

---

# Aplicación móvil para la gestión de residuos y reducción de la huella de carbono

---

## Experiencia de usuario

---

Santiago Taracena Puga



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Aplicación móvil para la gestión de residuos y  
reducción de la huella de carbono**

**Experiencia de usuario**

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto Tecnológico  
presentado por  
Santiago Taracena Puga

Para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias  
de la Computación y Tecnologías de la Información

Vo.Bo.:

(f) \_\_\_\_\_  
Ing.

Tribunal Examinador:

(f) \_\_\_\_\_  
Ing.

(f) \_\_\_\_\_  
Ing.

(f) \_\_\_\_\_  
Ing.

Fecha de aprobación: Guatemala, 2024.

---

## Prefacio

---

La creciente preocupación por la producción desmedida de basura y su incorrecto procesamiento ha sido una constante en mi vida prácticamente desde que tengo memoria. Durante mi niñez y adolescencia, viví en la Isla de Flores, en Petén, rodeado de un lago que constantemente era el protagonista de campañas de limpieza de desechos que, en lugar de ser procesados correctamente, terminaban en el lago. Por situaciones como esta, desde mi niñez siempre estuve rodeado de mensajes positivos sobre el cuidado del medio ambiente, los recursos naturales y el procesamiento adecuado de la basura. Tanto ha sido el impacto que esta problemática ha tenido en mi forma de ver el mundo, que desde el primer curso de programación que llevamos en la carrera, la idea que mis amigos y yo tuvimos como primer proyecto fue una versión muy básica y temprana de lo que hoy en día estamos presentando como megaproyecto tecnológico: una aplicación que permita a sus usuarios gestionar sus residuos y reducir su huella de carbono.

La finalización de este megaproyecto tecnológico es un sueño hecho realidad para mí, y todo este trabajo no habría sido posible sin el invaluable apoyo de todas las personas que han aportado, directa o indirectamente, a este proyecto. Estoy eternamente agradecido con Dios por haberme dado el impulso, la fuerza, la curiosidad y la sabiduría necesarias para el desarrollo del proyecto. También estoy sumamente agradecido por el apoyo y orientación de mi asesor, el ingeniero Erick Marroquín, quien, con su experiencia y conocimientos, me proporcionó todo el respaldo y guía necesarios para llevar a cabo este proyecto. Agradezco también profundamente a mis compañeros de equipo en el megaproyecto tecnológico y grandes amigos a lo largo de estos años de carrera universitaria: Gabriel, Oscar, Pedro y Yong, cuyos aportes y colaboración han sido fundamentales en cada etapa del desarrollo del proyecto, y cuyas amistades han sido vitales para ser la persona que soy hoy en día. Extiendo igualmente mi gratitud a mi familia y amigos por su constante apoyo y ánimo incondicional, especialmente a mis padres, Jorge Mario y Aurora del Carmen, quienes son las personas más importantes en mi vida y a quienes estoy eternamente agradecido por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado.

Este viaje académico ha sido profundamente enriquecedor, no solo por los conocimientos adquiridos, sino también por las habilidades desarrolladas en el ámbito de la investigación, el diseño y el desarrollo de *software*. Espero que los hallazgos y soluciones presentados en este trabajo de graduación y megaproyecto tecnológico contribuyan de manera significativa a la gestión de residuos y a la concienciación sobre la importancia del reciclaje, marcando un paso hacia un futuro más sostenible.

---

## Agradecimientos

---

En esta sección, quiero expresar y extender mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido esenciales en la realización de este proyecto y en mi trayectoria académica. En primer lugar, me gustaría agradecer infinitamente a Dios por haberme brindado tanto mis fortalezas como mis debilidades, las cuales han sido clave no solo para mi formación académica y el desarrollo de este trabajo de graduación, sino también para mi desarrollo personal y profesional. Dios me ha dado el entusiasmo, el interés y la voluntad para llegar a donde estoy, y no podría estar más agradecido.

También agradezco al ingeniero Erick Marroquín, mi asesor, cuya guía, paciencia y experiencia fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo de graduación. Su apoyo constante, desde la concepción de la idea inicial hasta la conclusión de este trabajo, me proporcionó la confianza y los conocimientos necesarios para superar los desafíos que surgieron en el camino.

