

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



EcoHuella: aplicación de gestión de huella de carbono

Trabajo de graduación presentado por Fernando José Garavito Ovando
para optar al grado académico de Licenciado en Ciencias de la
Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala, 2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



EcoHuella: aplicación de gestión de huella de carbono

Trabajo de graduación presentado por Fernando José Garavito Ovando
para optar al grado académico de Licenciado en Ciencias de la
Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala, 2024

Vo.bo.:

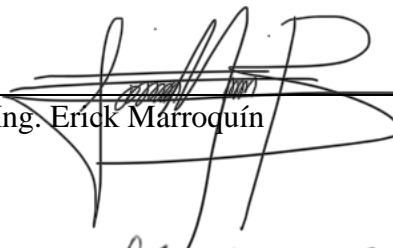
(f)



Ing. Erick Marroquín

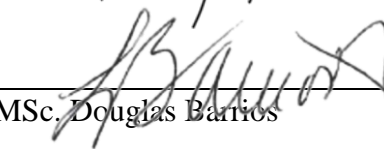
Tribunal examinador:

(f)




Ing. Erick Marroquín

(f)



MSc. Douglas Barrios

(f)



MSc. Angélico Franco

Fecha de aprobación: Guatemala, 27 de noviembre de 2024.

En un mundo cada vez más consciente de la necesidad de sostenibilidad y la protección del medio ambiente, el cálculo de la huella de carbono se ha convertido en una herramienta crucial para evaluar el impacto ambiental de nuestras actividades diarias. La huella de carbono mide la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos directa o indirectamente por nuestras acciones, y es un indicador vital para comprender y mitigar el cambio climático.

Esta aplicación web se desarrolló con el objetivo de proporcionar a los usuarios una forma interactiva y educativa de calcular y comprender su huella de carbono. Ambientada en el contexto de Guatemala, la aplicación permite a los usuarios no solo evaluar su impacto ambiental personal, sino también comparar resultados a nivel regional, filtrando por departamento, municipio y zona. Además, se incorporaron elementos de gamificación para hacer el proceso de aprendizaje más atractivo y motivador.

EcoHuella: aplicación de gestión de huella de carbono.....	iii
Prefacio	v
Índice	vi
Lista de figuras.....	viii
Lista de cuadros	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción	13
Antecedentes.....	14
Justificación	15
Objetivos	16
4.1. 16	
4.2. 16	
Alcance	17
Marco teórico.....	18
6.1 18	
6.2 19	
6.3 20	
Metodología.....	21
7.1 21	
7.2 25	
7.3 26	
7.4 27	
7.5 29	
7.6 43	
7.7 Gamificación.....	44
Resultados.....	47
8.1 47	
8.2 59	
8.3 60	
8.4 62	
Conclusiones.....	64
9.1 64	

9.2	64	
9.3	65	
Recomendaciones	66
10.1	66	
10.2	67	
10.3	67	
Bibliografía	68
Anexos	70
12.1	70	
12.2	72	
12.3	74	
12.4	74	
Glosario	75

Figura 1. Página de inicio del primer prototipo	29
Figura 2. Cuentas creadas, cuestionarios realizados, cuestionarios activos y filtros de departamento, municipio y zona de la página de inicio del primer prototipo	29
Figura 3. Página de iniciar sesión del primer prototipo	29
Figura 4. Página de registrar del primer prototipo	30
Figura 5. Página de información del primer prototipo	30
Figura 6. Página de la sección de fecha del primer prototipo	30
Figura 7. Página de la sección de transporte del primer prototipo	30
Figura 8. Página de la sección de viajes aéreos del primer prototipo	31
Figura 9. Página de la sección de energía del primer prototipo	31
Figura 10. Página de la sección de agua del primer prototipo	31
Figura 11. Página de resultados con una gráfica de barras y otra grafica circular	31
Figura 12. Página de Inicio del segundo prototipo	33
Figura 13. Cuentas creadas, cuestionarios realizados, cuestionarios activos y filtros de departamento, municipio y zona de la página de Inicio del segundo prototipo	34
Figura 14. Página de información y preguntas frecuentes del segundo prototipo	34
Figura 15. Página de iniciar sesión del segundo prototipo	34
Figura 16. Página de registrar del segundo prototipo	34
Figura 17. Página de la sección de transporte del segundo prototipo	35
Figura 18. Página de la sección de viajes aéreos del segundo prototipo	35
Figura 19. Página de la sección de energía del segundo prototipo	35
Figura 20. Página de Inicio del segundo prototipo	35
Figura 21. Página de resultados con una gráfica de barras y otra gráfica circular	36
Figura 22. Página de resultados con una línea de tiempo de cada cuestionario realizado	36
Figura 23. Página de resultados con los cuestionarios realizados del segundo prototipo	36
Figura 24. Página para mostrar las preguntas y respuestas de cada cuestionario realizado	36
Figura 25. Página de insignias del segundo prototipo	37
Figura 26. Página de inicio del tercer prototipo	37
Figura 27. Página de información del tercer prototipo	37
Figura 28. Página de preguntas frecuentes del tercer prototipo	38
Figura 29. Página de iniciar sesión del tercer prototipo	38
Figura 30. Página de registrar del tercer prototipo	38
Figura 31. Página de nueva evaluación del tercer prototipo	38
Figura 32. Página de la sección de transporte del tercer prototipo	39
Figura 33. Página de la sección de viajes aéreos del tercer prototipo	39
Figura 34. Página de la sección de energía del tercer prototipo	39
Figura 35. Página de la sección de alimentación del tercer prototipo	40
Figura 36. Página de la sección de vestimenta del tercer prototipo	40
Figura 37. Página de la sección de residuos y desechos del tercer prototipo	40
Figura 38. Página de la sección de resultados con la línea de tiempo y cuestionarios realizados del tercer prototipo	40
Figura 39. Página para mostrar las preguntas y respuestas de cada cuestionario realizado del tercer prototipo	41
Figura 40. Página para mostrar los valores de las respuestas a cada pregunta de los cuestionarios realizados del tercer prototipo	41
Figura 41. Página para compartir los resultados del tercer prototipo	41
Figura 42. Página de insignias del tercer prototipo	41
Figura 43. Página de recomendaciones del tercer prototipo	42
Figura 44. Página de perfil del tercer prototipo	42
Figura 45. Estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala utilizando EcoHuella	47
Figura 46. Segundo estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala utilizando EcoHuella	47
Figura 47. Empaque del aparato Tobii Eye Tracker 5	48

Figura 48. Empaque para el sensor del aparato Tobii Eye Tracker 5	48
Figura 49. Monitoreo de la visualización de los aspectos de la página	48
Figura 50. Configuración del sensor de Tobii Eye Tracking 5	49
Figura 51. Nombres de los estudiantes en las pruebas de usuario	49
Figura 52. Correos de los estudiantes en las pruebas de usuario	50
Figura 53. Resultados de que te gusto de EcoHuella	50
Figura 54. Resultados de que no te gusto de EcoHuella	51
Figura 55. Resultados de que tan fácil o difícil fue responder en la App EcoHuella	52
Figura 56. Resultados de que tan adecuadas son las secciones de EcoHuella	53
Figura 57. Resultados de que tan informativo es la opción de filtro de los lugares de la región de Guatemala en EcoHuella	53
Figura 58. Resultados de que tan motivadores son las insignias de EcoHuella	54
Figura 59. Resultados de que tan atractivo o no es visualmente EcoHuella	54
Figura 60. Resultados de que tan probable es compartir EcoHuella con personas en reducir su	55
Figura 61. Resultados de que tan probable es compartir EcoHuella con amigos o familiares	56
Figura 62. Resultados del sensor con respecto al movimiento de los ojos de los estudiantes al usar EcoHuella	60
Figura 63. Graficas de cada valor colocado dependiendo el cuestionario realizado	62
Figura 64. Valor de huella de carbono en toda Guatemala	62
Figura 65. Valor de huella de carbono en toda Guatemala, Guatemala en Zona 7	63
Figura 66. Valor de huella de carbono en toda Sacatepéquez, Ciudad Vieja en Zona 2	63

Cuadro 1. Tablas y gráficos de resultados clave

60

La huella de carbono es una medida crítica del impacto ambiental de nuestras actividades diarias. Esta aplicación web se diseñó para ayudar a los usuarios a calcular y comprender su huella de carbono, con un enfoque particular en el contexto de Guatemala.

La aplicación incluye funcionalidades de autenticación y registro mediante Firebase Auth y Firestore, garantizando la seguridad de los datos personales. Un cuestionario interactivo que permite a los usuarios evaluar su impacto ambiental personal, con resultados filtrables por departamento, municipio y zona. Los elementos de gamificación, como logros, hacen que el proceso sea más atractivo y motivador.

Desarrollando con React y Vite, la aplicación ofrece una interfaz de usuario profesional y amigable. Se utilizó Docker para facilitar la implementación y gestión del entorno de desarrollo y producción, garantizando estabilidad y portabilidad.

Abstract

The carbon footprint is a critical measure of the environmental impact of our daily activities. This web application was designed to help users calculate and understand their carbon footprint, with a particular focus on the context of Guatemala.

The application includes authentication and registration functionalities through Firebase Auth and Firestore, guaranteeing the security of personal data. An interactive questionnaire that allows users to evaluate their personal environmental impact, with filterable results by department, municipality and area. Gamification elements, such as achievements, make the process more engaging and motivating.

Developed with React and Vite, the app offers a professional and friendly user interface. Docker was used to facilitate the implementation and management of the development and production environment, guaranteeing stability and portability.

CAPÍTULO 1

Introducción

Actualmente, la huella de carbono, que cuantifica la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos directa e indirectamente por las actividades humanas, se ha convertido en un indicador fundamental para comprender cómo afecta al medio ambiente. El presente trabajo se centra en evaluar la huella de carbono de los ciudadanos en la región para Guatemala mediante una aplicación web para calcular la cantidad emitida de Kg CO₂. Así mismo, que más adelante se puedan obtener estadísticas de manera gráfica para una mejor representación de los resultados, las cuales den más conocimiento si el propio ciudadano mejoró o no, como también del espacio que se quiere analizar siempre dentro de la región del país. Este estudio incorpora una serie de pasos detallados y precisos que permiten la recolección y análisis de datos relacionados con el transporte, los viajes aéreos, la energía, la alimentación, la vestimenta y los residuos y desechos en la vida diaria de los ciudadanos.

La implementación de esta aplicación no solo buscó evaluar, sino también educar y promover un cambio en el comportamiento ambiental. A través de la interactividad y el diseño intuitivo, la aplicación pretende guiar a los usuarios en el proceso de reconocimiento de su impacto al cambio climático y estimular la adopción de hábitos más sostenibles. La aplicación web almacena cada huella de carbono realizada por los usuarios y al final une todos y cada uno de los resultados de las distintas zonas, municipios y departamentos para poder apreciar gráficamente los índices tanto pequeños como grandes de las áreas de la región de Guatemala.

La huella de carbono se refiere al total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) causadas directa e indirectamente por un individuo, organización, evento o producto. Los estudios sobre la medición de la huella de carbono se centran en desarrollar metodologías precisas para calcular estas emisiones, utilizando herramientas como análisis de ciclo de vida (LCA) y otros enfoques cuantitativos. Un desafío destacado en la literatura es la variabilidad en las metodologías, que puede llevar a resultados divergentes.

La huella de carbono se ha utilizado en diferentes contextos, desde la evaluación de productos y servicios hasta la formulación de políticas públicas. Las investigaciones en este campo han demostrado cómo las empresas utilizan la huella de carbono para identificar áreas de mejora en sus procesos productivos y para comunicar sus esfuerzos de sostenibilidad. Asimismo, los estudios de caso en diversos sectores industriales, como la agricultura y la energía, muestran cómo la reducción de la huella de carbono puede ser un motor de innovación tecnológica.

El papel de la huella de carbono en la formulación de políticas ha sido ampliamente discutido, particularmente en el contexto de acuerdos internacionales como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París. La literatura explora cómo diferentes países han implementado sistemas de comercio de emisiones y otras regulaciones para reducir las huellas de carbono a nivel nacional y global. Además, se discute la eficacia de estos marcos regulatorios y su impacto en la reducción real de emisiones.

Otra área importante de la literatura se centra en cómo la huella de carbono influye en el comportamiento del consumidor. Las investigaciones en este ámbito analizan cómo la información sobre la huella de carbono de productos afecta las decisiones de compra y cómo la concienciación sobre el cambio climático está impulsando una mayor demanda de productos sostenibles. Los estudios recientes también exploran la efectividad de las etiquetas de huella de carbono en productos y si realmente conducen a cambios en el comportamiento del consumidor.

Aunque ampliamente aceptada, la huella de carbono también ha sido objeto de críticas. Algunos estudios señalan las limitaciones en la capacidad de esta métrica para capturar todos los aspectos del impacto ambiental, argumentando que puede simplificar excesivamente la complejidad de los sistemas ecológicos. Otros trabajos sugieren que el enfoque en la huella de carbono puede desviar la atención de otros problemas ambientales importantes, como la pérdida de biodiversidad.

Justificación

Los resultados de este análisis pueden servir para concientizar a la población y entender por qué aumenta o disminuye con las actividades cotidianas. En un contexto más amplio, el presente trabajo no solo responde a la creciente preocupación global por el medio ambiente, sino que también se alinea con los ODS promovidos por diversas organizaciones internacionales, enfatizando la importancia de acciones locales para el cambio en el ambiente.

Al abordar la huella de carbono es importante enfocarse en varios de los ODS como el ODS 7, el cual se centra en asegurar el acceso a energía asequible y no contaminante. Igualmente es crucial el ODS 11, que promueve ciudades y comunidades sostenibles, así impulsando la creación de entornos urbanos más verdes y eficientes. Además, el ODS 12, aboga por una producción y consumo responsables, fomentando las prácticas sostenibles a lo largo de la cadena de valor. Ahora la acción climática representada por el ODS 13, es imprescindible mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático. Finalmente, el ODS 15 subraya la importancia de proteger y restaurar la vida de los ecosistemas terrestres, esenciales para mantener el equilibrio ambiental y reducir la huella de carbono.

Este trabajo tiene el potencial de convertirse en un referente para otras regiones y países que busquen implementar medidas similares. Al proporcionar datos específicos y comparativos, se pueden identificar patrones de comportamiento y áreas clave para la intervención. Asimismo, la metodología empleada puede ser adaptada y replicada en otros contextos, ampliando el impacto del estudio y contribuyendo a una red de información global que soporte la toma de decisiones informadas y la formulación de políticas públicas más efectivas en la lucha contra el cambio climático.

4.1. Objetivo general

Evaluar la huella de carbono de la población guatemalteca, por medio de una aplicación web, calculando la cantidad emitida de dióxido de carbono equivalente a Kg CO₂ para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero.

4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un cuestionario en una aplicación web que ayude a cuantificar la huella de carbono de una persona individual, enfocado en la población guatemalteca para conocer el impacto ambiental que ha producido.
- Programar una herramienta que calcule las emisiones de Kg CO₂ de los diversos usuarios para determinar las áreas en la región de Guatemala con mayor huella de carbono.
- Ilustrar estadísticas significativas recopiladas en el cuestionario en un panel estadístico para mostrar el impacto que los usuarios han tenido y cómo pueden reducir los índices.

CAPÍTULO 5

Alcance

La aplicación para calcular la huella de carbono tuvo un alcance inicial enfocado en desarrollar una herramienta digital que permita a los usuarios guatemaltecos crear una cuenta, luego iniciar sesión y por último terminar de responder el cuestionario con las siguientes secciones: transporte, viajes aéreos, energía, alimentación, vestimenta y residuos y desechos a través de un formulario intuitivo.

Luego, contar con varios datos para poder comparar las huellas de los distintos departamentos, municipios y zonas de la región de Guatemala.

El presente capítulo establece información importante para comprender la huella de carbono y su impacto en el contexto guatemalteco. Se abordan desde conceptos básicos hasta enfoques estandarizados internacionalmente. Además, se analizan los impactos ambientales asociados, destacando efectos como el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad y las alteraciones en ecosistemas locales, con ejemplos específicos de la industria azucarera y cafetalera del país.

