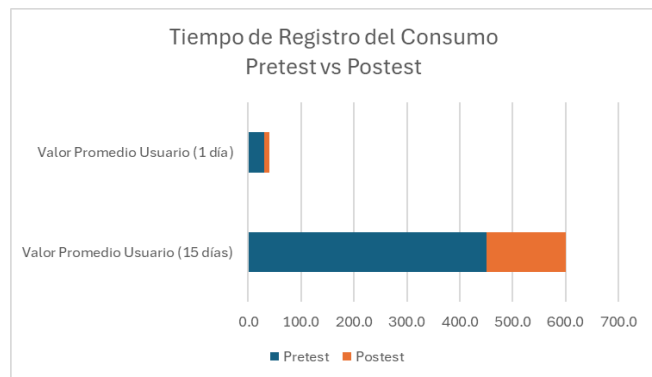


Fig. 13 Tiempo de Registros Pretest vs Posttest

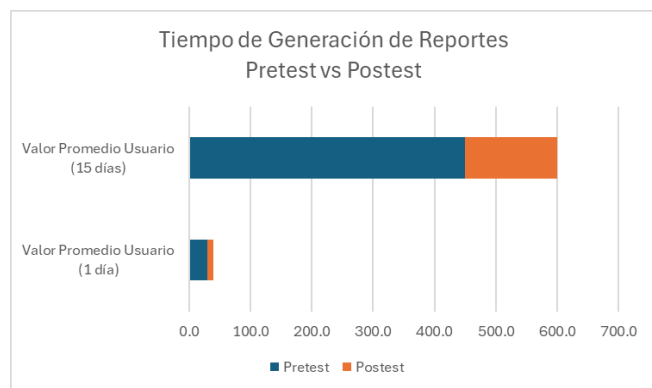


Fig. 14 Tiempo de Generación de Reportes Pretest vs Posttest

Para la contrastación de hipótesis se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas, con un nivel de significancia de 0.05, comparando los resultados obtenidos antes y después del uso del sistema de monitoreo. Se observó una reducción significativa en el tiempo de registro del consumo energético (de 30 s a 10 s) y en el tiempo para generar reportes (de 30 s a 10 s), así como un incremento significativo en el número de registros realizados (de 2 a 225 por día), de igual forma se observó una reducción significativa (de 4.97 kg CO₂e a 1.19 kg CO₂e).

Los resultados obtenidos arrojaron valores de $p < 0.05$, lo que permitió rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, concluyendo que el sistema digital influyó de manera positiva en el monitoreo de la huella de carbono digital para los estudiantes universitarios de Cajamarca.

A pesar de los resultados positivos, el estudio presenta limitaciones que deben considerarse. Se trabajó únicamente con estudiantes universitarios de Cajamarca y con una muestra por conveniencia de 100 participantes, lo que limita la generalización de los hallazgos. La ausencia de un grupo control y la dependencia de datos autodeclarados pueden haber introducido sesgos en los resultados. Además, el cálculo de la huella de carbono digital se realizó con un único factor de emisión promedio, sin considerar variaciones regionales en la matriz energética.

Ante lo expuesto anteriormente, se propone ampliar la muestra a diferentes universidades y emplear un diseño cuasi-experimental con grupo control para fortalecer la validez de los resultados. También se sugiere integrar datos en tiempo real del mix energético para estimaciones más precisas e incorporar módulos de gamificación y retroalimentación que fomenten la reducción sostenida de la huella de carbono digital.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian una mejora significativa en la eficiencia del monitoreo de la huella de carbono digital mediante el uso de un sistema automatizado, lo que coincide con las preocupaciones y hallazgos de estudios recientes relacionados con el impacto ambiental de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Castañeda Olvera [12] destacó la creciente huella de carbono digital provocada por el uso masivo de las TIC, subrayando su incompatibilidad con los objetivos de carbono neutralidad de la Agenda 2030. En este contexto, el sistema propuesto contribuye a mitigar dicho impacto al promover la conciencia y el monitoreo activo del consumo energético digital, alineándose con las recomendaciones del autor respecto a la optimización de infraestructuras digitales y el uso consciente de recursos tecnológicos.

Asimismo, Giusti [13] enfatizó la necesidad de adoptar tecnologías más eficientes y sostenibles ante el aumento del consumo energético asociado a la digitalización. El presente estudio respalda esta premisa, al demostrar una reducción del tiempo de monitoreo en más del 70% y un incremento del 11,150% en la frecuencia de registros, lo cual permite una gestión más activa y rápida de los datos relacionados con la huella digital, sin incrementar la carga energética del sistema. Por otro lado, Pineda-Sosa et al. [14] abordaron la reducción de la huella ecológica mediante simulaciones en viviendas tropicales, logrando resultados positivos mediante estrategias de eficiencia. Este enfoque multidisciplinario se relaciona con el planteamiento de esta tesis, en la que se implementaron principios de eficiencia y sostenibilidad en el diseño del sistema de monitoreo, permitiendo una integración fluida entre tecnología, sostenibilidad y educación.