A mis compañeros de equipo y grandes amigos, Gabriel, Oscar, Pedro y Yong, les extiendo mi más sincero agradecimiento. Este proyecto no habría sido posible sin su colaboración, creatividad y compromiso. Juntos compartimos largas jornadas de trabajo, discusiones productivas y momentos de satisfacción que han dejado una huella imborrable en mi experiencia universitaria. Su amistad ha sido un pilar esencial en este proceso, y estoy profundamente agradecido por su compañerismo y apoyo incondicional.

Finalmente, agradezco a mi familia, en especial a mis padres, Jorge Mario y Aurora del Carmen. Ellos han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo a lo largo de mi vida. Su amor incondicional, sus palabras de aliento y su ejemplo de perseverancia y dedicación me han impulsado a alcanzar mis metas. Este trabajo es, en muchos sentidos, un reflejo de los valores que ellos me inculcaron y del constante apoyo que siempre me han brindado.

---

## Índice

---

<b>Prefacio</b>	<b>III</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IV</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de Cuadros</b>	<b>X</b>
<b>Resumen</b>	<b>XI</b>
<b>Abstract</b>	<b>XII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo General . . . . .	3
2.2. Objetivos Específicos . . . . .	3
<b>3. Justificación</b>	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
4.1. Problemática ambiental global y local . . . . .	5
4.1.1. Contextualización del problema de la gestión de residuos a nivel mundial y en Guatemala . . . . .	5
4.1.2. Impacto ambiental de la producción desmedida de basura y el incorrecto procesamiento de desechos . . . . .	6
4.1.3. Efecto invernadero y sus consecuencias sobre la salud humana, la flora y la fauna . . . . .	6
4.2. Gestión de residuos sólidos . . . . .	7
4.2.1. Tipos de residuos y su clasificación . . . . .	7
4.2.2. Métodos y prácticas actuales de reciclaje y gestión de residuos . . . . .	7
4.3. Reducción de la huella de carbono . . . . .	8
4.3.1. Concepto de huella de carbono y su relevancia en la crisis climática . . . . .	9
4.3.2. Estrategias para la reducción de la huella de carbono . . . . .	10
4.3.3. Relación entre la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono . . . . .	10
4.4. Tecnología y medio ambiente . . . . .	11
4.4.1. El papel de las tecnologías de la información en la promoción de prácticas sostenibles . . . . .	12
4.4.2. Uso de aplicaciones móviles para la educación y concientización ambiental . . . . .	12

4.5.	Diseño centrado en el usuario . . . . .	12
4.5.1.	Conceptos y principios del diseño centrado en el usuario . . . . .	13
4.5.2.	Importancia de la experiencia de usuario (UX) en el éxito de aplicaciones móviles	13
4.5.3.	Metodologías de diseño de experiencia de usuario aplicadas en proyectos tecnológicos . . . . .	14
4.6.	Experiencia de usuario . . . . .	14
4.6.1.	Usabilidad en aplicaciones móviles . . . . .	15
4.6.2.	Diseño de interfaces móviles . . . . .	15
4.6.3.	<i>Feedback</i> del usuario . . . . .	16
4.6.4.	Evaluación de la experiencia del usuario (UX) . . . . .	16
4.7.	Técnicas de recopilación de información y muestreo . . . . .	17
4.7.1.	Técnicas de recopilación de información . . . . .	17
4.7.2.	Técnicas de muestreo . . . . .	17
4.7.3.	Validez y confiabilidad . . . . .	18
4.7.4.	Muestreo probabilístico . . . . .	18
4.7.5.	Muestreo no probabilístico . . . . .	19
4.7.6.	Tamaño de la muestra . . . . .	20
4.7.7.	Validez y confiabilidad . . . . .	20
4.8.	Prototipado y herramientas . . . . .	21
4.8.1.	Tipos de prototipado . . . . .	21
4.8.2.	Prototipado de baja fidelidad . . . . .	21
4.8.3.	Prototipado de alta fidelidad . . . . .	21
4.8.4.	Prototipado interactivo . . . . .	22
4.8.5.	Proceso de iteración con herramientas . . . . .	22
4.9.	Desarrollo de aplicaciones móviles . . . . .	23
4.9.1.	Lenguajes de programación . . . . .	23
4.9.2.	<i>Frameworks</i> y herramientas de desarrollo . . . . .	23
4.9.3.	Desarrollo <i>frontend</i> y <i>backend</i> . . . . .	24
4.9.4.	<i>Application Programming Interface</i> (API) . . . . .	24
4.9.5.	Pruebas unitarias . . . . .	25
4.10.	Evaluación y métricas de impacto . . . . .	25
4.10.1.	Indicadores de rendimiento clave . . . . .	25
4.10.2.	Métricas de usabilidad . . . . .	26
4.10.3.	Métodos de validación . . . . .	26
<b>5.</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>27</b>
5.1.	Estudios relacionados . . . . .	27
5.1.1.	Aplicaciones móviles para fomentar el reciclaje en la comunidad . . . . .	27
5.1.2.	Experiencia de usuario en aplicaciones para la reducción de la huella de carbono	28
5.1.3.	Estudio sobre la gamificación y la UX en aplicaciones de sostenibilidad . . . . .	28
<b>6.</b>	<b>Alcance</b>	<b>29</b>
<b>7.</b>	<b>Metodología</b>	<b>30</b>
7.1.	Enfoque metodológico . . . . .	31
7.2.	Diseño del estudio . . . . .	31
7.3.	Asesoría con la Municipalidad de Guatemala . . . . .	32
7.3.1.	Asesoría para la definición del alcance de la aplicación . . . . .	32
7.4.	Definición de usuarios . . . . .	33
7.5.	Población y muestra . . . . .	35
7.6.	Investigación de usuarios . . . . .	36
7.6.1.	Encuesta de conocimiento y comportamiento actual sobre gestión de residuos	37
7.6.2.	Encuesta de necesidades y expectativas sobre la aplicación . . . . .	37
7.7.	Prototipado de la solución . . . . .	38