6.1 Metodologías de cálculo de huella de carbono

Conceptos Fundamentales

- **Introducción a la huella de carbono:** explicación breve sobre qué es la huella de carbono y su importancia en la evaluación del impacto ambiental.
- **Tipos de huella de carbono:** descripción de los diferentes tipos de huella de carbono que se pueden calcular, como la huella de carbono de productos, organizacional y de eventos.
- **Enfoques Metodológicos:** Discusión sobre los distintos enfoques y metodologías utilizadas para calcular la huella de carbono, como el análisis de ciclo de vida (ACV), la Norma ISO 14064, y otras metodologías reconocidas internacionalmente.
- **Factores de Emisión:** Explicación de los factores de emisión utilizados en el cálculo de la huella de carbono, incluyendo las emisiones directas e indirectas asociadas con actividades específicas.
- **Pasos para el Cálculo:** Descripción de los pasos generales que se siguen para calcular la huella de carbono, desde la recolección de datos hasta la interpretación de resultados.
- **Ejemplos Prácticos:** Ejemplos concretos de aplicación de metodologías de cálculo de huella de carbono en diferentes sectores, como la industria, transporte, agricultura, etc.
- **Certificación y Verificación:** Breve referencia a la certificación y verificación de la huella de carbono, destacando la importancia de procesos rigurosos para asegurar la precisión y credibilidad de los resultados.
- **Consideraciones y Desafíos:** Discusión sobre las consideraciones éticas, científicas y prácticas involucradas en el cálculo de la huella de carbono, así como los desafíos comunes que pueden surgir.

- **Perspectivas Futuras:** Reflexión sobre el futuro del cálculo de la huella de carbono, incluyendo avances tecnológicos y tendencias emergentes en metodologías y estándares.
- **Recolección de Datos:** Recopila información sobre el consumo de electricidad, gas, y la cantidad de residuos y desechos generados en el hogar.
- **Aplicación de Factores de Emisión:** Usa factores de emisión para convertir los datos recolectados en unidades de CO2 equivalente (tCO₂e).
- **Cálculo Total:** Suma las emisiones de diferentes fuentes para obtener una estimación de la huella de carbono total.
- **Interpretación y Acción:** Analiza los resultados para identificar áreas de mejora y tomar medidas para reducir la huella de carbono personal.

6.2 Impactos ambientales de la huella de carbono

Efectos sobre el medio ambiente

- **Calentamiento Global:** La emisión de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), incrementa la temperatura global promedio. Este fenómeno conduce al derretimiento de glaciares, aumento del nivel del mar y fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, sequías e inundaciones.
- **Pérdida de Biodiversidad:** Los cambios en los patrones climáticos y la alteración de los hábitats naturales debido a las actividades humanas afectan a la biodiversidad. Muchas especies no pueden adaptarse lo suficientemente rápido a estos cambios, lo que lleva a un aumento en las tasas de extinción.
- **Contaminación del Aire:** La quema de combustibles fósiles no solo emite CO₂, sino también otros contaminantes como el óxido de nitrógeno y las partículas finas, que deterioran la calidad del aire y tienen impactos adversos en la salud humana y en la vida silvestre.
- **Alteraciones en los Ecosistemas:** El cambio climático afecta los ciclos naturales de los ecosistemas, como los ciclos de nutrientes y los patrones de migración de especies, desestabilizando ecosistemas enteros y afectando su capacidad para proporcionar servicios ecológicos esenciales, como la polinización y la purificación del agua.
- **Industria Azucarera:** La industria azucarera en Guatemala ha sido objeto de estudios que analizan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo su proceso de producción. Factores como el uso de fertilizantes, la quema de caña y el consumo de combustibles son los principales contribuyentes a su huella de carbono. Los estudios sugieren que la quema de caña y el uso de fertilizantes nitrogenados son las principales fuentes de emisiones, lo que afecta tanto al medio ambiente como a la salud pública.
- **Café y producción sostenible:** En algunas regiones cafetaleras de Guatemala, se han implementado prácticas agrícolas sostenibles para reducir la huella de carbono. Estas incluyen la reforestación, el uso de energía renovable y la gestión adecuada de residuos. Este enfoque ha ayudado a mitigar los impactos ambientales y ha servido como modelo para otras industrias agrícolas en el país.

6.3 Proyecciones e iniciativas similares

Calculadoras de huella de carbono existentes

WWF Footprint Calculator:

- Desarrollada por World Wildlife Fund.
- Enfoque en hábitos diarios y estilo de vida.
- Proporciona recomendaciones personalizadas.
- Limitación: No está adaptada al contexto latinoamericano.

Carbon Footprint Calculator de EPA:

- Herramienta gubernamental de Estados Unidos.
- Cálculos detallados de emisiones domésticas.
- Interface intuitiva y educativa.
- Limitación: Factores de emisión específicos para EE.UU.

Iniciativas Regionales:

Proyecto Ecochilectra (Chile):

- Aplicación móvil que calcula la huella de carbono.
- Integra gamificación para motivar la reducción de emisiones.
- Incluye sistema de recompensas similar al propuesto en EcoHuella
- Ha logrado reducir emisiones en un 15% entre sus usuarios.

CarbonoCero (México):

- Plataforma web enfocada en empresas y particulares.
- Permite comparativas por región y sector.
- Integra datos específicos del contexto latinoamericano.
- Ha demostrado efectividad en concientización ambiental.

Iniciativas Regionales:

Guatemala Carbon Management:

- Proyecto piloto del MARN enfocado en sector industrial.
- Proporciona línea base para mediciones nacionales.
- Limitación: No incluye sector residencial.

Huella Verde en Guatemala:

- Iniciativa de ONGs locales.
- Educación ambiental y calculo básico de emisiones.
- Adaptada al contexto guatemalteco.
- Limitación: No incluye comparativas regionales.

Metodología

El presente capítulo describe la metodología implementada para el desarrollo de EcoHuella, una aplicación destinada a calcular la huella de carbono personal de usuarios guatemaltecos. Se detalla el diseño integral del cuestionario, abarcando seis áreas fundamentales: transporte, viajes aéreos, la energía, la alimentación, la vestimenta, y los residuos y desechos. Cada sección fue cuidadosamente formulada con base en estudios del IPCC y el GHG Protocol para capturar datos precisos sobre el impacto ambiental individual. El capítulo también expone la arquitectura técnica del sistema basada en React y Firebase, los prototipos desarrollados y su evolución mediante pruebas de usuario, así como los mecanismos de gamificación implementados para fomentar la participación continua y la adopción de prácticas sostenibles.

7.1 Descripción de cada método utilizado para calcular la huella de carbono

Se abordaron aspectos clave como el transporte, viajes aéreos, energía, alimentos, vestimenta y residuos y desechos, ya que estos son los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero. Cada área requiere información detallada para proporcionar un cálculo preciso de la huella de carbono personal.

Las preguntas se formularon para capturar datos cuantitativos y cualitativos específicos de las actividades diarias que impactan directamente las emisiones de carbono. El enfoque en la cantidad de consumo (como kilómetros recorridos o libras consumidas) permite calcular con exactitud las emisiones, mientras que las preguntas de sí/no ayudan a identificar si un usuario participa en ciertas actividades que también generan huella de carbono.

Formulario para cada área:

El cuestionario de EcoHuella se estructura en seis secciones clave que abordan las principales fuentes de emisiones de carbono en la vida cotidiana. La sección de Transporte recoge información sobre el uso de vehículos personales y públicos, midiendo distancias recorridas y tipos de combustibles utilizados. Viajes Aéreos cuantifica las emisiones asociadas a desplazamientos en avión, considerando factores como distancia, clase de viaje y peso del equipaje. Energía evalúa el consumo eléctrico doméstico, incluyendo el uso de leña y gas, recursos muy utilizados en Guatemala. Alimentación analiza hábitos dietéticos, enfocándose en el consumo de carne, alimentos procesados y desperdicio alimentario. Vestimenta examina el impacto ambiental de la adquisición y desecho de prendas, tanto comerciales como tradicionales guatemaltecas. Finalmente, Residuos y Desechos mide la generación de basura y prácticas de reciclaje, elementos significativos en la huella de carbono personal.

Cuestionario

Sección 1: Transporte

1. ¿Utilizas algún vehículo para movilizarte? (Sí/No)
2. ¿Qué distancia tú recorriste durante el mes con el vehículo? (Usted indíquelo en kilómetros)
3. ¿Cuál es el tipo de combustible que utiliza el vehículo? (Gasolina/Diesel)
4. ¿Utilizas alguna motocicleta para movilizarte? (Sí/No)
5. ¿Qué distancia recorriste durante el mes con la motocicleta? (Indíquelo en kilómetros)
6. ¿Cuál es el tipo de combustible que utiliza la motocicleta? (Gasolina/Diesel)
7. ¿Utilizaste algún otro transporte como el Transmetro, Transurbano, Uber, InDrive, etc, para movilizarte? (Sí/No)
8. ¿Qué distancia recorriste con el transporte durante el mes? (Indíquelo en kilómetros)

Sección 2: Viajes aéreos

1. ¿Realizaste algún viaje aéreo durante el mes? (Sí/No)
2. ¿Qué distancia recorriste durante el mes? (Indíquelo en kilómetros)
3. ¿Cuánto pesa tu equipaje de mano en promedio? (Indíquelo en libras)
4. ¿Cuánto pesa tu equipaje facturado en promedio? (Indíquelo en libras)
5. ¿En qué clase viajaste más durante el mes? (Económica/Primera Clase/Clase Ejecutiva)
6. ¿Cuántas escalas hiciste en total al tomar los vuelos durante el mes? (Indique el valor en números)

Sección 3: Energía

1. ¿Utilizas algún dispositivo o equipo que use energía? (Sí/No)
2. ¿Cuántas kWh utilizaste durante el mes (Puedes verlo en una factura)? (Indique el valor en números)
3. ¿Utilizas leña como fuente de energía en tu hogar? (Sí/No)
4. ¿Cuántos m³ consumiste durante el mes? (Indique el valor en números)
5. ¿Utilizas gas para cocinar o calentar tu hogar? (Sí/No)
6. ¿Cuántas libras de gas consumiste durante el mes? (25lb, 30 lb y 100lb)

Sección 4: Alimentación

1. ¿Cuántas libras de carne consumiste durante el mes? (Indique el valor en números)
2. ¿Cuántas veces al mes consumiste alimentos procesados (como comida rápida, snacks, etc.)? (Indique el valor en números)
3. ¿Cuántas libras de verduras frescas consumiste durante el mes? (Indique el valor en números)
4. ¿Cuántas libras de frutas frescas consumiste durante el mes? (Indique el valor en números)
5. ¿Cuántas libras de granos y cereales (como arroz, pasta, pan) consumiste durante el mes? (Indique el valor en números)
6. ¿Cuántas libras de comida desperdiciaste durante el mes? (Indique el valor en números)

Sección 5: Vestimenta

1. ¿Cuántas veces en el último mes compraste prendas típicas guatemaltecas, como huipiles, cortes o chalecos bordados?
2. Este mes, al adquirir ropa típica guatemalteca, ¿qué tipo de materiales preferiste? (Algodón, lana, manta, brocado, seda o cuero)
3. ¿Cuántas veces en el último mes compraste ropa de marcas comerciales (nacionales o internacionales)?
4. En el último mes, ¿te deshiciste de alguna prenda tanto típica guatemalteca como de marcas comerciales?

Sección 6: Residuos y desechos

1. ¿Utilizas algún sistema de reciclaje en tu hogar? (Sí/No)
2. ¿Cuánta basura sólida generaste durante el mes? (Indíquelos en libras)
3. ¿Cómo gestionas los desechos líquidos en tu hogar (Sistema séptico, Drenaje público)?

El diseño de un cuestionario para medir la huella de carbono requiere un enfoque basado en la ciencia ambiental, los hábitos de consumo, y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados a diferentes actividades humanas. El proceso de formulación de las preguntas del cuestionario se fundamenta en estudios de impacto ambiental y guías internacionales sobre cómo medir la huella de carbono, como las elaboradas por organismos como el IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) y el GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol).

Proceso de formulación de las preguntas

Identificación de áreas de impacto

La huella de carbono se genera principalmente por actividades que consumen CO₂ y otros GEI a la atmósfera. Basándonos en esto, las preguntas se dividen en áreas clave que representan las principales fuentes de emisiones:

Transporte: vehículos y motocicletas personales como también transporte público son responsables de una parte significativa de las emisiones. Las preguntas están diseñadas para capturar la cantidad de combustible utilizado y la distancia recorrida, ya que estas son las variables más relevantes en la emisión de gases de efecto invernadero por transporte.

Viajes aéreos: constituyen una fuente significativa de emisiones debido al alto consumo de combustible y la baja eficiencia en términos de emisiones por pasajero-kilómetro. Factores como la distancia del vuelo, el número de escalas, la clase del pasajero (Económica, Ejecutiva o Primera) y la ocupación del vuelo influyen en las emisiones totales.

Energía: el consumo de electricidad, gas y leña se vincula directamente a las emisiones de CO₂ por la quema de combustibles. El cuestionario indaga sobre el consumo en kWh y el uso de fuentes de energía como leña y gas, que tienen altos factores de emisión.

Alimentación: el consumo de alimentos, especialmente carne y alimentos procesados, son responsables de una parte considerable de las emisiones. Las preguntas sobre la dieta reflejan la importancia de estos aspectos en el cálculo de las emisiones personales.

Vestimenta: se incluye en el cálculo de la huella de carbono debido a su impacto ambiental significativo en todas las etapas de su ciclo de vida. La producción de ropa, tanto de materiales naturales como sintéticos, consume grandes cantidades de recursos como de energía, y emite gases de efecto invernadero. El transporte de la ropa desde los centros de producción hasta los puntos de venta también contribuye a las emisiones de CO₂. Incluir el vestuario en el cálculo de la huella de carbono ofrece una visión más completa del impacto ambiental personal, permitiendo a los individuos tomar decisiones más sostenibles y reducir su huella ambiental.

La inclusión de la sección de Residuos y Desechos en el cálculo de la huella de carbono es fundamental debido al impacto significativo que tiene la gestión inadecuada sobre el medio ambiente. Cuando los desechos sólidos y líquidos no son tratados o dispuestos correctamente, pueden generar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), que contribuyen al cambio climático.

Al pedir al usuario que indique cantidades específicas, el cuestionario puede personalizar el cálculo para su situación, lo que da lugar a un resultado más preciso y significativo.

Preguntas cualitativas para comprender hábitos

Las preguntas de tipo Sí/No ayudan a identificar si una persona realiza actividades que generan huella de carbono. Por ejemplo, preguntar si alguien utiliza un vehículo o si consume gas para cocinar permite una primera clasificación sobre si un usuario tiene un comportamiento que emite carbono. Esto simplifica el cuestionario al evitar preguntas innecesarias para quienes no participan en esas actividades.

Fundamentación Teórica de la Estructura

Preguntar directamente por variables como kilómetros recorridos o kilovatios-hora consumidos ayuda a reducir el margen de error en las respuestas, ya que son datos que los usuarios pueden encontrar en registros comunes (Como facturas de electricidad o recorridos de vehículos).

Además, los cuestionarios de este tipo suelen requerir un enfoque interdisciplinario, combinando conocimientos de economía energética, ciencias del transporte y agricultura sostenible. La selección de estas preguntas se alinea con investigaciones previas sobre el comportamiento de los usuarios y la importancia de la percepción pública sobre el cambio climático. Las preguntas están formuladas de manera simple pero precisa para evitar sesgos cognitivos en las respuestas, lo que puede influir en el resultado del cálculo de la huella de carbono.

Herramientas utilizadas React:

Componentes Funcionales: React es utilizado para construir la estructura del cuestionario mediante componentes funcionales, permitiendo una clara separación de las diferentes partes del cuestionario (Preguntas, botones, validaciones).

Hooks (useState): Se usan hooks como useState para manejar el estado de las preguntas, las respuestas seleccionadas y el control de navegación dentro del cuestionario.

CSS:

Centrado y Espaciado: CSS se emplea para estilizar la interfaz, asegurando que los botones estén centrados y que haya un espaciado adecuado entre las preguntas para mejorar la usabilidad.

Validaciones de Formulario:

Lógica de Validación: Se implementan validaciones para asegurar que las preguntas obligatorias sean respondidas antes de permitir que el usuario avance o guarde su progreso.

JavaScript:

Manejo de Eventos: JavaScript es fundamental para manejar eventos de usuario, como clics en botones de “Siguiente” o “Anterior”, y para actualizar dinámicamente la interfaz en respuesta a estos eventos.

Firebase (si se está utilizando para almacenamiento de datos):

Autenticación y Almacenamiento: Firebase utilizado para manejar la autenticación de usuarios y el almacenamiento de los datos del cuestionario, garantizando que la información se guarde de manera segura.

7.2 Descripción de cada método utilizado para calcular la huella de carbono

Diseño de la encuesta

1. Componentes del Cuestionario

Preguntas: El cuestionario tiene varias preguntas que están organizadas en un componente React. Cada pregunta está representada por un componente individual que maneja su propio estado. Opciones de Respuesta: Dependiendo del tipo de pregunta, se pueden usar buttons, (comboboxes) para seleccionar respuestas.