En relación con las soluciones existentes, el sistema desarrollado presentó ventajas significativas en términos de usabilidad, contextualización y eficiencia. A diferencia de herramientas como “Mi Huella” [17], Website Carbon Calculator [18], la Calculadora Huella de Carbono Digital [19] y The Planet App [20], que tienen un enfoque más general o no específico para entornos académicos, el sistema propuesto se adapta al contexto universitario local, facilita un monitoreo más ágil y promueve una mayor frecuencia de uso, evidenciando que puede superar ampliamente a las alternativas disponibles en términos de efectividad y adopción.

V. CONCLUSIONES

Con respecto al primer objetivo, evaluar los métodos actuales que utilizan los estudiantes universitarios para monitorizar su huella de carbono digital, se obtuvo que el tiempo promedio de registro del consumo energético y de generación de reportes sobre la huella era superior a 7 minutos, y el número de registros realizados en un periodo de 15 días era de solo 30.

En cuanto al segundo objetivo, diseñar e implementar un sistema digital para el monitoreo de la huella de carbono digital, se desarrolló e implementó dicho sistema utilizando la metodología Scrum, considerando sus cuatro fases principales (planificación, diseño, desarrollo y evaluación).

Respecto al tercer objetivo, evaluar el monitoreo de la huella de carbono digital en los estudiantes universitarios de Cajamarca después de la implementación del sistema de digital, se evidenció que los tiempos de registro y generación de reportes se redujeron a menos de 3 minutos, y el número de registros aumentó a 3375. Esto representa una mejora del 11,150% en la cantidad de registros y una reducción de más del 70% en los tiempos. Adicionalmente para la reducción de la huella de carbono digital, se evidenció que esta redujo de 4.97 kg CO₂e a 1.19 kg CO₂e lo que supone una reducción del 75.56%.

Finalmente, para validar estadísticamente el impacto del sistema de monitoreo, se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas, con un nivel de significancia de 0.05. Los resultados obtenidos permitieron rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, concluyendo que el sistema digital influirá de manera positiva en el monitoreo de la huella de carbono digital para los estudiantes universitarios de Cajamarca.

REFERENCIAS

- [1] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), CLIMATE CHANGE 2023: SYNTHESIS REPORT, 2023.
- [2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), GLOBAL CO₂ EMISSIONS IN 2023, 2024. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTPS://WWW.IEA.ORG](https://www.iea.org)
- [3] STATISTA, HOUSEHOLD ELECTRICITY CONSUMPTION IN LATIN AMERICA 2022, 2023. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTPS://WWW.STATISTA.COM](https://www.statista.com)
- [4] M. SENESE, R. RUGGIERI, AND M. FORTE, “DIGITAL CARBON FOOTPRINT AWARENESS AMONG EVERYDAY USERS,” JOURNAL OF SUSTAINABLE TECHNOLOGY, VOL. 18, NO. 1, PP. 23–40, 2024.
- [5] D. CASTAÑEDA OLVERA, “IMPACTO AMBIENTAL DEL CONSUMO DIGITAL: PERCEPCIÓN Y PRÁCTICAS EN USUARIOS URBANOS,” REVISTA DE ESTUDIOS AMBIENTALES, VOL. 45, NO. 2, PP. 112–130, 2022.
- [6] THE GUARDIAN. (2024, OCTUBRE 31). CONCERNED ABOUT YOUR DATA USE? HERE IS THE CARBON FOOTPRINT OF AN AVERAGE DAY OF EMAILS, WHATSAPPS AND MORE. [HTTPS://WWW.THEGUARDIAN.COM/ENVIRONMENT/2024/OCT/31/CONCERNED-ABOUT-YOUR-DATA-USE-HERE-IS-THE-CARBON-FOOTPRINT-OF-AN-AVERAGE-DAY-OF-EMAILS-WHATSAPPS-AND-MORE](https://www.theguardian.com/environment/2024/oct/31/concerned-about-your-data-use-here-is-the-carbon-footprint-of-an-average-day-of-emails-whatsapps-and-more)
- [7] MARÍA-DÁVILA, EDWARD SANTA, ALAYA-OBREGÓN, ALAN, & SÁNCHEZ-AGURTO, YONER. (2024). ESTIMACIÓN DE LA HUELLA CARBONO DE LA ELECTROMOVILIDAD EN EL PERÚ. TECNIA, 34(2), 3-17. EPUB 01 DE DICIEMBRE DE 2024. [HTTPS://DOI.ORG/10.21754/TECNIA.V34I2.1928](https://doi.org/10.21754/TECNIA.V34I2.1928)
- [8] MELLADO VILLAFUERTE, N., & CARRASCO HUAMAN, S. (2021). HUELLA DE CARBONO EN LATINOAMÉRICA COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN INSTITUCIONES PRIVADAS, 2017-2021. CIENCIA