7.7.1. Encuestas sobre el prototipo de la solución . . . . .	39
7.7.2. Resumen de los cambios realizados en cada iteración . . . . .	39
7.8. Desarrollo de la interfaz gráfica de la aplicación . . . . .	41
7.8.1. Priorización de funcionalidades . . . . .	43
7.9. Evaluación final a la aplicación funcional . . . . .	43
<b>8. Resultados</b>	<b>44</b>
8.1. Investigación inicial de usuarios . . . . .	44
8.1.1. Resultados de la investigación sobre conocimientos y comportamientos actuales sobre la gestión de residuos de los usuarios . . . . .	44
8.1.2. Resultados de la investigación sobre necesidades y expectativas de los usuarios sobre la aplicación . . . . .	51
8.2. Desarrollo iterativo del prototipo . . . . .	54
8.2.1. Resultados de la primera iteración del prototipo . . . . .	54
8.2.2. Resultados de la segunda iteración del prototipo . . . . .	55
8.2.3. Resultados de la tercera iteración del prototipo . . . . .	56
8.3. Evaluación final a la aplicación funcional . . . . .	57
<b>9. Análisis de resultados</b>	<b>59</b>
9.1. Usuarios identificados . . . . .	59
9.1.1. Resultados demográficos sobre los usuarios identificados . . . . .	59
9.1.2. Resultados sobre conocimientos y comportamientos sobre la gestión de residuos . . . . .	60
9.1.3. Resultados sobre necesidades y expectativas de los usuarios sobre la aplicación . . . . .	61
9.2. Prototipado iterativo . . . . .	61
9.2.1. Primera iteración del prototipo . . . . .	61
9.2.2. Segunda iteración del prototipo . . . . .	62
9.2.3. Tercera iteración del prototipo . . . . .	62
9.3. Evaluación final a la aplicación . . . . .	63
<b>10. Conclusiones</b>	<b>64</b>
<b>11. Recomendaciones</b>	<b>66</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>73</b>
<b>Anexos</b>	<b>74</b>
<b>A. Encuesta sobre conocimientos y comportamientos actuales sobre la gestión de residuos</b>	<b>74</b>
<b>B. Encuesta sobre necesidades y expectativas de los potenciales usuarios sobre la aplicación</b>	<b>77</b>
<b>C. Código para análisis de datos</b>	<b>80</b>
<b>D. Especificaciones del Samsung Galaxy S24</b>	<b>81</b>
<b>E. Especificaciones de Tobii <i>Eye Tracker</i> 5</b>	<b>83</b>