Botones de Navegación: Para moverse entre las preguntas, se han implementado botones de “Siguiente” y “Anterior”. Además, un botón de “Guardar Cuestionario” permite al usuario guardar su cuestionario actual.

2. Lógica y Estado

Manejo de Estado: El estado se gestiona a través de hooks como useState o useReducer. Esto permite controlar cuál pregunta se está mostrando actualmente, así como las respuestas seleccionadas por el usuario. Validación: Validaciones para asegurar que se respondan las preguntas obligatorias antes de permitir avanzar a la siguiente pregunta o guardar el cuestionario.

3. Estructura de la UI

Centrado y Espaciado: El código incluye estilos para centrar los botones y aumentar el espaciado entre preguntas, lo que mejora la legibilidad y usabilidad del cuestionario. El uso de CSS permite lograr esto de manera eficiente.

Interacción del Usuario: Al hacer clic en los botones de navegación, el estado del componente cambia para mostrar la siguiente o anterior pregunta, utilizando funciones que actualizan el índice de la pregunta actual.

4. Justificación de las Decisiones

Usabilidad: Centrar los botones y aumentar el espaciado entre elementos mejora la experiencia del usuario, haciéndolo más intuitivo y agradable visualmente.

Eficiencia en el Manejo de Estado: Uso de hooks como useState permite que el componente del cuestionario sea reactivo y responda rápidamente a las interacciones del usuario, lo cual es fundamental en aplicaciones modernas.

Navegación: Los botones de “Siguiente” y “Anterior” ofrecen una navegación fácil y lógica, ayudando al usuario a moverse a través del cuestionario sin perderse.

Validaciones: Implementar validaciones garantiza la calidad de los datos recopilados, ya que se asegura que todas las preguntas obligatorias son respondidas antes de proceder.

7.3 Arquitectura del sistema

La aplicación EcoHuella se desarrolló utilizando una arquitectura moderna basada en componentes, diseñada para ser escalable, mantenible y segura. A continuación, se detalla la estructura y organización del sistema:

1. Frontend (Interfaz de Usuario)

La interfaz de usuario se construyó utilizando React y Vite como herramientas principales, organizando el código en componentes modulares para facilitar el mantenimiento y la reutilización. La estructura se divide en:

Componentes de Autenticación: Manejan el registro y login de usuarios.

Componentes del Cuestionario: Gestionan las diferentes secciones del cálculo de huella de carbono (transporte, energía, alimentación, etc.).

Componentes del Panel: Muestran estadísticas y logros del usuario.

Hooks Personalizados: Manejan la lógica de negocio y el estado de la aplicación.

2. Backend y Base de Datos

Se utilizó Firebase como plataforma backend, proporcionando:

Firebase Authentication: Gestiona la autenticación segura de usuarios.

Cloud Firestore: Base de datos NoSQL que almacena:

- Perfiles de usuarios.
- Resultados de cuestionarios.
- Estadísticas regionales.
- Sistema de logros y puntos.

Firebase Hosting: Aloja y sirve la aplicación web

3. Flujo de Datos

El sistema procesa la información siguiendo un flujo estructurado:

- El usuario ingresa datos en el cuestionario.
- Los datos se validan en el frontend.
- Se realizan cálculos de emisiones.
- Los resultados se almacenan en la base de datos Se actualizan las estadísticas regionales.
- Se verifican y otorgan logros según corresponda.

4. Seguridad

La aplicación implementa múltiples capas de seguridad:

- Autenticación robusta de usuarios Reglas de seguridad en Firestore.
- Validación de datos en frontend y backend Protección contra ataques comunes web.

5. Optimización y Rendimiento

Para garantizar una experiencia fluida:

- Implementación de sistema de caché Carga diferida de componentes.
- Optimización de consultas a la base de datos Compresión de recursos.

6. Escalabilidad

La arquitectura permite el crecimiento sostenible mediante:

- Diseño modular de componentes Base de datos distribuida.
- Sistema de deployment automatizado Monitoreo de rendimiento.

Esta arquitectura fue seleccionada por su capacidad para:

Manejar un gran número de usuarios simultáneos Permitir actualizaciones sin tiempo de inactividad Facilitar la adición de nuevas funcionalidades Mantener costos operativos optimizados Proporcionar una experiencia de usuario fluida.

7.4 Ventajas y desventajas de Firebase

La elección de Firebase como plataforma backend para EcoHuella se fundamentó en un análisis detallado de sus características, ventajas y desventajas:

Ventajas que Motivaron la Selección:

- Rapidez de Desarrollo.
- Infraestructura backend lista para usar. No requiere configuración de servidores.
- APIs preconfiguradas y bien documentadas. Reducción significativa en tiempo de desarrollo.

Escalabilidad Automática

- Manejo automático de incrementos de tráfico. No requiere configuración manual de servidores.
- Balanceo de carga incorporado.
- Adaptable al crecimiento de usuarios.

Seguridad Robusta

- Autenticación integrada y segura. Reglas de seguridad personalizables. Protección contra ataques comunes. Certificados SSL/TLS automático.

Base de Datos en Tiempo Real

- Sincronización automática de datos. Actualizaciones en tiempo real.
- Caché offline incorporado. Ideal para funciones interactivas.

Costos Iniciales

- Plan gratuito generoso. Escalamiento según uso.
- Sin costos de infraestructura inicial. Predecible en términos de presupuesto.

Desventajas Consideradas:

Limitaciones de Consultas

- Consultas complejas son limitadas. No soporta agregación es avanzadas. Indexación limitada.
- Pueden requerir soluciones alternativas.

Costos a Escala

- Puede volverse costoso con alto tráfico. Precios pueden aumentar significativo ente. Límites en el plan gratuito.
- Costos por almacenamiento.

Dependencia del Proveedor

- Vinculación al ecosistema Google. Migración compleja a otros servicios. Control limitado sobre la infraestructura. Dependencia de disponibilidad del servicio.

Limitaciones en Procesamiento

- Funciones limitadas en el backend. Procesamiento en tiempo real restringido. Capacidades de cómputo acotadas.
- Operaciones por lotes limitadas.

Justificación Final de la Elección:

- Firebase fue seleccionado para EcoHuella considerando: Alcance del Proyecto
- Las funcionalidades requeridas se alinean con las fortalezas de Firebase Escala inicial manejable dentro del plan gratuito
- Necesidades de tiempo real para actualizaciones de datos Recursos Disponibles
- Tiempo de desarrollo limitado Equipo de desarrollo reducido Presupuesto inicial acotado Necesidad de rápida implementación
- Requisitos Técnicos Autenticación segura requerida
- Almacenamiento de datos estructurado
- Actualizaciones en tiempo real necesarias Escalabilidad automática deseada

Consideraciones de Usuario

- Experiencia fluida requerida Actualizaciones instantáneas importantes Acceso offline necesario
- Sincronización entre dispositivos.

7.5 Prototipos y pruebas con Usuarios

Diseño No.1 del prototipo

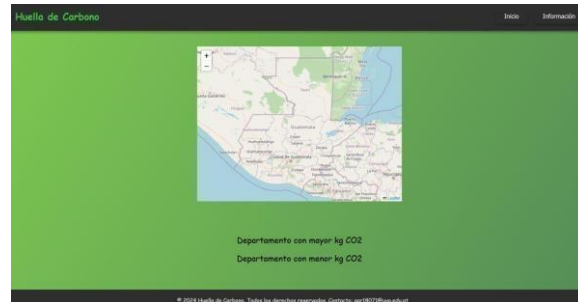


Figura 1. Página de inicio del primer prototipo

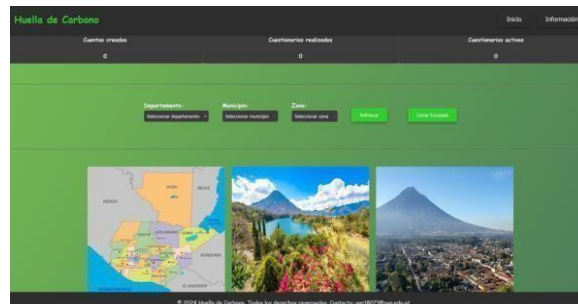


Figura 2. Cuentas creadas, cuestionarios realizados, cuestionarios activos y filtros de departamento, municipio y zona de la página de inicio del primer prototipo

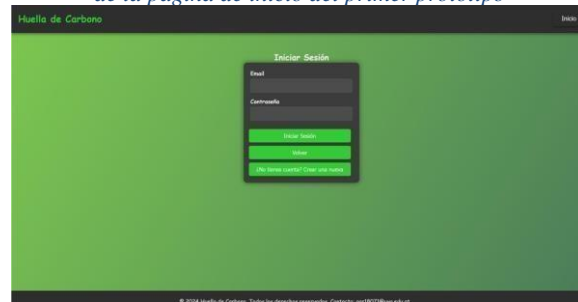


Figura 3. Página de iniciar sesión del primer prototipo

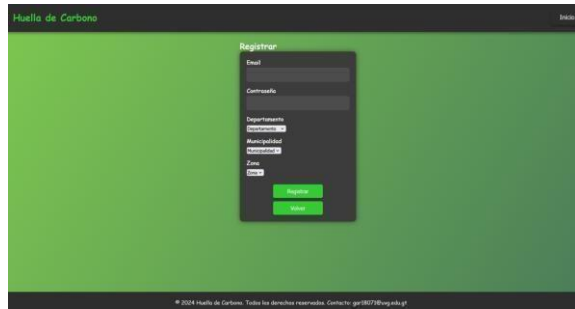


Figura 4. Página de registrar del primer prototipo

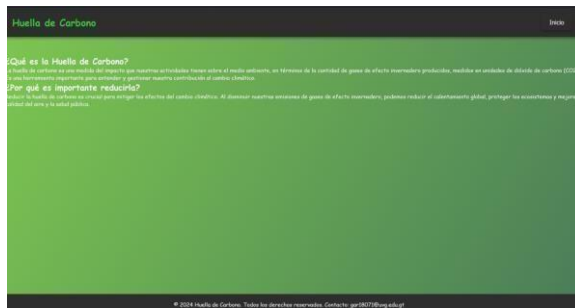


Figura 5. Página de información del primer prototipo



Figura 6. Página de la sección de fecha del primer prototipo



Figura 7. Página de la sección de transporte del primer prototipo



Figura 8. Página de la sección de viajes aéreos del primer prototipo



Figura 9. Página de la sección de energía del primer prototipo

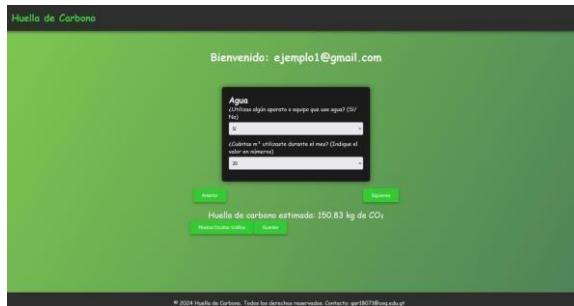


Figura 10. Página de la sección de agua del primer prototipo

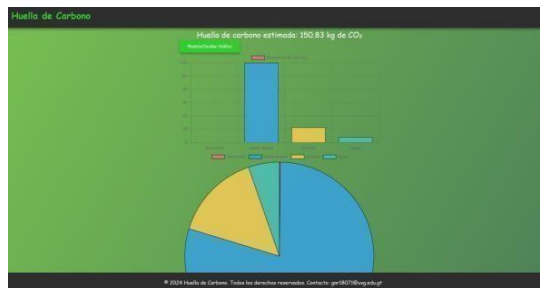


Figura 11. Página de resultados con una gráfica de barras y otra grafica circular

Ejecución de Pruebas Piloto

Análisis de Retroalimentación de Usuarios para el primer prototipo Estudiantes:

No.1

“El UI lo veo intuitivo y sencillo.” “Se ve bastante bien.”

No.2

“Sería mejor hacer las gráficas más grandes.” “Que se distingan más las gráficas.”

No.3

“Se ve sencillo.”

“Colocar más instrucciones de cómo usar el cuestionario.”

No.4

“Me parece interesante el tema, ecológico.” “Dar más explicación de cómo usarlo.”

No.5

“¿Por qué hay un botón de volver en login?” “¿Para qué sirven los badges?”

No.6

“¿Por qué mensual se calcula y no por día?” “Me gusta el diseño.”

No.7

“Me gustaría que tuviera más datos curiosos de la huella de carbono.” “Deberías poner más información de cómo usarla.”

No.8

“Me gustaría todas las gráficas más grandes.”

“Desearía que se distinguieron más los colores del fondo y gráficas.”

No.9

“Me gustaría imágenes de fondo, redactar de otra manera las preguntas.” “Hacerlos más amigables con más información.”

No.10

“Me parece muy interesante haber hecho una app de huella de carbono para el país.” “Quizás algún fondo más llamativo quedaría bien. “

Autoridades de la Universidad del Valle de Guatemala

No. 1

“Fíjate que estaba revisando y hay una cosa conceptual que hay que tomar en cuenta. Usualmente cuando se habla de huella de carbono, no se considera el tema del agua porque entonces ya se vuelve más una huella ecológica.”

No. 2

“Hola.

Gracias por compartirme tu proyecto, me parece un tema muy interesante y relevante.

Con respecto al feedback, personalmente siento que la parte de uso de dispositivos ya sea de energía eléctrica o de agua está muy simplificada. Creo que la gente no sabe cuántos kW hora gasta, ni cuántos metros cúbicos de agua, por lo que creo que quedaría más útil si pudieras poner algo como:

¿Qué cantidad de tiempo usas estos dispositivos diariamente?

- Computadora laptop.
- Computadora PC.
- Secadora de ropa.
- Estufa eléctrica.
- Secadora y plancha de pelo.
- Lámparas de mesa.
- Lámparas de pared.
- Televisión Refrigeradora.
- Consola de videojuegos.

Igual para el agua, podría ser algo como:

¿Cuánto tiempo te tardas diariamente para realizar las siguientes actividades?

- Ducha.
- Lavado de platos.
- Lavado de ropa.
- Cepillado de dientes.
- Lavado de carro.
- Regado de plantas.

Esa es la solución que a mí se me ocurre, pero podrías consultar cómo lo hacen otras apps para mostrar algo más amigable e intuitivo.

Si lo tienes desglosado, tal vez también te da chance de mostrar dónde están gastando más y ver qué pueden hacer para reducirlo.