- LATINA REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR, 5(5).
[HTTPS://DOI.ORG/10.37811/CL_RCM.V5I5.1050](https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V5I5.1050)
- [9] HERNÁNDEZ, Á., NIETO, R., DE DIEGO-OTÓN, L., VILLADANGOS-CARRIZO, J. M., PIZARRO, D., FUENTES, D., & PÉREZ-RUBIO, M. C. (2025). MONITORING DAILY ACTIVITIES IN HOUSEHOLDS BY MEANS OF ENERGY CONSUMPTION MEASUREMENTS FROM SMART METERS. JOURNAL OF SENSOR AND ACTUATOR NETWORKS, 14(2), 25. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/jsan14020025](https://doi.org/10.3390/jsan14020025)
- [10] Zharova, A., & Lee, H.-E. (2022). UNDERSTANDING USER PERCEPTION AND INTENTION TO USE SMART HOMES FOR ENERGY EFFICIENCY: A SURVEY. ARXIV PREPRINT ARXIV:2212.05019. [HTTPS://ARXIV.ORG/ABS/2212.05019](https://arxiv.org/abs/2212.05019)
- [11] Wu, Y., Zhang, L., & Li, H. (2024). ELECTRICITY USER BEHAVIOR ANALYSIS AND MARKETING STRATEGY BASED ON INTERNET OF THINGS AND BIG DATA. ENERGY INFORMATICS, 7, 397. [HTTPS://DOI.ORG/10.1186/s42162-024-00397-1](https://doi.org/10.1186/s42162-024-00397-1)
- [12] CASTAÑEDA OLVERA, DOMINGO RAFAEL. (2022). LA NUBE CONTAMINANTE. UN ANÁLISIS SOCIOAMBIENTAL DE LA HUELLA DE CARBONO DIGITAL. PAAKAT: REVISTA DE TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD, 12(22), E730. EPUB 19 DE OCTUBRE DE 2022. [HTTPS://DOI.ORG/10.32870/pk.a12n22.730](https://doi.org/10.32870/pk.a12n22.730)
- [13] DE GIUSTI, M. R. (2024). TICS: CONSUMO ELÉCTRICO, HUELLA DE CARBONO E IMPACTO DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL [PRESENTACIÓN]. [HTTPS://SEDIC.UNLP.EDU.AR/HANDLE/10915/172217](https://sedic.unlp.edu.ar/handle/10915/172217)
- [14] PINEDA-SOSA, F., BORGGHOFF, M., TEJEDOR-FLORES, N., MORA, D., & CHEN-AUSTIN, M. (2022). EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA HUELLA ECOLÓGICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN CLIMA TROPICAL. I+D TECNOLÓGICO, 18(2), 44-54. [HTTPS://DOI.ORG/10.33412/IDT.V18.2.365](https://doi.org/10.33412/IDT.V18.2.365)
- [15] SOLUCIONES DIGITALES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN EL TURISMO SOSTENIBLE. (2024). REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA HUAMACHUCO, 2(2), 36-43. [HTTPS://DOI.ORG/10.61709/hc4thv95](https://doi.org/10.61709/hc4thv95)
- [16] GUILLÉN-CHÁVEZ, S. (2023). «UNIVERSIDADES LÍDERES ENSOSTENIBILIDAD: UN ANÁLISIS DE LAS INICIATIVAS DE HUELLA DE CARBONO EN LATINOAMÉRICA». SOUTH SUSTAINABILITY, 4(2) E081. DOI: 10.21142/SS-0402-2023-E081.
- [17] Laboratorio de Tecnologías Sociales. (2023, 28 marzo). App. Mi Huella, calculadora de huella de carbono. Laboratorio de Tecnologías Sociales. <https://www.laboratoriotecnologiassociales.com/mi-huella/>
- [18] Dodonut. (2022, 24 octubre). Your website's digital footprint. Tools to track its CO2 emissions. Dodonut. <https://dodonut.com/blog/digital-footprint-tools/>
- [19] Netlife. (s.f.). Calculadora Huella de Carbono Digital. Netlife. <https://www.netlife.ec/blog/calculadora-huella-carbono-digital/>
- [20] Universidad de León. (2023, 16 octubre). La ULE se suma a 'The Planet App', una aplicación para formar en sostenibilidad. Universidad de León.
- [21] J. Lozada, «Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria», CienciAmérica Rev. Divulg. Científica Univ. Tecnológica Indoamérica, vol. 3, no. 1, pp. 47-50, 2014
- [22] J. W. CRESWELL Y V. L. PLANO CLARK, DISEÑO Y DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN MIXTA, 3.ª ED., PEARSON EDUCACIÓN, 2018.
- [23] S. Sampieri, Fundamentos de investigación: metodología y técnicas, 2da ed., McGraw-Hill, 2018.
- [24] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Departamento de Cajamarca cuenta con 1 341 012 habitantes. Resultados definitivos Censos Nacionales 2017. Disponible en: <https://censo2017.inei.gob.pe/censos-2017-departamento-de-cajamarca-cuenta-con-1-341-012-habitantes/>
- [25] Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). (2023). UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023>
- [26] CONCYTEC, «Normas para la ética en la investigación científica», Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, Perú, 2021