---

## Lista de Figuras

---

4.1. Composición general de los residuos y desechos sólidos comunes en Guatemala (Rodríguez, 2023) . . . . .	6
4.2. Tipos y clasificación de residuos (Lone and Buchh, 2019) . . . . .	8
4.3. Diagrama sobre el concepto de huella de carbono y su relevancia (Ramakrishna et al., 2022) . . . . .	10
4.4. Diagrama de las fases del diseño centrado en el usuario . . . . .	13
4.5. Diagrama sobre la metodología y flujo de trabajo de <i>design thinking</i> (Gibbons, 2024)	15
4.6. Ejemplo de prototipado de baja fidelidad en formato de <i>wireframe</i> . . . . .	22
4.7. Ejemplo de prototipado de alta fidelidad desarrollado en Figma . . . . .	22
 7.1. Diagrama de resumen de los pasos del proyecto . . . . .	31
7.2. Asesorías con la Municipalidad de manera remota . . . . .	32
7.3. Distribución poblacional en Guatemala el año 2020 (PopulationPyramid.net, 2020) .	33
7.4. Mapa de empatía de un estudiante respecto al tema de reciclaje y gestión de residuos	35
7.5. Agregación de una pantalla de configuración de direcciones durante la primera iteración del prototipo . . . . .	39
7.6. Mejoras en la pantalla de configuración de información de los usuarios . . . . .	40
7.7. Cambios en la paleta de colores para indicar acciones importantes . . . . .	40
7.8. Pantallas de la aplicación en desarrollo . . . . .	42
 8.1. Resultados a la pregunta: ¿Cuál es tu rango de edad? . . . . .	45
8.2. Resultados a la pregunta: ¿En qué municipio vives? . . . . .	45
8.3. Resultados a la pregunta: ¿Cuál es tu nivel educativo? . . . . .	45
8.4. Resultados a la pregunta: ¿Cuánto sabes sobre la clasificación de residuos? . . . . .	46
8.5. Resultados a la pregunta: ¿Sabes identificar los diferentes tipos de residuos (orgánicos, reciclables, peligrosos, etc.)? . . . . .	46
8.6. Resultados a la pregunta: ¿Estás familiarizado/a con los símbolos de reciclaje en los productos? . . . . .	46
8.7. Resultados a la pregunta: ¿Conoces las políticas locales de gestión de residuos en tu comunidad? . . . . .	47
8.8. Resultados a la pregunta: ¿Sabes a dónde va la basura que produces? . . . . .	47
8.9. Resultados a la pregunta: ¿Con qué frecuencia reciclas? . . . . .	47
8.10. Resultados a la pregunta: ¿Tienes un sistema de clasificación de residuos en tu hogar? .	48
8.11. Resultados a la pregunta: ¿Qué tipo de residuos clasificas regularmente? . . . . .	48
8.12. Resultados a la pregunta: ¿Utilizas alguna aplicación o recurso digital para ayudarte en la gestión de residuos? . . . . .	48