Me puse a buscar algunos ejemplos y este me gustó bastante:

<https://consumoresponsable.greenpeace.org.mx/calcula-tu-huella-de-carbono>”

Diseño No. 2 del prototipo

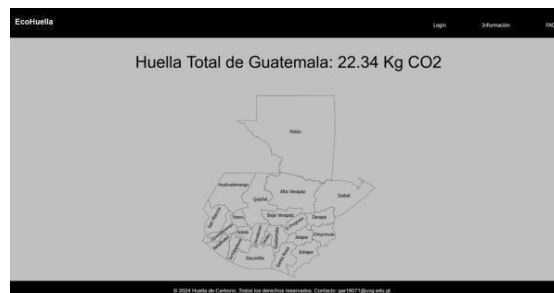


Figura 12. Página de Inicio del segundo prototipo



Figura 13. Cuentas creadas, cuestionarios realizados, cuestionarios activos y filtros de departamento, municipio y zona de la página de inicio del segundo prototipo

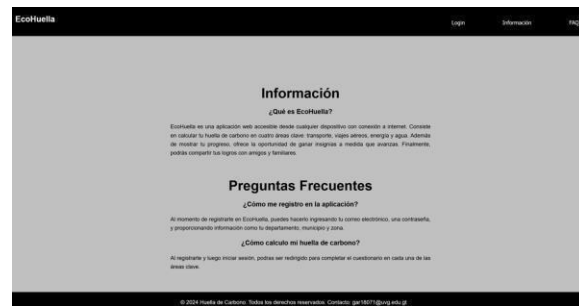


Figura 14. Página de información y preguntas frecuentes del segundo prototipo



Figura 15. Página de iniciar sesión del segundo prototipo

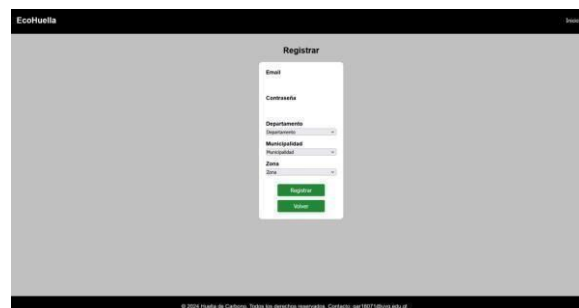


Figura 16. Página de registrar del segundo prototipo

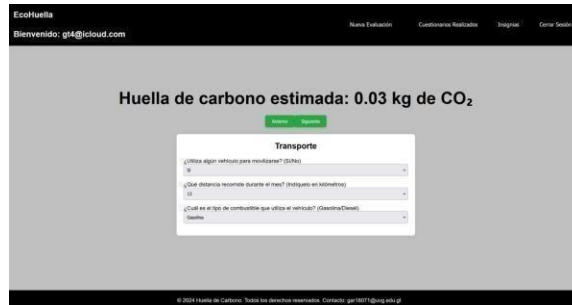


Figura 17. Página de la sección de transporte del segundo prototipo



Figura 18. Página de la sección de viajes aéreos del segundo prototipo



Figura 19. Página de la sección de energía del segundo prototipo

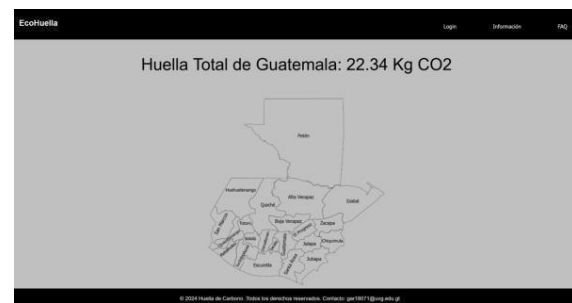


Figura 20. Página de inicio del segundo prototipo

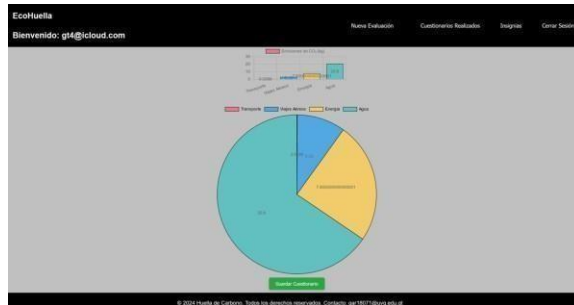


Figura 21. Página de resultados con una gráfica de barras y otra gráfica circular



Figura 22. Página de resultados con una línea de tiempo de cada cuestionario realizado

#	Fecha	Huella	Activo	Acciones
1	20/08/2024 19:25:29	2.89	No	Ver B <
2	20/08/2024 19:33:22	5.78	No	Ver B <
3	20/08/2024 19:34:00	1.44	No	Ver B <
4	20/08/2024 19:34:44	8.87	Si	Ver B <

Figura 23. Página de resultados con los cuestionarios realizados del segundo prototipo

Respuestas Guardadas

- Email: g14@icloud.com
 Fecha y Hora: 20/08/2024 19:33:22
 Huella de Carbono: 5.78
 Respuesta 1: Si
 Respuesta 2: Siempre
 Respuesta 3: Si
 Respuesta 4: Si
 Respuesta 5: Si
 Respuesta 6: Si
 Respuesta 7: Si
 Respuesta 8: Si
 Respuesta 9: Si
 Respuesta 10: Si
- Email: g14@icloud.com
 Fecha y Hora: 20/08/2024 19:34:44
 Huella de Carbono: 8.87
 Respuesta 1: Si
 Respuesta 2: Siempre
 Respuesta 3: Si
 Respuesta 4: Si
 Respuesta 5: Si
 Respuesta 6: Si
 Respuesta 7: Si
 Respuesta 8: Si
 Respuesta 9: Si
 Respuesta 10: Si
- Email: g14@icloud.com
 Fecha y Hora: 20/08/2024 19:34:00
 Huella de Carbono: 1.44
 Respuesta 1: Si
 Respuesta 2: Siempre
 Respuesta 3: Si
 Respuesta 4: Si
 Respuesta 5: Si
 Respuesta 6: Si
 Respuesta 7: Si
 Respuesta 8: Si
 Respuesta 9: Si
 Respuesta 10: Si

Figura 24. Página para mostrar las preguntas y respuestas de cada cuestionario realizado



Figura 25: Página de Insignias del segundo prototipo

Diseño No. 3 del prototipo



Figura 26. Página de inicio del tercer prototipo



Figura 27. Página de información del tercer prototipo

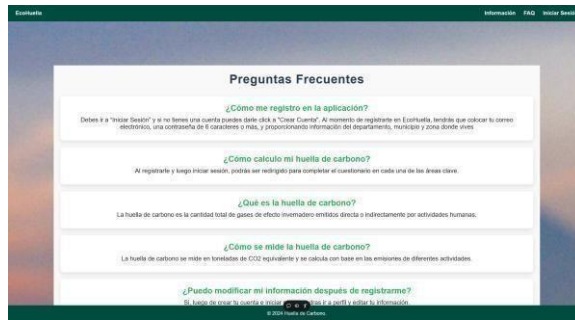


Figura 28. Página de preguntas frecuentes del tercer prototipo

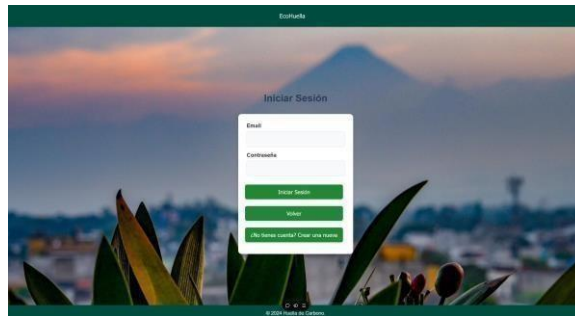


Figura 29. Página de iniciar sesión del tercer prototipo

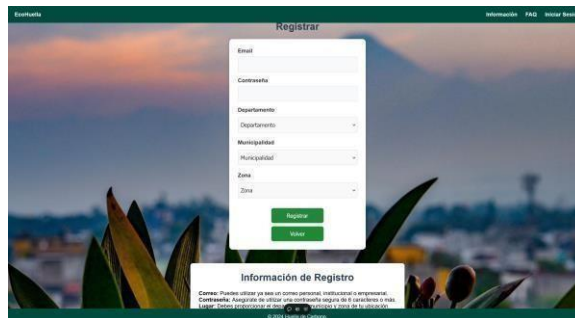


Figura 30. Página de registrar del tercer prototipo



Figura 31. Página de nueva evaluación del tercer prototipo



Figura 32. Página de la sección de transporte del tercer prototipo



Figura 33. Página de la sección de viajes aéreos del tercer prototipo



Figura 34. Página de la sección de energía del tercer prototipo



Figura 43. Página de recomendaciones del tercer prototipo

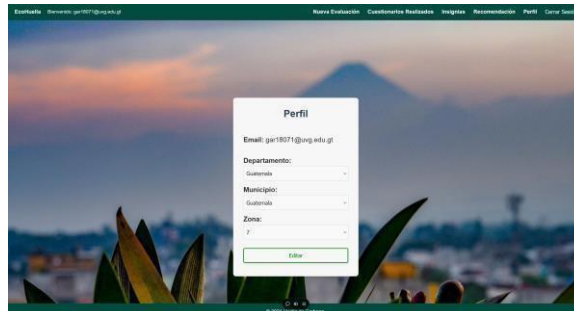


Figura 44. Página de perfil del tercer prototipo

Iteraciones y Mejoras Basadas en Retroalimentación

En base a los comentarios recibidos de los estudiantes y las autoridades, se han identificado varias áreas de mejora para hacer la aplicación más accesible y fácil de usar. Estas iteraciones se centrarán en mejorar la interfaz de usuario (UI), proporcionar más guías sobre el uso de la aplicación y hacer que la presentación de datos sea más clara y atractiva. A continuación, se describen las principales mejoras.

1. Mejora de las Gráficas y Presentación de Datos:

Varios usuarios (No. 2, No. 8) mencionaron que las gráficas podrían ser más grandes y distinguirse mejor. En respuesta a esta retroalimentación:

Se aumentó el tamaño de las gráficas para facilitar la lectura de los datos.

Se revisaron los colores del fondo y las gráficas para asegurar un mayor contraste y mejorar la visibilidad.

Además, se consideraron cambios en los colores y estilos para que las gráficas sean más visualmente atractivas y fáciles de interpretar.

2. Más Instrucciones y Explicaciones Claras:

Algunos usuarios (No. 3, No. 4, No. 7, No. 9) indicaron que la aplicación necesita más instrucciones y explicaciones sobre cómo usarla. Para mejorar esta área:

Se redactaron las preguntas del cuestionario de una manera más clara. Se incluyeron más detalles sobre el propósito de la aplicación.

3. Interfaz más Amigable y Atractiva:

Comentarios como los de los usuarios No. 9 y No. 10 sugieren mejorar el atractivo visual de la aplicación:

Se considero la adición de imágenes de fondo más llamativas, sin sacrificar la simplicidad y funcionalidad de la app.

Se reviso el lenguaje de las preguntas para hacerlo más amigable y claro, manteniendo un enfoque educativo.

4. Ajustes en la Funcionalidad del Cuestionario:

De acuerdo con la sugerencia del usuario No. 6, se evaluará la posibilidad de agregar más opciones para calcular la huella de carbono de manera diaria, semanal o mensual, brindando flexibilidad a los usuarios para entender su impacto ambiental de manera más precisa.

Estrategias de Motivación para Usuarios

Para aumentar la participación y retención de los usuarios en la aplicación, se implementarán diversas estrategias de motivación basadas en principios de gamificación. A continuación, se describen las principales estrategias que se implementarán:

1. Gamificación y Recompensas

Insignias: Los usuarios podrán obtener insignias al completar ciertos hitos, como terminar algunos cuestionarios. Esto incentiva la participación y crea un sentido de logro.

2. Reconocimiento

Reconocimiento Social: Los usuarios podrán compartir sus logros en redes sociales, mostrando los avances en la reducción de su huella de carbono. Esto no solo aumenta la motivación personal, sino que también genera conciencia social.

7.6 Colaboración con Expertos

Se realizó una revisión con respecto al cuestionario con varias autoridades y especialistas. Entre ellos están: Departamento de biología de la Universidad del Valle de Guatemala:

Daniel Ariano Sánchez

Gabriela Alfaro Marroquín

CEAD de la Universidad del Valle de Guatemala: Diego Josue Incer Núñez Jackeline Darlene Brincker Palomo

Defensores de la naturaleza: María Andrea Bolaños

Profesora de Videojuegos de la Universidad del Valle de Guatemala: Alhvi Romancina Balcarcel Rodas.

7.7 Gamificación

Sistema de Recompensas

El Sistema de Recompensas de la aplicación está diseñado para motivar a los usuarios a participar activamente y lograr hitos específicos relacionados con su huella de carbono. A través de una serie de insignias (badges), los usuarios podrán ver su progreso y ser recompensados por acciones positivas dentro de la plataforma. A continuación, se describen las insignias disponibles y cómo se pueden obtener:

Primera Insignia: Crear una cuenta.

Descripción: Esta insignia se otorga al crear tu cuenta en la aplicación web.

Segunda Insignia: Realizar 1 Cuestionario

Descripción: Esta insignia se otorga al completar el primer cuestionario en la aplicación web.

Tercera Insignia: Realizar 2 Cuestionarios

Descripción: Esta insignia se otorga al completar el segundo cuestionario en la aplicación web.

Cuarta Insignia: Realizar 3 Cuestionarios

Descripción: Esta insignia se otorga al completar el tercer cuestionario en la aplicación web.

Quinta Insignia: Realizar 4 Cuestionarios

Descripción: Esta insignia se otorga al completar el cuarto cuestionario en la aplicación web.

Sexta Insignia: Realizar 5 Cuestionarios

Descripción: Esta insignia se otorga al completar el quinto cuestionario en la aplicación web.

Séptima Insignia: Reducir huella 1 vez.

Descripción: Esta insignia se otorga al reducir tu número de huella una vez.

Octava Insignia: Reducir huella 1 vez.

Descripción: Esta insignia se otorga al reducir tu número de huella dos veces.

Novena Insignia: Reducir huella 1 vez.

Descripción: Esta insignia se otorga al reducir tu número de huella tres veces.

Décima Insignia: Reducir huella 1 vez.

Descripción: Esta insignia se otorga al reducir tu número de huella cuatro veces.

Undécima Insignia: Reducir huella 1 vez.

Descripción: Esta insignia se otorga al reducir tu número de huella cinco veces.

Duodécima Segunda Insignia: Reducir huella 1 vez.

Descripción: Esta insignia se otorga al reducir tu número de huella seis veces.

Decimotercera Insignia: Reducir huella 1 vez.

Descripción: Esta insignia se otorga al reducir tu número de huella siete veces.

Decimocuarta Insignia: Cero contaminaciones.

Descripción: Esta insignia se otorga al tener un valor en 0 del cuestionario.

Decimoquinta Insignia: Subir al nivel 1.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 1.

Decimosexta Insignia: Subir al nivel 2.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 2.

Decimoséptima Insignia: Subir al nivel 3.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 3.

Decimooctava Insignia: Subir al nivel 4.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 4.

Decimonovena Insignia: Subir al nivel 5.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 5.

Vigésima Insignia: Subir al nivel 6.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 6.

Vigésimoprimera Insignia: Subir al nivel 7.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 7.

Vigésimosegunda Insignia: Subir al nivel 8.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 8.

Vigésimotercera Insignia: Subir al nivel 9.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 9.

Vigésimocuarta Insignia: Subir al nivel 10.
Descripción: Esta insignia se otorga al subir de nivel 10.

Vigésima Quinta Insignia: Subir 20 puntos.
Descripción: Esta insignia se otorga al tener 20 puntos.

Vigésima Sexta Insignia: Subir 40 puntos.
Descripción: Esta insignia se otorga al tener 40 puntos.

Vigésima Séptima Insignia: Subir 60 puntos.
Descripción: Esta insignia se otorga al tener 60 puntos.

Vigésima Octava Insignia: Subir 80 puntos.
Descripción: Esta insignia se otorga al tener 80 puntos.

Vigésima Novena Insignia: Subir 100 puntos. Descripción:
Esta insignia se otorga al tener 100 puntos.

Progreso Visible

En la sección de Progreso Visible, los usuarios podrán ver de manera clara cuáles insignias han obtenido y cuáles están aún por desbloquear. Las insignias logradas se mostrarán resaltadas, mientras que las no disponibles aparecerán más adelante al desbloquearlas, permitiendo a los usuarios seguir su avance y motivarse a cumplir los objetivos restantes.

Este sistema visualmente atractivo les brindará una sensación de logro y los incentivará a seguir participando en la aplicación para desbloquear todas las recompensas posibles.

Recomendaciones

Las recomendaciones les dan a los usuarios más información sobre cómo pueden reducir su huella de carbono en las actividades diarias que realizan.

Niveles y puntos

El sistema de niveles en la aplicación de cálculo de huella de carbono está diseñado para incentivar a los usuarios a participar activamente en la reducción de su impacto ambiental. A medida que los usuarios completan el cuestionario y proporcionan información sobre sus hábitos de transporte, consumo de energía, alimentación y gestión de residuos, acumulan puntos que reflejan sus esfuerzos hacia la sostenibilidad. Estos puntos permiten a los usuarios avanzar a través de diferentes niveles, cada uno de los cuales desbloquea recompensas y logros que fomentan un compromiso continuo.

El diseño gamificado del sistema no solo hace que la experiencia sea más atractiva y divertida, sino que también ayuda a los usuarios a visualizar su progreso en la reducción de la huella de carbono. Al alcanzar nuevos niveles, los usuarios pueden obtener insignias o certificados que reconocen sus logros, lo que refuerza la motivación para seguir participando y adoptando prácticas más sostenibles en su vida diaria. Este enfoque no solo educa a los usuarios sobre la importancia de sus acciones, sino que también promueve una comunidad comprometida con la reducción del impacto ambiental en Guatemala.

8.1 Presentación detallada de hallazgos

Análisis de datos recolectados Pruebas con usuarios:



Figura 45. Estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala utilizando EcoHuella



Figura 46. Segundo estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala utilizando EcoHuella

En las imágenes se puede observar a dos usuarios probando la calculadora de huella de carbono, una aplicación diseñada específicamente para la región de Guatemala. El propósito de la prueba es evaluar la interacción de los usuarios con las distintas funcionalidades de la app, que incluye la recolección de datos sobre transporte, energía, viajes aéreos, alimentación, vestimenta, residuos y desechos. Estos usuarios formaron parte de una prueba de usabilidad destinada a identificar posibles mejoras en la interfaz, la experiencia del usuario y la claridad de las preguntas.