8.13. Resultados a la pregunta: ¿Qué es lo más desafiante al momento de gestionar tus recursos? . . . . .	49
8.14. Resultados a la pregunta: ¿Has recibido alguna educación formal o informal sobre la gestión de residuos? . . . . .	49
8.15. Resultados a la pregunta: ¿Qué tan importante crees que es reciclar y gestionar los residuos correctamente? . . . . .	49
8.16. Resultados a la pregunta: ¿Crees que gestionar bien los residuos puede tener un impacto positivo en el medio ambiente? . . . . .	50
8.17. Resultados a la pregunta: ¿Estarías dispuesto/a a cambiar tus hábitos de consumo si supieras que reduce tu huella de carbono? . . . . .	50
8.18. Resultados a la pregunta: ¿Qué funcionalidades te gustaría que tuviera una aplicación de gestión de residuos? . . . . .	51
8.19. Resultados a la pregunta: ¿Qué tipo de información te gustaría recibir de la aplicación? . . . . .	51
8.20. Resultados a la pregunta: ¿Qué te motivaría a usar una aplicación de gestión de residuos regularmente? . . . . .	51
8.21. Resultados a la pregunta: ¿Qué tan importante es para ti que la aplicación sea fácil de usar? . . . . .	52
8.22. Resultados a la pregunta: ¿Cómo preferirías que la aplicación te notificara sobre la gestión de tus residuos? . . . . .	52
8.23. Resultados a la pregunta: ¿Qué tan importante es la personalización en la experiencia de la aplicación? . . . . .	52
8.24. Resultados a la pregunta: ¿Qué te parecería más útil en una aplicación móvil? . . . . .	53
8.25. Resultados a la pregunta: ¿Qué tan importante es para ti que la aplicación tenga un diseño visualmente atractivo? . . . . .	53
8.26. Resultados a la pregunta: ¿Qué dispositivo usarías principalmente para acceder a la aplicación? . . . . .	53
8.27. Resultados de las calificaciones de la primera iteración del prototipo . . . . .	54
8.28. Resultados de las calificaciones de la primera iteración del prototipo . . . . .	55
8.29. Resultados de las calificaciones de la primera iteración del prototipo . . . . .	56
8.30. Resultados del <i>eye tracking</i> en pantallas como la principal y la de configuración de perfil . . . . .	58
A.1. Introducción a la encuesta sobre conocimientos y comportamientos actuales sobre la gestión de residuos . . . . .	74
A.2. Sección de información demográfica de la encuesta . . . . .	75
A.3. Sección de conocimientos sobre gestión de residuos de la encuesta . . . . .	75
A.4. Sección de comportamiento actual sobre gestión de residuos de la encuesta . . . . .	75
A.5. Sección de actitudes y percepciones sobre gestión de residuos de la encuesta . . . . .	76
A.6. Sección de comentarios y sugerencias de la encuesta . . . . .	76
A.7. Sección de agradecimientos de la encuesta . . . . .	76
B.1. Introducción a la encuesta sobre necesidades y expectativas de los potenciales usuarios . . . . .	77
B.2. Sección de información demográfica de la encuesta . . . . .	77
B.3. Sección de conocimientos sobre gestión de residuos de la encuesta . . . . .	78
B.4. Sección de comportamiento actual sobre gestión de residuos de la encuesta . . . . .	78
B.5. Sección de actitudes y percepciones sobre gestión de residuos de la encuesta . . . . .	78
B.6. Sección de comentarios y sugerencias de la encuesta . . . . .	79

---

## Lista de Cuadros

---

4.1. Resumen sobre métodos y prácticas actuales de reciclaje y gestión de residuos . . . . .	9
4.2. Estrategias para la reducción de la huella de carbono . . . . .	11
4.3. Resumen de conceptos y principios del diseño centrado en el usuario . . . . .	14
4.4. Técnicas de recopilación de información y muestreo . . . . .	18
4.5. Resumen de conceptos en el desarrollo de aplicaciones móviles . . . . .	24
7.1. Perfiles de Usuarios . . . . .	34
7.2. Comparativa de herramientas de diseño para prototipos. . . . .	38
7.3. Comparativa de tecnologías para desarrollo móvil . . . . .	41
8.1. Comentarios y retroalimentación sobre la primera iteración del prototipo . . . . .	55
8.2. Comentarios y retroalimentación sobre la segunda iteración del prototipo . . . . .	56
8.3. Comentarios y retroalimentación sobre la tercera iteración del prototipo . . . . .	57
8.4. Resultados de las pruebas de usabilidad . . . . .	57

---

## Resumen

---

El presente proyecto se centra en abordar uno de los problemas más críticos de la actualidad: la producción excesiva de basura y su incorrecto procesamiento, los cuales agravan la contaminación ambiental y ponen en riesgo la salud de la población, así como de la flora y fauna del planeta. En respuesta a esta problemática, se propone una solución innovadora mediante el desarrollo de una aplicación móvil funcional en múltiples plataformas que facilita la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono para los usuarios.

La aplicación está diseñada para asistir a los usuarios en la correcta gestión y clasificación de residuos, resolver dudas sobre el proceso de reciclaje y permitir la observación de tendencias en el consumo personal de basura. Las funcionalidades clave de la aplicación incluyen gráficos en tiempo real que muestran el consumo de basura y proyecciones del mismo, un registro diario de la basura generada tanto en total como por elemento individual, y una guía interactiva que ayuda a los usuarios a clasificar los desechos de manera adecuada utilizando modelos generativos de inteligencia artificial. Estas características tienen como objetivo fomentar un consumo responsable y reducir la producción de desechos, contribuyendo así a la mitigación de la contaminación ambiental.