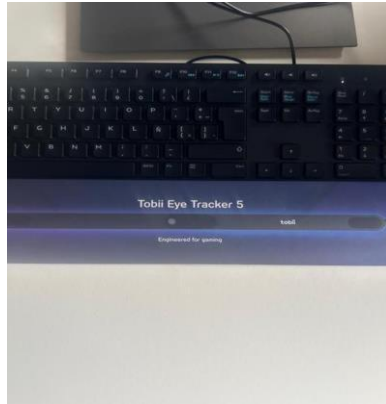


Figura 47. Empaque del aparato Tobii Eye Tracker 5.



Figura 48. Empaque para el sensor del aparato Tobii Eye Tracker 5

En estas pruebas, se utilizó un dispositivo Tobii, un equipo especializado que rastrea los movimientos oculares de los usuarios mientras interactúa con la aplicación. Este sensor permite analizar en tiempo real hacia dónde dirigen su mirada en la página, proporcionando información valiosa sobre los elementos visuales que capturan su atención o generan confusión. El uso del Tobii ayuda a optimizar el diseño y la usabilidad de la app al identificar posibles áreas de mejora, asegurando que los usuarios tengan una experiencia más intuitiva y eficiente al calcular su huella de carbono.

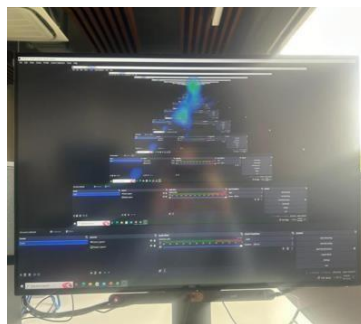


Figura 49. Monitoreo de la visualización de los aspectos de la página

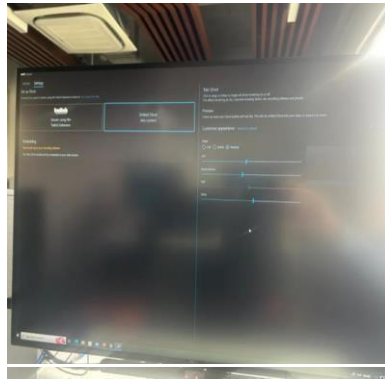


Figura 50. Configuración del sensor de Tobii Eye Tracking 5.

Para configurar el Tobii con la computadora, primero se conecta el dispositivo al equipo mediante un puerto USB y se instala el software específico de Tobii, que permite calibrar el sensor ocular según las características de cada usuario. Durante la calibración, el Tobii ajusta la detección de la mirada para asegurarse de que el rastreo sea preciso en todo momento. Una vez calibrado, se utilizó el software de captura de pantalla OBS (Open Broadcaster Software) para grabar las sesiones de prueba. OBS se configuró para capturar tanto la pantalla de la aplicación como los datos de seguimiento ocular proporcionados por el Tobii, lo que permitió obtener una grabación completa de la interacción del usuario con la app y su análisis visual.

7 respuestas Vincular con Hojas de cálculo

Se aceptan respuestas

Resumen Pregunta Individual

Nombre
Ariel aceituno
Luz María Gómez López
Emilio Josué Chen Borrayo
Juan José Rivas Álvarez
Denil José Parada Cabrera
Valerie Lucrecia Martínez Méndez
Andrea Torres

Figura 51. Nombres de los estudiantes en las pruebas de usuario

Durante las pruebas con usuarios, solicitamos la participación de personas de diversas carreras para que completaran el cuestionario y explorarán todas las funcionalidades de la página web.

Correo electrónico

7 respuestas

ace241272@uvg.edu.gt
Gom23992@uvg.edu.gt
che24841@uvg.edu.gt
Riv24856@uvg.edu.gt
par24761@uvg.edu.gt
mar23131@uvg.edu.gt
tor221638@uvg.edu.gt

Figura 52. Correos de los estudiantes en las pruebas de usuario

Solicitamos a los participantes su correo electrónico con el fin de compartirles el enlace al formulario de Google y facilitar su participación en la evaluación.

¿Qué te gusto de la aplicación web EcoHuella?

7 respuestas

Tiene una iniciativa importante
Es una aplicación muy práctica para conocer la huella, las insignias fue un buen punto, funciona bien y contiene información general y simplificada sobre para qué hace la app.
Que es muy fácil de usar, que calcula la huella correctamente
Todo es muy intuitivo
el proposito, las insignias
Me gustaron los colores empleados en la aplicación
Me gustó el concepto y el diseño en general. Me gustaron las insignias.

Figura 53. Resultados de que te gusto de EcoHuella.

EcoHuella, se destaca la apreciación general por la claridad del diseño, el propósito y la funcionalidad. Los usuarios valoran que la aplicación tenga una iniciativa importante y práctica para el cálculo de la huella de carbono, lo que sugiere que la app está cumpliendo su función de concientización ambiental de manera eficaz. Además, la inclusión de las insignias como un elemento motivacional fue bien recibida, ya que parece mejorar la experiencia del usuario al añadir un componente de gamificación, lo que refuerza el compromiso. La facilidad de uso también es un aspecto que los usuarios mencionan repetidamente, lo que indica que el diseño es intuitivo y accesible, cualidades esenciales para aplicaciones dirigidas a la sensibilización masiva.

¿Qué no te gusto de la aplicación web EcoHuella?

7 respuestas

Es muy básica
Según observé no hay manera de recuperar la contraseña si se olvida, así como conocer el total de energía consumida o km que se recorrieron que personalmente no sabía, así que solo fue un estimado. De lo contrario, muy buena.
Siento que hay algunas preguntas que habrán personas que no sabrán los términos o como responderlas, porque son un poco complicadas para responder.
Algunas opciones deberían tener respuesta de no aplica
Uno de los aspectos que no me gustó del diseño es que el botón del formulario se encuentra arriba del mismo, lo cual no genera una buena experiencia de usuario (UX). Normalmente, los usuarios esperan encontrar el botón de envío al final del formulario, por lo que su ubicación actual puede resultar confusa.
Otra cosa que no me convenció fue la justificación de la información relacionada con las insignias. El texto justificado, en algunos casos, puede dificultar la lectura, y aquí da una sensación de desorden visual.

¿Qué no te gusto de la aplicación web EcoHuella?

7 respuestas

encontrar el botón de envío al final del formulario, por lo que su ubicación actual puede resultar confusa.

Otra cosa que no me convenció fue la justificación de la información relacionada con las insignias. El texto justificado, en algunos casos, puede dificultar la lectura, y aquí da una sensación de desorden visual.

También, al utilizar el scroll en la página de inicio, me encontré con que al bajar y seleccionar un departamento, la información se pierde porque mi vista como usuario no permanece centrada en el área que debería captar mi atención. Esto afecta mi experiencia porque no está alineado con el espectro visual habitual.

No me gusto:

-Que los botones de la aplicación se encontraban en la parte superior de la pantalla.

-Al igual que las letras están muy pequeñas, estaría bien que las aumente.

- No me gustó que no hubiera explicación sobre las insignias ganadas y como las puedo ganar.

-no me gustó que no hubiera opción de "ninguna" en ciertas secciones

Algunos botones estaban muy pequeños entonces era un poco difícil encontrar algunas opciones. Al contestar el cuestionario también creo que sería mejor poder escribir el número de km, lb o lo que pidan en vez de buscar el número en una lista.

Figura 54. Resultados de que no te gusto de EcoHuella

Las respuestas de los usuarios en relación con lo que no les gustó de la aplicación EcoHuella son una fuente valiosa de información que nos permite identificar áreas de mejora. A pesar de que algunos comentarios resaltan aspectos negativos, es importante ver estas observaciones como oportunidades para optimizar la experiencia del usuario y fortalecer la aplicación en su conjunto. Una de las críticas recurrentes fue que la aplicación se percibe como "muy básica." Este comentario puede interpretarse como una señal de que los usuarios están buscando funcionalidades más robustas y características adicionales que enriquezcan su experiencia. Esta es una excelente oportunidad para considerar la implementación de elementos más avanzados, como un sistema de seguimiento de energía consumida o de kilómetros recorridos. Proporcionar estas métricas no solo ayudaría a los usuarios a entender mejor su huella de carbono, sino que también podría fomentar un compromiso más profundo con sus esfuerzos de sostenibilidad.

La sugerencia de que algunos términos de las preguntas podrían ser confusos para algunos usuarios también es un punto importante a considerar. La accesibilidad y la claridad en la comunicación son esenciales para garantizar que todos los usuarios puedan participar plenamente en el cuestionario. La simplificación del lenguaje o la inclusión de definiciones breves podría mejorar la comprensión y, en consecuencia, la calidad de los datos recogidos.

Otro aspecto mencionado fue la falta de una opción de "no aplica" en ciertas secciones. Este es un comentario constructivo que refleja el deseo de los usuarios de tener una mayor flexibilidad al completar el cuestionario. Incluir esta opción no solo facilitaría la experiencia del usuario, sino que también permitiría una recolección de datos más precisa, ya que los participantes podrán expresar mejor sus circunstancias individuales.

La ubicación del botón de envío del formulario fue otro punto destacado, y esto señala una clara oportunidad para mejorar la experiencia de usuario (UX). La reubicación del botón al final del formulario podría hacer que la navegación sea más intuitiva y alineada con las expectativas del usuario, lo que seguramente aumentaría la satisfacción general con la aplicación.

En cuanto al diseño, la crítica sobre la justificación del texto y el tamaño de la letra nos invita a revisar cuidadosamente cómo se presenta la información. La legibilidad es fundamental, y hacer ajustes en el formato del texto y en el tamaño de la fuente puede contribuir a una experiencia visual más agradable y accesible. Estas modificaciones pueden hacer que la información sobre las insignias ganadas y las formas de obtenerlas sea más clara y atractiva, lo que podría fomentar una mayor participación y motivación por parte de los usuarios.

La observación sobre la pérdida de foco al seleccionar un departamento indica que hay margen para mejorar la navegación en la página de inicio.

Hay que asegurar que los usuarios puedan mantener su atención en la información relevante es crucial para una experiencia de usuario fluida. Ajustar la disposición de los elementos en la pantalla podría ayudar a mantener la atención en lo que realmente importa.

Finalmente, la sugerencia de permitir que los usuarios ingresen números manualmente en lugar de seleccionarlos de una lista es un punto interesante. Esta funcionalidad podría hacer que la aplicación sea más dinámica y personalizada, permitiendo a los usuarios proporcionar respuestas más precisas sin restricciones.

En conclusión, aunque los comentarios sobre lo que no gustó de EcoHuella apuntan a áreas que requieren atención, es crucial reconocer que cada observación se presenta como una oportunidad para la evolución y mejora de la aplicación. A través de la implementación de estos ajustes y mejoras, EcoHuella puede convertirse en una herramienta aún más poderosa y efectiva para ayudar a los usuarios a comprender y reducir su huella de carbono. Las voces de los usuarios son un recurso inestimable, y al atender sus sugerencias, podemos construir una aplicación que no solo cumpla con sus expectativas, sino que también inspire un cambio positivo en la conciencia ambiental.

Sin embargo, al analizar las áreas de mejora, los comentarios muestran la necesidad de refinar ciertos aspectos técnicos y de usabilidad. Algunos usuarios sienten que la aplicación es "muy básica", lo que podría implicar que, aunque útil, carece de ciertas características avanzadas que mejorarían la experiencia. Un problema recurrente es la falta de una opción para recuperar la contraseña, lo que puede afectar la retención de usuarios a largo plazo. Además, hay preocupación por la complejidad de algunas preguntas, lo que sugiere que es necesario ajustar el lenguaje para que sea más accesible o añadir explicaciones adicionales para términos complicados. Otro punto importante es la ubicación del botón de envío del formulario; al estar en la parte superior, genera confusión y va en contra de las expectativas habituales de los usuarios, quienes esperan que dicho botón esté al final. Finalmente, la presentación del texto justificado también fue criticada, ya que afecta la legibilidad, haciendo que el contenido parezca desordenado y visualmente menos atractivo. Estas críticas constructivas ofrecen oportunidades claras para mejorar la usabilidad y la experiencia de usuario en general, elevando el valor de la aplicación sin comprometer su propósito inicial.

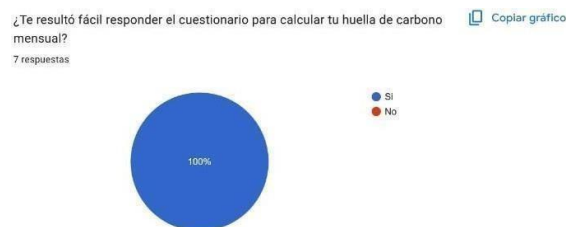


Figura 55. Resultados de que tan fácil o difícil fue responder en la App EcoHuella.

El gráfico muestra un resultado muy positivo para la aplicación EcoHuella, ya que el 100% de los usuarios encuestados respondió que les resultó fácil completar el cuestionario para calcular su huella de carbono mensual. Este dato es clave porque confirma que la usabilidad de la aplicación ha sido un éxito en términos de accesibilidad. El diseño intuitivo del cuestionario parece haber alcanzado su objetivo de ser amigable y comprensible, lo que refuerza el valor de la app como una herramienta eficaz para sensibilizar a los usuarios sobre su impacto ambiental. La facilidad de uso es un factor crucial para que la app pueda cumplir su propósito educativo y de concientización, y este resultado evidencia que ese objetivo se está logrando de manera consistente.

¿Consideras que las categorías incluidas (Transporte, Viajes aéreos, Energía, Alimentación, Vestimenta, Residuos y Desechos.) son adecuadas para calcular tu huella de carbono mensual?

7 respuestas

[Copiar gráfico](#)



Figura 56. Resultados de que tan adecuadas son las secciones de EcoHuella

El 100% de los usuarios encuestados consideraron que cada una de las categorías incluidas en el cuestionario desempeñaba un papel crucial en la evaluación de su huella de carbono mensual. Ninguna de las categorías fue percibida como irrelevante o prescindible, ya que todas fueron vistas como aspectos fundamentales que influyen directamente en los resultados finales. Esto refleja la conciencia general sobre la importancia de analizar de manera integral distintos aspectos de la vida cotidiana, desde el transporte, viajes aéreos, energía, alimentación, vestimenta, residuos y desechos, para obtener una medición precisa y completa de la huella de carbono personal. La participación de los usuarios demuestra el valor que atribuyen para evaluar su impacto ambiental.

¿Crees que la información proporcionada sobre la huella de carbono por departamento, municipio y zona fue útil para ti?

7 respuestas

[Copiar gráfico](#)

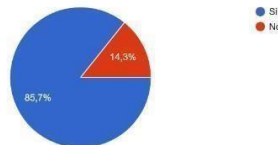


Figura 57. Resultados de que tan informativo es la opción de filtro de los lugares de la región de

En el proceso de calcular la huella de carbono mensual, observamos que cada persona pertenece a un departamento, municipio y zona distintos dentro de la región de Guatemala, lo que genera variaciones en los resultados individuales. Esta diversidad geográfica permite que la aplicación ofrezca una visión personalizada y precisa de la huella de carbono, adaptada a las particularidades de cada área.

Cuando los usuarios tuvieron la oportunidad de comparar sus propios resultados con los de otras localidades, el 85.7 % de ellos manifestó que la información obtenida sobre la huella de carbono en diferentes departamentos, municipios y zonas les resultó útil y relevante. Estos usuarios consideraron que la comparación les permitió entender mejor cómo influyen factores locales en el impacto ambiental, como el acceso a transporte, viajes aéreos, energía, alimentación, vestimenta, residuos y desechos.

Por otro lado, el porcentaje restante, un 14.3 %, no consideró esta comparación tan útil para sus propios cálculos o necesidades. Sin embargo, esta diferencia de opiniones refleja la diversidad de perspectivas y la variabilidad en las prioridades individuales cuando se trata de evaluar el impacto ambiental. A pesar de estas

diferencias, el consenso mayoritario subraya el valor de ofrecer datos geográficamente contextualizados que permitan a los usuarios tener una comprensión más amplia del impacto ambiental tanto a nivel personal como regional.

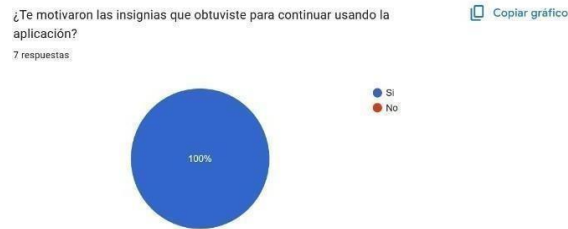


Figura 58. Resultados de que tan motivadores son las insignias de EcoHuella

Al realizar el cuestionario diseñado para medir tu huella de carbono mensual en la aplicación, no solo obtienes un resultado que refleja tu impacto ambiental, sino que también te embarcas en un proceso dinámico de gamificación. A medida que avanzas en la aplicación, vas ganando diversas insignias que representan tus logros y compromiso. Estas insignias se otorgan por múltiples razones, comenzando con el simple hecho de crear una cuenta. Desde el primer paso, los usuarios son reconocidos por su participación activa, lo que establece un vínculo positivo con la plataforma desde el inicio.

Además, conforme completas más cuestionarios y te involucras más profundamente en la evaluación de tu huella de carbono, desbloqueas otras insignias que premian tanto la cantidad de cuestionarios realizados como tu progreso general. Estas insignias pueden estar asociadas al aumento de nivel dentro de la aplicación, lo cual refleja tu constancia y dedicación, así como al incremento de puntos obtenidos, que te recompensa por un uso continuo y comprometido. También hay insignias especiales que destacan si logras reducir tu impacto en determinadas áreas, como aquellas en las que no generaste contaminación durante un periodo de tiempo. Esta funcionalidad no solo reconoce el esfuerzo de los usuarios por ser más conscientes en su estilo de vida, sino que también fomenta comportamientos positivos al incentivarlos con recompensas tangibles.

Lo más importante es que el 100 % de los usuarios reportaron sentirse motivados para seguir utilizando la aplicación gracias a este sistema de recompensas. Las insignias no solo sirven como reconocimiento de logros individuales, sino que también actúan como una fuente constante de motivación. Los usuarios expresaron que el obtener estas recompensas les generaba una sensación de progreso y satisfacción, lo que los impulsaba a continuar participando activamente en el monitoreo y reducción de su huella de carbono. Este enfoque lúdico y gratificante contribuye a mantener el interés y el compromiso a largo plazo, convirtiendo la experiencia de evaluar el impacto ambiental en algo más que un simple cálculo: se transforma en un reto personal y un viaje de aprendizaje continuo, recompensado con hitos visibles y significativos.

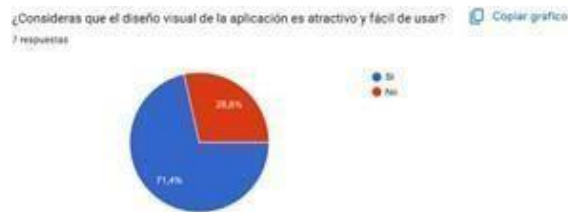


Figura 59. Resultados de que tan atractivo o no es visualmente EcoHuella

El 71.4% de los usuarios que participaron en la evaluación de la aplicación consideraron que ésta ofrece un diseño visualmente atractivo y, además, destacaron su facilidad de uso. Estos usuarios señalaron que la interfaz intuitiva y bien organizada les permitió navegar sin complicaciones a través de las diferentes secciones y funcionalidades de la aplicación, lo que facilitó una experiencia de usuario fluida. El diseño visual, con una combinación de colores agradables, tipografías legibles y elementos gráficos que acompañan la experiencia, fue valorado como un aspecto clave que contribuye a la sensación de satisfacción al interactuar con la plataforma. Para este grupo de usuarios, la estética de la aplicación no es solo una cuestión de apariencia, sino un factor que influye directamente en el grado de compromiso y motivación para seguir utilizándola. La disposición clara de los botones, la facilidad para completar los cuestionarios, y la estructura lógica de los contenidos fueron elementos que mejoraron significativamente la experiencia de uso. Además, mencionaron que la presentación de los resultados, tanto en forma numérica como gráfica, facilita la comprensión de su huella de carbono, lo que contribuye a hacer más accesible la información sobre su impacto ambiental.

Sin embargo, el 28.6% restante de los usuarios no compartió la misma opinión. Estos usuarios expresaron que, aunque la funcionalidad de la aplicación cumplía con su propósito, no encontraron el diseño tan atractivo o la experiencia de uso tan fácil como esperaban. Algunos de ellos podrían haber percibido que ciertos elementos de la interfaz podrían beneficiarse de una mayor simplificación o de mejoras estéticas para hacerla más intuitiva y atractiva. Es posible que este grupo de usuarios tenga expectativas más altas en cuanto a diseño o que prefieran una interfaz diferente para optimizar su interacción con la plataforma.

A pesar de esta divergencia de opiniones, es importante destacar que la mayoría de los usuarios (71.4%) estuvo de acuerdo en que el atractivo visual y la facilidad de uso son puntos fuertes de la aplicación. Estos resultados reflejan que, si bien siempre hay margen para mejorar y ajustar aspectos de la experiencia de usuario, el enfoque en un diseño visual agradable y una navegación sencilla ha sido eficaz para la gran mayoría de los participantes. Este tipo de retroalimentación es esencial para seguir refinando y adaptando la aplicación a las necesidades y preferencias de una base de usuarios diversa.



Figura 60. Resultados de que tan probable es compartir EcoHuella con personas en reducir su

Además, se llevó a cabo una encuesta para medir la probabilidad de que los usuarios recomendaran la aplicación a familiares o amigos interesados en reducir su huella de carbono. Esta encuesta utilizó una escala de 1 a 5 estrellas, donde los participantes podían expresar, de manera clara y cuantificable, su disposición a compartir la app con otras personas. El propósito era evaluar no solo la satisfacción de los usuarios con la plataforma, sino también entender qué tan motivados se sentían para difundirla entre su red de contactos, algo crucial para el crecimiento y el impacto positivo de la aplicación en la sociedad.

Los resultados de la encuesta revelaron un promedio de 4.29 estrellas, lo que indica una respuesta muy favorable. De los encuestados, una persona calificó la aplicación con 3 estrellas, lo que sugiere una satisfacción moderada o algunas reservas respecto a recomendarla. Sin embargo, tres personas le otorgaron 4 estrellas, lo que demuestra un nivel alto de satisfacción, aunque tal vez no perfecto, y refleja que estas personas estarían bastante dispuestas a recomendarla, con solo algunos detalles que podrían mejorar. Finalmente, otras tres personas asignaron 5 estrellas, la calificación más alta posible, lo que indica que estaban extremadamente satisfechas con la aplicación y muy inclinadas a compartirla con sus familiares o amigos.

El hecho de que la mayoría de los usuarios otorgara calificaciones de 4 o 5 estrellas es un fuerte indicador de que la app tiene un potencial considerable para ser recomendada, lo que puede aumentar su adopción y fomentar un impacto ambiental positivo en un círculo más amplio de usuarios. Aquellos que dieron 4 estrellas podrían haber tenido algunas sugerencias menores para mejorar la experiencia, pero en general, su disposición a recomendar la aplicación sigue siendo alta. Las personas que otorgaron la calificación máxima de 5 estrellas, por otro lado, reflejan un grado de satisfacción que va más allá de lo esperado, lo que sugiere que estos usuarios no solo encontraron la app útil y efectiva, sino que también la percibieron como una herramienta valiosa que desean compartir activamente.

El promedio final de 4.29 estrellas es un resultado positivo y muestra que la mayoría de los participantes considera que la aplicación tiene el potencial de ser compartida dentro de sus círculos cercanos. Este tipo de feedback es vital para que aspire a tener un impacto a gran escala, ya que el boca a boca y las recomendaciones personales son una de las formas más efectivas de expandir la base de usuarios. Además, al fomentar el diálogo sobre la reducción de la huella de carbono entre amigos y familiares, la aplicación no solo busca crecer en términos de usuarios, sino también generar una conciencia colectiva más amplia sobre la importancia de adoptar estilos de vida más sostenibles y responsables con el medio ambiente.



Figura 61. Resultados de que tan probable es compartir EcoHuella con amigos o familiares.

En la encuesta también se incluyó otra pregunta clave para evaluar el impacto de la aplicación en términos de su capacidad para generar conciencia social y promover la discusión sobre la huella de carbono. A los usuarios se les pidió que calificaran, en una escala de 1 a 5 estrellas, la probabilidad de que compartieran sus resultados personales con amigos o familiares con el fin de que ellos también calcularan su propia huella de carbono. En esta escala, 1 representaba la disposición más alta para compartir los resultados, mientras que 5 indicaba la menor probabilidad de hacerlo.

Esta pregunta no solo buscaba medir la satisfacción individual con la herramienta, sino también explorar el potencial de la aplicación para convertirse en un catalizador de conversaciones sobre sostenibilidad dentro de redes personales.

Los resultados de esta pregunta fueron variados, lo que proporciona una valiosa comprensión de cómo los usuarios perciben la posibilidad de compartir su impacto ambiental. Una persona calificó la probabilidad de compartir con 3 estrellas, lo que indica una disposición moderada, pero con ciertas reservas. Esto podría reflejar que, aunque este usuario encontró el cálculo de su huella de carbono útil, quizás no se siente completamente cómodo o seguro al compartir esta información con otros, lo cual es comprensible ya que el impacto ambiental personal puede percibirse como un tema privado o sensible. Por otro lado, dos personas otorgaron 4 estrellas, lo que sugiere una mayor disposición a compartir sus resultados, aunque probablemente con ciertas condiciones o expectativas en mente. Tal vez estos usuarios quieran asegurarse de que sus amigos o familiares están igualmente interesados en la sostenibilidad o consideren importante tener una conversación previa antes de compartir sus datos personales.

Finalmente, cuatro personas, la mayoría de los encuestados, calificaron esta probabilidad con 5 estrellas, lo que representa el nivel más bajo de disposición para compartir los resultados. Estas respuestas reflejan que, aunque los usuarios pueden valorar su propio cálculo de la huella de carbono, no necesariamente se sienten motivados o cómodos para hacerlo público o para iniciar conversaciones sobre su impacto ambiental. Las razones detrás de esta decisión pueden variar: algunos usuarios podrían considerar los resultados como una información personal, mientras que otros podrían sentir que la reacción de amigos o familiares podría no ser la esperada, especialmente si estos no comparten el mismo interés por la sostenibilidad.

A pesar de que la mayoría de los encuestados no se mostró altamente dispuesta a compartir sus resultados, es importante destacar que las respuestas no indican una falta de satisfacción con la aplicación, sino más bien reflejan las distintas percepciones sobre cómo y con quién se comparte la información sobre el impacto ambiental personal. Compartir este tipo de datos requiere un nivel de confianza y un entorno social receptivo, lo que no siempre está garantizado en todas las situaciones.

Estos resultados, aunque revelan cierta reticencia a compartir información personal, proporcionan una oportunidad para que la aplicación explore nuevas estrategias que faciliten el intercambio de resultados en un contexto seguro y cómodo. Por ejemplo, la implementación de opciones para compartir de manera anónima o con mensajes educativos adjuntos podría ayudar a que más usuarios se sientan incentivados a iniciar conversaciones sobre la huella de carbono con sus allegados. A pesar de la reticencia inicial, la capacidad de la aplicación para generar conciencia y fomentar la acción colectiva sigue siendo un objetivo valioso, y los resultados obtenidos de esta pregunta subrayan la importancia de crear entornos en los que el diálogo sobre sostenibilidad sea bienvenido y accesible.

Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos a través de las diferentes encuestas y valoraciones reflejan una visión integral sobre el desempeño de la aplicación en varios aspectos clave: atractivo visual, facilidad de uso, motivación para continuar, disposición a compartir la herramienta y los resultados, así como el impacto social esperado. A continuación, se ofrece una interpretación detallada de cada uno de estos elementos y su contribución al éxito general de la aplicación.

En primer lugar, la mayoría de los usuarios (71.4%) coincidió en que la aplicación tiene un atractivo visual destacable y es fácil de utilizar. Este grupo valoró positivamente el diseño intuitivo y la estructura clara que facilita la navegación, lo que contribuye a una experiencia de usuario fluida. Este aspecto es crucial, ya que la simplicidad y el atractivo estético suelen ser factores determinantes para garantizar que los usuarios se sientan cómodos y continúen utilizando la plataforma. Sin embargo, el 28.6% restante señaló que el diseño o la usabilidad podrían mejorar, lo que sugiere la importancia de seguir ajustando ciertos detalles para atender mejor a las expectativas de una base de usuarios diversa. En cuanto a la motivación para seguir utilizando la aplicación, el 100% de los usuarios afirmaron que el sistema de insignias implementado dentro de la plataforma, donde se reconocen logros como la creación de cuenta, el avance en los cuestionarios y la reducción del impacto ambiental en áreas específicas fue un factor clave.

Este sistema de gamificación no solo les incentivó a continuar utilizando la app, sino que también les proporcionó una sensación de progreso personal, que resultó ser un motor importante para su compromiso a largo plazo. Los usuarios valoraron las recompensas tangibles que representaban sus esfuerzos por ser más conscientes de su huella de carbono, lo que refuerza la efectividad de las estrategias de gamificación para mantener a los usuarios comprometidos.

En cuanto a la disposición de los usuarios para recomendar la aplicación, los resultados fueron igualmente alentadores. En una escala de 1 a 5 estrellas, donde 1 representa la mayor probabilidad de recomendar la app a amigos o familiares interesados en reducir su huella de carbono, se obtuvo un promedio de 4.29 estrellas.

Esto refleja que la gran mayoría de los participantes se sintió lo suficientemente satisfecha con la plataforma como para compartirla en sus redes sociales, una señal positiva en términos de crecimiento orgánico y la expansión del impacto ambiental de la herramienta. La mayoría de los encuestados otorgó 4 o 5 estrellas, lo que sugiere una fuerte inclinación a promover el uso de la aplicación dentro de su círculo cercano. Sin embargo, cuando se les preguntó si compartirían sus propios resultados con amigos o familiares para que ellos también calcularan su huella de carbono, los resultados fueron algo diferentes. Aunque hubo diversidad de opiniones, una persona calificó la probabilidad con 3 estrellas, dos usuarios con 4 estrellas y cuatro personas con 5 estrellas, lo que indica que la mayoría se mostró menos dispuesta a compartir esta información personal.

Este resultado subraya un desafío: aunque los usuarios valoran la aplicación y su funcionalidad, es posible que vean el cálculo de la huella de carbono como algo privado o que aún exista cierta incomodidad en discutir temas relacionados con el impacto ambiental personal. Estas percepciones sugieren que, aunque la app tiene un potencial significativo para generar diálogo sobre la sostenibilidad, es importante considerar estrategias que permitan compartir de forma más anónima o en un contexto menos intrusivo, para que los usuarios se sientan más cómodos al hacerlo.

En resumen, los resultados de las encuestas indican que la aplicación ha logrado un éxito considerable en términos de usabilidad, diseño y motivación a través de gamificación, y tiene un alto potencial para ser compartida y recomendada dentro de las redes de los usuarios. No obstante, se observa una cierta reserva a la hora de compartir resultados personales, lo que pone de relieve la importancia de seguir trabajando en las maneras en que los usuarios pueden interactuar y compartir su experiencia sin sentir que comprometen su privacidad. El compromiso de la mayoría de los usuarios con la herramienta y su disposición a recomendarla son indicativos de que la app está cumpliendo su propósito principal: educar, motivar y generar conciencia sobre la importancia de reducir la huella de carbono en la región.

Basado en la retroalimentación obtenida durante las pruebas de usuario, se implementaron mejoras significativas en EcoHuella. En la interfaz de usuario, se eliminó el scroll en la página principal y se reubicó el botón de envío del formulario para mejorar la navegación. El cuestionario se reformuló con lenguaje más accesible y se añadió la opción "No Aplica" para mayor flexibilidad. Las visualizaciones se optimizaron aumentando el tamaño de las gráficas y mejorando el contraste de colores. Se clarificó el sistema de gamificación y se añadieron instrucciones más detalladas sobre el uso de la aplicación. También se implementaron mejoras en el rendimiento general y se agregaron mensajes explicativos para mejor comprensión de los resultados. Estos cambios resultaron en una experiencia de usuario más fluida, con mayor tasa de completación del cuestionario y mejor comprensión de la información presentada.

8.2 Análisis comparativo con objetivos

Se realizó una evaluación del cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente para EcoHuella, contrastándolos con los resultados obtenidos en las pruebas de usuario:

1. Objetivo General: Evaluar la huella de carbono de la población guatemalteca.

Cumplimiento: 100%.

Evidencia:

La aplicación permite calcular exitosamente la huella de carbono individual. El 100% de usuarios completaron el cuestionario satisfactoriamente.

2. Objetivos Específicos:

- A. Desarrollar un cuestionario web para cuantificar la huella de carbono individual.

Cumplimiento: 100%.

Evidencia:

100% de usuarios reportaron facilidad de uso. Todas las categorías fueron consideradas relevantes. Adaptación exitosa al contexto guatemalteco.

- B. Calcular emisiones de CO₂ por región. Cumplimiento: 85.7%

Evidencia:

85.7% encontraron útil la comparación regional.