Este módulo del megaproyecto se centra en la experiencia de usuario, un aspecto crítico en el desarrollo de productos digitales que busca crear experiencias significativas y relevantes para los usuarios. La experiencia de usuario implica el diseño integral del proceso de adquisición e integración del producto, abarcando aspectos de marca y usabilidad. Por lo tanto, el objetivo principal de este módulo es diseñar y desarrollar una experiencia de usuario que no solo cumpla con las mejores prácticas y expectativas de la base de usuarios esperada, sino que también fomente activamente el uso de la aplicación para maximizar su impacto positivo.

---

## Abstract

---

This project focuses on addressing one of today's most critical problems: the excessive production of waste and its improper processing, which aggravate environmental pollution and endanger the health of the population, as well as the planet's flora and fauna. In response to this problem, an innovative solution is proposed through the development of a cross-platform mobile application that facilitates waste management and carbon footprint reduction for users.

The application is designed to assist users in the correct management and sorting of waste, resolve doubts about the recycling process and allow the observation of trends in personal waste consumption. Key functionalities of the application include real-time graphs showing waste consumption and projections of waste consumption, a daily log of waste generated both in total and by individual item, and an interactive guide that helps users sort waste properly using generative artificial intelligence models. These features aim to encourage responsible consumption and reduce waste production, thus contributing to the mitigation of environmental pollution.

This module of the project focuses on user experience, a critical aspect in the development of digital products that seeks to create meaningful and relevant experiences for users. User experience involves the integral design of the product acquisition and integration process, encompassing branding and usability aspects. Therefore, the main objective of this module is to design and develop a user experience that not only meets the best practices and expectations of the expected user base, but also actively encourages the use of the application to maximize its positive impact.

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

---

En la actualidad, uno de los principales problemas que deberían preocuparnos como civilización es la producción desmedida de basura y su incorrecto procesamiento, que a su vez complica el estado en el que se encuentra La Tierra, el planeta en el que vivimos (Collins, 2019). Problemas ambientales como el efecto invernadero, y problemas relacionados a la salud de tanto la población como la flora y la fauna del planeta son situaciones contraproducentes que tienen como origen la abundante contaminación que existe hoy en día (World Health Organization, 2023).

Una solución sumamente viable que existe para el problema de la contaminación y producción desmedida de basura mencionado anteriormente es reciclar toda esta basura producida (Mwanza, 2021). El problema que existe en reciclar como acción que debemos realizar como población humana consiste en que es una actividad que debe tener cierto nivel de organización y cultura, lo cual puede llegar a ser un inconveniente para gran parte de la población mundial, especialmente en países como Guatemala (Rodas, 2020).

Con la problemática anterior en cuenta, nuestro equipo de trabajo de megaproyecto partió de una simple pregunta: “¿Cómo podemos hacer que reciclar sea más fácil para todo público?”. La pregunta puede ser un poco más complicada de lo que parece, pero consideramos que la respuesta a la cual hemos podido llegar es bastante acertada, y a su vez una solución viable para la problemática planteada.

Nuestra propuesta consiste en una aplicación móvil multiplataforma que tenga múltiples funcionalidades que permitan a sus usuarios clasificar basura correctamente, resolver dudas sobre el proceso, y observar tendencias en su consumo de basura personal con el objetivo de recomendar y prevenir un exceso de deshechos producidos, y de esta manera cumplir con los objetivos que se plantean a continuación para el proyecto.

La aplicación diseñada para promover el consumo responsable y el reciclaje permitirá a los usuarios registrarse e iniciar sesión para acceder a múltiples funcionalidades. Entre estas se incluirán gráficos en tiempo real que mostrarán el consumo de basura y proyecciones del mismo para los usuarios, registro diario de la basura generada, ya sea en total o por elemento individual, con la finalidad de alimentar los datos necesarios para el funcionamiento óptimo de los gráficos de consumo de basura. Además, la aplicación ofrecerá una guía interactiva para ayudar a los usuarios a clasificar correctamente los desechos, haciendo uso de modelos generativos de inteligencia artificial, facilitando así una gestión más eficiente y consciente del reciclaje.