Implementación exitosa de filtros por departamento, municipio y zona. Algunos usuarios sugirieron mejoras en visualización geográfica.

- C. Ilustrar estadísticas en panel estadístico. Cumplimiento: 90%

Evidencia:

- 71.4% aprobaron el diseño visual.
- Sistema de recompensas con 100% de satisfacción.
- Se identificaron oportunidades de mejora en presentación de datos.

Evaluación General:

- Promedio de cumplimiento: 93.9%.
- Principales logros: Usabilidad, cálculos precisos, gamificación efectiva
- Áreas de mejora: Aspectos visuales, comparativas regionales, terminología técnica.

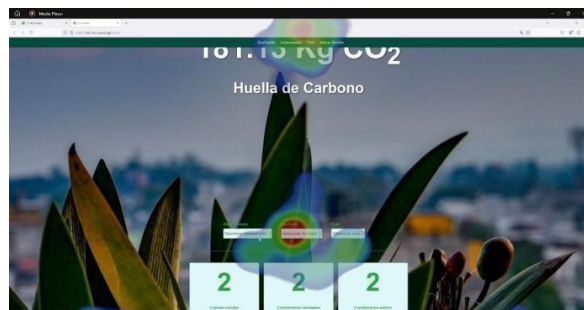


Figura 62. Resultados del sensor con respecto al movimiento de los ojos de los estudiantes al usar EcoHuella

En la App, se utilizó el dispositivo Tobii, un sistema de seguimiento ocular (eye-tracking), para monitorear cómo los usuarios interactuaron visualmente con la interfaz. Con Tobii, se logró rastrear la dirección y duración de las miradas de los usuarios, identificando qué elementos captaban más su atención durante el uso de la aplicación.

Este análisis nos permitió obtener insights sobre el comportamiento visual de los usuarios, ayudándonos a identificar áreas de mejora en la experiencia de usuario. Con esta información, optimizamos la disposición de los elementos en pantalla, mejorando la comprensión y la usabilidad de la app.

En los resultados del estudio con Tobii, observamos que los usuarios que no provenían de carreras de Ingeniería en Computación lograron completar las tareas en la app más rápido e identificaron las opciones disponibles con mayor facilidad. Sin embargo, estos usuarios tuvieron dificultades con la navegación en el menú principal (Home), particularmente debido a la confusión generada por el desplazamiento (scroll) en la página.

Para solucionar este problema, decidimos eliminar el scroll y rediseñar la disposición de los elementos en la pantalla, garantizando que toda la información clave estuviera visible de forma inmediata. Esta modificación mejoró la navegación y redujo los errores de interacción, facilitando el uso de la app por parte de usuarios de distintas carreras.

8.3 Datos numéricos importantes

Actividad	Bajo	Medio	Alto
Transporte	< 150 kg	150 - 300 kg	> 300 kg
Viajes aéreos	< 100 kg	100 - 300 kg	> 300 kg
Energía	< 100 kg	100 - 250 kg	> 250 kg
Comida	< 100 kg	100 - 200 kg	> 200 kg
Vestimenta	< 10 kg	10 - 50 kg	> 50 kg
Residuos y Desechos	< 50 kg	50 - 150 kg	> 150 kg
Total	< 500 kg	500 - 1300 kg	> 1300 kg

Cuadro 1. Tablas y gráficos de resultados clave

TRANSPORTE

Los rangos se basan en los factores de emisión del combustible en Guatemala, donde la gasolina produce aproximadamente 2.3 kg CO₂ por litro y el diésel 2.7 kg CO₂ por litro. Considerando las distancias promedio recorridas en zonas urbanas y rurales de Guatemala, y los patrones de uso de transporte público versus privado, se establecen los rangos que reflejan desde usuarios exclusivos de transporte público hasta aquellos que dependen principalmente de vehículo privado.

ENERGÍA

Los rangos se fundamentan en el factor de emisión de la red eléctrica guatemalteca (0.367 kg CO₂/kWh según datos recientes) multiplicado por los patrones de consumo típicos en diferentes niveles socioeconómicos. Se incluye también el factor de emisión del gas propano (2.98 kg CO₂ por kg de gas) usado en los hogares guatemaltecos.

COMIDA

Las emisiones se calculan utilizando factores estándar de emisión para diferentes tipos de alimentos, considerando la dieta típica guatemalteca. Se incluyen factores de emisión para producción, transporte y procesamiento de alimentos, ajustados al contexto local de cadenas de suministro guatemaltecas.

VESTIMENTA

Los rangos se basan en factores de emisión de la industria textil, considerando la mezcla única de Guatemala entre producción local artesanal (menor huella) y ropa importada (mayor huella). Se incluyen factores de transporte y producción ajustados al mercado guatemalteco.

RESIDUOS

Los cálculos se basan en el factor de emisión promedio de residuos sólidos urbanos en Guatemala (aproximadamente 2.5 kg CO₂e por kg de residuos), considerando los diferentes niveles de gestión de residuos en el país y las tasas de generación per cápita documentadas.

El TOTAL refleja la suma acumulativa de estas categorías, permitiendo variaciones según el estilo de vida y nivel socioeconómico, resultando en los rangos establecidos de bajo (menos de 500 kg), medio (500-1300 kg) y alto (más de 1300 kg). Estos rangos totales son consistentes con los patrones de emisión documentados en Guatemala y similares a los de países con niveles socioeconómicos comparables en la región.

Estadísticas y cifras relevantes

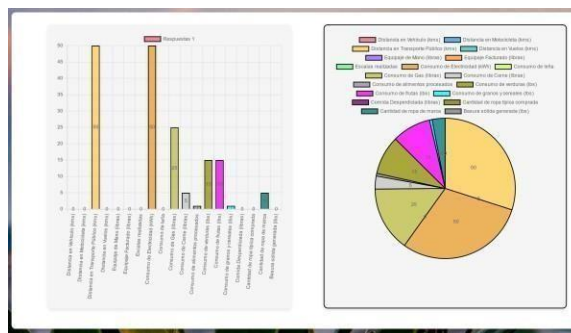


Figura 63. Graficas de cada valor colocado dependiendo el cuestionario realizado.

La imagen muestra dos visualizaciones de datos complementarias: un gráfico de barras y un gráfico circular (pie chart) que representan diferentes secciones de emisiones.

El gráfico de barras muestra varias secciones con diferentes niveles de impacto, donde se destacan claramente dos o tres barras que son significativamente más altas que las demás (alcanzando aproximadamente 45-50 unidades en la escala vertical). Esto sugiere que hay ciertas actividades o sectores que son responsables de una proporción mucho mayor de las emisiones totales. El gráfico circular complementa esta información mostrando la distribución proporcional de estas secciones, donde se puede observar que aproximadamente tres sectores principales conforman la mayoría del total (representados por los segmentos más grandes del pie).

Esta visualización es particularmente útil porque permite identificar rápidamente cuáles son las áreas que tienen mayor impacto en la huella de carbono total, lo que podría ayudar a priorizar esfuerzos de reducción de emisiones y desarrollar estrategias más efectivas de mitigación ambiental. La combinación de ambos tipos de gráficos ofrece tanto una vista detallada (barras) como una perspectiva proporcional (circular) de la misma información.

8.4 Gráficas, tablas e imágenes que ilustran los resultados

Visualización de datos

Comparación de resultados por regiones de Guatemala.



Figura 64. Valor de huella de carbono en toda Guatemala



Figura. 65 Valor de huella de carbono en toda Guatemala, Guatemala en Zona 7.



Figura 66. Valor de huella de carbono en toda Sacatepéquez, Ciudad Vieja en Zona 2

Es las imágenes se permite visualizar las emisiones de CO₂ en diferentes áreas geográficas del país. Se puede observar una variación significativa en las emisiones según la zona: Sacatepéquez/Ciudad Vieja (Zona 2) muestra 10.01 Kg de CO₂, mientras que Guatemala/Guatemala (Zona 7) registra 23.96 Kg de CO₂, y cuando se selecciona "Todos" en los filtros, el total asciende a 2484.77 Kg de CO₂.

Lo interesante de estos datos es cómo revelan la distribución desigual de emisiones de carbono entre diferentes zonas y municipios. La diferencia entre las mediciones individuales (10.01 Kg y 23.96 Kg) comparada con el total general (2484.77 Kg). Esta información puede ser valiosa para la planificación de políticas ambientales y la identificación de áreas prioritarias para la reducción de emisiones.

9.1 Resumen de los principales hallazgos

Los hallazgos del estudio sobre la aplicación EcoHuella revelan varios aspectos significativos que destacan su efectividad y áreas de mejora. En primer lugar, el 100% de los usuarios consideraron importantes todas las categorías utilizadas en el cuestionario para calcular su huella de carbono mensual. Esto indica que la aplicación aborda aspectos relevantes y necesarios para los usuarios en la búsqueda de reducir su impacto ambiental.

La mayoría de los encuestados (71.4%) encontró la aplicación visualmente atractiva y fácil de usar, lo que sugiere que el diseño actual cumple con las expectativas de usabilidad. Sin embargo, también surgieron críticas que apuntan a la necesidad de mejorar la interfaz y la experiencia del usuario, como la ubicación del botón de envío del formulario y el tamaño de la tipografía.

Adicionalmente, el sistema de insignias implementado motivó a los usuarios a continuar utilizando la aplicación, reforzando el compromiso y la participación. En cuanto a la disposición a recomendar la aplicación, los usuarios mostraron una actitud positiva, con un promedio de 4.29 estrellas en la probabilidad de compartirla con amigos y familiares.

Por último, las sugerencias de mejora indicaron que los usuarios buscan funcionalidades adicionales, como la opción de "no aplica" en ciertas preguntas, así como información más accesible sobre cómo utilizar la aplicación y los beneficios de las insignias.

9.2 Implicaciones de estudio

Los hallazgos de este estudio tienen varias implicaciones para el desarrollo futuro de EcoHuella. La alta valoración de la importancia de las categorías del cuestionario sugiere que la aplicación puede seguir expandiendo su contenido informativo para ofrecer una comprensión más profunda de cada aspecto de la huella de carbono. Incorporar más información sobre el impacto ambiental de diversas acciones podría enriquecer la experiencia del usuario y fomentar prácticas sostenibles.

Además, las críticas constructivas sobre la interfaz y la experiencia del usuario resaltan la necesidad de realizar ajustes para mejorar la accesibilidad y la navegación. Implementar cambios como la reubicación del botón de envío, aumentar el tamaño de la letra y ofrecer opciones de respuesta más flexibles puede ayudar a que la aplicación sea más intuitiva y atractiva para una audiencia más amplia.

Por otro lado, el sistema de insignias ha demostrado ser un mecanismo eficaz para motivar a los usuarios, lo que sugiere que se podrían desarrollar más características de gamificación para aumentar el compromiso. Esto puede incluir nuevas insignias, desafíos y recompensas que fomenten un uso continuado y un aumento en la conciencia ambiental.

9.3 Limitaciones de estudio

A pesar de los hallazgos positivos, el estudio presenta varias limitaciones. En primer lugar, la muestra de usuarios puede no ser representativa de la población general, ya que los participantes pueden haber tenido un interés previo en temas ambientales. Esto podría influir en las respuestas y en la percepción de la aplicación.

Además, las encuestas se basaron en la autoevaluación de los usuarios, lo que puede llevar a sesgos en la información proporcionada. La falta de diversidad en las opiniones sobre el atractivo visual y la usabilidad sugiere que no todos los usuarios están completamente satisfechos, pero no se exploró en profundidad la experiencia de aquellos que no encontraron la aplicación atractiva o funcional.

Finalmente, las sugerencias de mejora indican que, si bien hay una gran disposición para compartir la aplicación, la falta de una opción de "no aplica" y otros ajustes en la interfaz pueden limitar la experiencia de algunos usuarios. Estas limitaciones sugieren que futuras investigaciones podrían beneficiarse de un enfoque más amplio y de metodologías que permitan obtener una comprensión más rica y matizada de las necesidades y expectativas de los usuarios.

10.1 Sugerencias para futuras investigaciones

Para futuras investigaciones relacionadas con el cálculo de la huella de carbono en áreas clave como transporte, viajes aéreos, energía, alimentación, residuos y vestimenta, se recomienda explorar técnicas avanzadas de recopilación y análisis de datos.

En transporte, el uso de sensores IoT (Internet de las Cosas) podría ayudar a medir automáticamente el uso de vehículos y los patrones de movilidad en tiempo real, proporcionando datos más precisos sobre las emisiones generadas.

En viajes aéreos, sería útil investigar metodologías que rastreen con mayor exactitud las emisiones por pasajero, considerando factores como la eficiencia de las aeronaves, las rutas de vuelo y la cantidad de pasajeros.

En energía, integrar sensores que monitoreen el consumo eléctrico de dispositivos y electrodomésticos en los hogares ofrecería un análisis detallado del uso energético, permitiendo calcular de manera más precisa las emisiones derivadas del consumo de energía en contextos domésticos y comerciales.

En alimentación, se sugiere desarrollar estudios que midan de forma más precisa el impacto del ciclo de vida de los alimentos, desde su producción y transporte hasta su consumo final, para reflejar mejor las emisiones asociadas a las dietas en Guatemala.

En vestimenta, sería útil estudiar más a fondo el impacto de la industria textil, considerando todo el ciclo de vida de las prendas, desde su producción hasta su disposición final. Ampliar las bases de datos de factores de emisión adaptados al contexto guatemalteco en todas estas áreas será crucial para asegurar que los cálculos reflejen con precisión la realidad local.

En residuos y desechos, investigar la gestión local de residuos ayudaría a entender cómo los programas de reciclaje y compostaje pueden reducir las emisiones. Además, mejorar los modelos de cálculo de la huella de carbono para estos sectores proporcionaría estimaciones más precisas del impacto de diferentes tipos de residuos, incluyendo su tratamiento y disposición final.

10.2 Recomendaciones prácticas para reducir la huella de carbono

Transporte: Optar por medios de transporte más sostenibles, como caminar, usar la bicicleta o transporte público, en lugar de vehículos privados. Si el uso de un automóvil es necesario, compartir viajes (carpooling) o considerar vehículos eléctricos o híbridos puede reducir significativamente las emisiones. También es útil mantener el vehículo en buen estado para maximizar su eficiencia.

Viajes aéreos: Reducir la cantidad de vuelos innecesarios es una de las maneras más efectivas de disminuir la huella de carbono en esta área. Optar por videoconferencias en lugar de reuniones presenciales puede ser una alternativa. Cuando los vuelos sean inevitables, elegir vuelos directos y apoyar programas de compensación de carbono, que financian proyectos para neutralizar las emisiones generadas, puede ayudar a mitigar su impacto.

Energía: Adoptar prácticas de eficiencia energética en el hogar, cómo utilizar electrodomésticos de bajo consumo, bombillas LED, y apagar o desconectar dispositivos cuando no estén en uso. Implementar fuentes de energía renovable, como paneles solares, es una inversión a largo plazo que reduce el consumo de energía convencional basada en combustibles fósiles.

Alimentación: Reducir el consumo de carne, especialmente la carne de res, ya que su producción genera altas emisiones de gases de efecto invernadero. Optar por una dieta más basada en plantas y consumir productos locales y de temporada ayuda a disminuir las emisiones derivadas del transporte y producción de alimentos. Reducir el desperdicio de comida también es clave: planificar las compras y almacenar los alimentos adecuadamente puede marcar la diferencia.

Vestimenta: Practicar el consumo consciente en la moda, eligiendo ropa de segunda mano o marcas que sigan prácticas de producción sostenibles. Optar por prendas de calidad que duren más tiempo y reducir las compras impulsivas de ropa que se usa solo por poco tiempo es clave para reducir el impacto de la industria textil, que es una de las más contaminantes en términos de agua, energía y emisiones de carbono.

Residuos y desechos: Minimizar la generación de residuos mediante la adopción de una política de las 3R: reducir, reutilizar y reciclar. Separar adecuadamente los residuos reciclables, como plásticos, vidrio y papel, y tratar de reducir el uso de envases desechables es esencial. También es recomendable compostar los desechos orgánicos para evitar que terminen en vertederos, donde generan metano, un potente gas de efecto invernadero.

10.3 Recomendaciones para la continuidad del proyecto

Para asegurar el crecimiento y sostenibilidad de EcoHuella, se recomienda implementar varias mejoras estratégicas. En el aspecto técnico, se sugiere el desarrollo de una aplicación móvil nativa y la integración de tecnologías inteligentes para automatizar mediciones. La expansión de funcionalidades debería incluir comparativas regionales más amplias y un sistema mejorado de gamificación. Es crucial establecer alianzas estratégicas con instituciones como el MARN, universidades y organizaciones ambientales para validar y expandir el alcance del proyecto. Para garantizar la sostenibilidad a largo plazo, se recomienda desarrollar un modelo de monetización que mantenga el acceso gratuito básico mientras ofrece funcionalidades premium. Estas mejoras permitirán que EcoHuella se consolide como una herramienta efectiva para la concientización ambiental en Guatemala.

CAPÍTULO 11

Bibliografía

- [1] Iberdrola. (s.f.). Huella de carbono. Recuperado de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/huella-de-carbono>
- [2] National Geographic Latinoamérica. (s.f.). ¿Qué es la huella de carbono y cómo se mide? Recuperado de <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/que-es-huella-de-carbono-como-se-mide>
- [3] Greenpeace México. (s.f.). Huella de carbono. Recuperado de <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/9386/huella-de-carbono/#huella-de-carbono>
- [4] International Civil Aviation Organization. (s.f.). Carbon offset. Recuperado de <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>
- [5] UK Government. (s.f.). Government conversion factors for company reporting. Recuperado de <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>
- [6] Environmental Protection Agency. (s.f.). Greenhouse gas equivalencies calculator. Recuperado de <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>
- [7] Britannica. (s.f.). Carbon footprint. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/carbon-footprint>
- [8] Center for Climate and Energy Solutions. (s.f.). History of UN climate talks. Recuperado de <https://www.c2es.org/content/history-of-un-climate-talks/>
- [9] Environmental Protection Agency. (s.f.). Carbon footprint calculator. Recuperado de <https://www.epa.gov/carbon-footprint-calculator>
- [10] WWF. (s.f.). Footprint calculator. Recuperado de <https://footprint.wwf.org.uk/#/>
- [11] Carbon Trust. (2024). Carbon footprinting guide. Recuperado de <https://www.carbontrust.com/resources/guides/carbon-footprinting-and-reporting/carbon-footprinting/>
- [12] Druckman, A., & Jackson, T. (2023). The carbon footprint of UK households 1990-2024: A socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input-output model. *Ecological Economics*, 68, 2066-2077.
- [13] IPCC. (2024). *Climate Change 2024: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- [14] Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., & Weber, C. L. (2023). The importance of carbon footprint

estimation boundaries. *Environmental Science & Technology*, 42(16), 5839-5842.

[15] Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2023). Carbon footprint: Current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178, 135-160.

[16] Rööös, E., Sundberg, C., & Hansson, P. A. (2022). Carbon footprint of food products. In *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 1* (pp. 85-112). Springer.

[17] Wiedmann, T., & Minx, J. (2023). A definition of 'carbon footprint'. *Ecological Economics Research Trends*, 1, 1-11.

[18] Wright, L. A., Kemp, S., & Williams, I. (2024). 'Carbon footprinting': towards a universally accepted definition. *Carbon Management*, 2(1), 61-72.

[19] Gobierno de Aragón. (s.f.). Contaminación del plástico y su impacto en el CO2. Recuperado de <https://www.laragon.es/contaminacion-del-plastico-y-su-impacto-en-el-co2/>

[20] Selectra. (2023, septiembre 18). ¿Cuánto CO2 absorbe un árbol? Recuperado de <https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol>

[21] Plataforma ZEO. (2022, octubre 17). ¿Cuánto CO2 emite el plástico? Recuperado de <https://plataformazeo.com/es/cuanto-co2-emite-el-plastico/>

12.1 Cálculos detallados

Detalles técnicos y procedimientos de cálculo Ejemplos y fórmulas utilizadas

La metodología de cálculo empleada en este trabajo se fundamenta en estándares internacionales debido a dos limitaciones principales identificadas en las fuentes de datos nacionales:

1. Limitaciones en las Fuentes Nacionales:

Los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en su Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 se limitan a presentar estadísticas descriptivas sobre la población y vivienda, sin incluir metodologías específicas para el cálculo de emisiones de CO₂.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), si bien presenta estudios de huella de carbono e informes sobre cambio climático, únicamente muestra resultados agregados de emisiones sin detallar:

- Los factores de emisión utilizados
- Las ecuaciones y variables consideradas en los cálculos
- Los procedimientos metodológicos paso a paso
- Las consideraciones técnicas para diferentes contextos o sectores

2. Ventajas del Uso de Estándares Internacionales:

- Proporcionan metodologías validadas y amplias ente aceptadas a nivel global
- Ofrecen factores de emisión estandarizados y actualizados
- Incluyen guías detalladas de procedimientos de cálculo
- Permiten la comparabilidad de resultados con otros estudios internacionales
- Brindan marcos de referencia completos que consideran diferentes variables y contextos

3. Implicaciones para la Investigación:

La adopción de metodologías internacionales no solo suple las carencias de información local, sino que también:

- Asegura la reproducibilidad del estudio.
- Garantiza la validez científica de los cálculos.
- Facilita la verificación de resultados.
- Permite la adaptación de los cálculos a contextos específicos.
- Contribuye a la estandarización de la medición es de emisiones en Guatemala.

Esta decisión metodológica fortalece la rigurosidad del estudio y permite establecer una base sólida para futuros trabajos de investigación en el área de medición de emisiones de CO₂ en el contexto guatemalteco.

Sección: Transporte

En esta sección se calcula la huella de carbono relacionada con el transporte, basándose en la distancia recorrida y el tipo de combustible utilizado para vehículos y motocicletas, así como el uso del transporte público.

Para vehículos y motocicletas, se multiplica la distancia recorrida por un factor de emisión específico dependiendo del tipo de combustible (Gasolina o Diesel).

Para el transporte público, se multiplica la distancia recorrida por un factor de emisión más bajo.

Sección: Viajes Aéreos

Aquí se calcula la huella de carbono relacionada con los viajes aéreos, considerando la distancia del vuelo, la clase de viaje y el peso del equipaje de mano y facturado.

La distancia del vuelo se multiplica por un factor de emisión específico según la clase de viaje seleccionada. El peso del equipaje de mano y facturado se multiplica por factores de emisión más bajos.

Sección: Energía

En esta sección se calcula la huella de carbono relacionada con el consumo de energía en kilovatios - hora (kWh), el uso de madera y gas.

El consumo de energía se multiplica por un factor de emisión específico. El uso de madera y gas se multiplica por factores de emisión más bajos.

Sección: Alimentación

Aquí se calcula la huella de carbono asociada con la dieta y el desperdicio de alimentos.

El consumo de carne, alimentos procesados, vegetales, frutas, granos y el desperdicio de alimentos se multiplica por factores de emisión específicos para cada tipo de alimento.

Sección: Vestimenta

En esta sección se calcula la huella de carbono relacionada con la producción de ropa, considerando el material y el peso de la ropa.

El peso de la ropa se multiplica por un factor de emisión específico según el material seleccionado.

Sección: Residuos y Desechos

Aquí se calcula la huella de carbono asociada con la gestión de residuos, dependiendo del tipo de residuo (orgánico, plástico, papel, vidrio, metal).

El peso de los residuos se multiplica por un factor de emisión específico según el tipo de residuo seleccionado.

12.2 Metodología de cálculo y fuentes internacionales

Las metodologías y factores de emisión utilizados en este trabajo se basan en estándares internacionales debido a una limitación importante en las fuentes nacionales: el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de Guatemala, si bien proporciona informes valiosos sobre la huella de carbono nacional, presenta únicamente resultados agregados sin detallar las metodologías de cálculo individual. Por esta razón, se recurrió a fuentes y estándares internacionalmente reconocidos para garantizar la precisión y confiabilidad de los cálculos.

Organismos Internacionales de referencia;

La metodología se fundamenta en los estándares establecidos por cuatro organismos internacionales principales:

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)
 - Principal referencia mundial para metodologías de cálculo de GEI.
 - Proporciona las directrices más actualizadas para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
2. GHG Protocol
 - Estándar internacional para el cálculo y reporte de emisiones.
 - Define los lineamientos para medición de emisiones directas e indirectas.
3. ISO 14064
 - Estándar internacional para la cuantificación de gases de efecto invernadero.
 - Establece especificaciones y directrices a nivel organizacional.
4. UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)
 - Provee metodologías estandarizadas para el cálculo de emisiones.
 - Define marcos de referencia para medición de impacto ambiental.

Factores de Emisión por Categoría;

Los factores de emisión utilizados para cada categoría se obtuvieron de las siguientes fuentes y se actualizaron según las publicaciones más recientes (2023):

1. Transporte
 - Gasolina: 0.0023 kg CO₂/km.
 - Diésel: 0.0027 kg CO₂/km.
 - Transporte público: 0.0001 kg CO₂/km /pasajero.

Fuentes: IPCC Transport Emission Factors Database, EPA Mobile Source Emission Factors

2. Viajes Aéreos
 - Clase Económica: 0.15 kg CO₂/km
 - Clase Ejecutiva: 0.30 kg CO₂/km
 - Primera Clase: 0.40 kg CO₂/km

Fuentes: ICAO Carbon Emissions Calculator, UK Government GHG Conversion Factors

3. Energía

- Electricidad: 0.2 kg CO₂/kWh.
- Leña: 0.015 kg CO₂/kg.
- Gas: 0.5 kg CO₂/lb.

Fuentes: IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion, GHG Protocol Stationary Combustion Tool

4. Alimentación

- Carne: 0.027 kg CO₂/lb.
- Alimentos procesados: 0.015 kg CO₂/lb.
- Vegetales/Frutas/Granos: 0.005 kg CO₂/lb.

Fuentes: FAO Food Waste Footprint & Climate Change, EPA Waste Reduction Model

5. Vestimenta

- Algodón: 0.4 kg CO₂/kg.
- Sintético: 2.1 kg CO₂/kg.
- Lana: 0.5 kg CO₂/kg.

Fuentes: Sustainable Apparel Coalition Higg Index, Textile Exchange Life Cycle Assessment Database

6. Residuos

- Orgánico: 0.01 kg CO₂/kg.
- Plástico: 2.0 kg CO₂/kg.
- Papel: 1.5 kg CO₂/kg.

Fuentes: World Bank What a Waste 2.0 Report, EPA WARM Documentation Metodología de Cálculo
La huella de carbono total se calcula mediante la siguiente fórmula general:

Huella de Carbono Total = Σ (cantidad de actividad \times factor de emisión correspondiente) Donde:

- Cantidad de actividad representa el valor medible (km, kg, kWh, etc.).
- Factor de emisión representa los kg CO₂ por unidad de actividad.

Todos los factores de emisión se actualizan anualmente según las publicaciones más recientes de las organizaciones mencionadas. Cuando es posible, estos factores se ajustan considerando las condiciones específicas de Guatemala, como la altitud promedio, las condiciones climáticas y los factores socioeconómicos locales.

La metodología empleada garantiza:

1. Precisión en los cálculos mediante el uso de factores internacionalmente validados
2. Consistencia con estándares globales de medición de huella de carbono
3. Adaptabilidad al contexto guatemalteco
4. Trazabilidad y verificabilidad de los resultados
5. Comparabilidad con estudios similares a nivel internacional

Este enfoque metodológico proporciona una base sólida y científica para el cálculo de la huella de carbono individual en Guatemala, permitiendo obtener resultados confiables y comparables a nivel internacional.

12.3 Limitaciones y Mejoras en los cálculos

Los cálculos actuales de la huella de carbono en EcoHuella presentan ciertas limitaciones que deben considerarse. Principalmente, se basan en factores de emisión internacionales que, aunque válidos, no están completamente adaptados al contexto guatemalteco. La precisión también se ve afectada por la dependencia de datos ingresados manualmente por los usuarios y las aproximaciones necesarias en las conversiones de unidades. Para mejorar estos aspectos, se propone incorporar factores de emisión específicos para Guatemala, implementar sistemas de medición automatizados mediante tecnologías IoT y medidores inteligentes, y expandir el alcance de las mediciones para incluir más categorías de emisiones. Estas mejoras permitirían obtener resultados más precisos y representativos de la realidad local, aunque requerirían una inversión significativa en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de medición.

12.4 Documentos adicionales y materiales de apoyo

Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE). (2018). Documentación del Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Extraído de: <https://censo2018.ine.gob.gt/documentacion>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (n.d.). Estudio de huella de carbono Guatemala 2020. Extraído de https://www.marn.gob.gt/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&ask=file.download&wpfd_category_id=109&wpfd_file_id=8974&token=&preview=1

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (n.d.). Informe sobre cambio climático y políticas de mitigación. Extraído de https://www.marn.gob.gt/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&ask=file.download&wpfd_category_id=109&wpfd_file_id=8973&token=&preview=1

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (n.d.). Informe sobre cambio climático y políticas de mitigación. Extraído de https://www.marn.gob.gt/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&ask=file.download&wpfd_category_id=109&wpfd_file_id=8973&token=&preview=

1. Acuerdo de París: Es un acuerdo global que busca limitar el calentamiento global por debajo de 2°C respecto a niveles preindustriales. Los países participantes deben presentar contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) para reducir sus huellas de carbono y contribuir al objetivo global.
2. Análisis de Ciclo de Vida (LCA): Es un enfoque integral que evalúa el impacto ambiental total de un producto o servicio a lo largo de todas las etapas de su vida, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. El LCA es fundamental para el cálculo preciso de la huella de carbono.
3. Análisis del Ciclo de Vida (LCA): Es una metodología utilizada para evaluar el impacto ambiental de un producto o servicio a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final. El LCA es fundamental para calcular la huella de carbono.
4. Balance de Carbono: Es el proceso de medir, monitorear y reducir las emisiones de carbono de una entidad, y en algunos casos, lograr la neutralidad de carbono, es decir, que las emisiones generadas se igualen con las compensadas o absorbidas.
5. CO₂ equivalente (CO₂e): Es una métrica que permite comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero en términos de su potencial de calentamiento global equivalente al dióxido de carbono, facilitando la comparación y agregación de emisiones.
6. CO₂e (Dióxido de Carbono Equivalente): Es una métrica utilizada para comparar las emisiones de varios gases de efecto invernadero en términos de su potencial de calentamiento global equivalente al dióxido de carbono. Permite agregar diferentes gases en una única medida, facilitando la estimación de la huella de carbono total.
7. Compensación de Carbono: Es una estrategia para neutralizar las emisiones de carbono invirtiendo en proyectos que reducen o eliminan las emisiones de GEI, como la reforestación o la energía renovable. Las organizaciones y personas pueden comprar créditos de carbono para compensar sus emisiones.
8. Energía Embebida: Se refiere a la cantidad de energía utilizada en la producción y transporte de un material o producto. Este concepto es importante en la huella de carbono porque las emisiones asociadas con la energía embebida contribuyen al impacto ambiental de un producto.
9. Gases de Efecto Invernadero (GEI): Son gases que atrapan el calor en la atmósfera terrestre, contribuyendo al efecto invernadero y al cambio climático. Los principales GEI incluyen el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), y gases fluorados.

10. Huella de Carbono (Carbon Footprint): Es la medida total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas directa o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto, generalmente expresada en toneladas de Kg CO₂ equivalente. Se utiliza para cuantificar el impacto ambiental asociado a diferentes actividades y decisiones humanas.

11. Neutralidad de Carbono: Se refiere a alcanzar un balance neto de cero emisiones de carbono, donde la cantidad de GEI emitidos es compensada completamente por la absorción o eliminación de carbono de la atmósfera, a menudo a través de proyectos de compensación de carbono.

12. Protocolo de Kioto: Es un tratado internacional que estableció compromisos legalmente vinculantes para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en los países industrializados. La huella de carbono es una herramienta importante para monitorear el cumplimiento de estos compromisos.

13. Protocolo GHG (Greenhouse Gas Protocol): Es un estándar internacional para contabilizar y reportar las emisiones de gases de efecto invernadero. Establece las directrices para la medición de las emisiones en los diferentes alcances (1, 2 y 3).

14. **Reducción de Carbono: Se refiere a las acciones y estrategias implementadas para disminuir la cantidad de emisiones de GEI, tanto a nivel individual como organizacional. Esto incluye el uso de tecnologías limpias, mejoras en la eficiencia energética, y cambios en el comportamiento.

15. Scope 1, 2 y 3 (Alcances 1, 2 y 3): Estos términos se refieren a las categorías de emisiones que las organizaciones deben reportar:

- Scope 1: Emisiones directas de fuentes controladas o poseídas por la organización, como vehículos instalaciones industriales.
- Scope 2: Emisiones indirectas de la energía comprada y consumida por la organización, como la electricidad.
- Scope 3: Emisiones indirectas que ocurren en la cadena de valor de la organización, incluyendo las emisiones de proveedores y el uso de productos por parte de los consumidores.