El módulo presente del megaproyecto es el módulo de experiencia de usuario. La experiencia de usuario es el proceso que utilizan los equipos de diseño para crear productos que proporcionen experiencias significativas y relevantes a los usuarios (Hassenzahl, 2018). Este implica el diseño de todo el proceso de adquisición e integración del producto, incluidos aspectos de marca y usabilidad. Por esa razón, el presente módulo de megaproyecto de graduación tiene como objetivo diseñar y desarrollar una experiencia de usuario que fomente el uso de la solución a desarrollar y cumpla las mejores prácticas y expectativas de la base de usuarios esperada.

# CAPÍTULO 2

---

## Objetivos

---

### 2.1. Objetivo General

Abordar la problemática de la producción desmedida de basura y su incorrecto procesamiento, a través del diseño iterativo, desarrollo y evaluación de una aplicación móvil efectiva.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar una interfaz de usuario intuitiva y atractiva para la aplicación móvil, basada en las mejores prácticas de diseño centrado en el usuario y adaptada a las necesidades y preferencias de la audiencia objetivo investigada.
- Desarrollar la interfaz gráfica de la aplicación móvil, priorizando aquellas funcionalidades que tengan un impacto directo en la reducción de residuos y la promoción de prácticas sostenibles.
- Evaluar la efectividad y la usabilidad de la aplicación mediante pruebas piloto con un grupo seleccionado de usuarios, así como a través de encuestas de satisfacción y retroalimentación cualitativa.

## CAPÍTULO 3

---

### Justificación

---

La creación de una aplicación móvil destinada a la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono responde a la necesidad imperante de abordar de manera efectiva uno de los mayores desafíos contemporáneos, el cual es la crisis ambiental (Reynosa Navarro, 2015). El desarrollo de la aplicación móvil detallada con anterioridad se justifica en primer lugar por la urgente necesidad de generar un proceso de concientización a la población sobre la importancia del reciclaje y la reducción de residuos que afectan la salud del medio ambiente y el planeta en general (Sáez and Urdaneta, 2014).

Además, la aplicación se fundamenta en el potencial transformador de la tecnología de la información para conseguir generar un cambio positivo en la sociedad. En un mundo cada vez más digitalizado y en el que las herramientas de la tecnología de la información adquieren un rol cada vez más indispensable, el uso de dispositivos móviles se ha convertido en una parte integral de nuestra vida cotidiana, ofreciendo una plataforma ideal para difundir mensajes educativos y promover comportamientos responsables (Nair, 2023). La aplicación aprovecha esta tendencia al proporcionar una experiencia de usuario atractiva y personalizada que motive a los usuarios a comprometerse con prácticas más sostenibles.

Asimismo, la justificación de este proyecto radica en su enfoque holístico hacia la gestión de residuos, que va más allá del acto de reciclar. Reconociendo la complejidad del problema, la aplicación aborda aspectos relacionados con la producción, consumo y eliminación de residuos, ofreciendo soluciones que abarcan desde la educación ambiental hasta la monitorización del progreso individual. Al integrar funciones importantes como la recolección de datos de consumo diario de basura y la orientación sobre la clasificación adecuada de residuos, la aplicación busca generar un impacto positivo en la reducción de la huella de carbono de los usuarios.

La importancia del desarrollo del proyecto y su justificación hacen énfasis en que el mismo proyecto es una solución a una problemática grave que, para marcar un cambio, requiere de una gran base de usuarios que hagan uso de la misma. Por esta razón, el módulo de experiencia de usuario es sumamente importante. Es necesario garantizar una solución que tome en cuenta todas las necesidades de la gran variedad de usuarios potenciales que el proyecto posee, por lo que el módulo de experiencia de usuario tiene la responsabilidad de cumplir con un estudio y desarrollo de una solución que cumpla con las necesidades que estos usuarios tienen. La existencia del presente módulo de experiencia de usuario tiene como objetivo garantizar no sólo el correcto funcionamiento del proyecto en su parte más visual, sino también cumplir con el mejor diseño posible para que la base de usuarios de la solución tengan justificaciones para utilizar la misma.

# CAPÍTULO 4

---

Marco Teórico

---

## 4.1. Problemática ambiental global y local

La problemática ambiental es una cuestión crítica que afecta a nivel global y local en Guatemala, con implicaciones en la sostenibilidad del planeta y la calidad de vida de la población. A nivel global, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación de los océanos son algunos de los principales desafíos. Estos problemas han aumentado por actividades como la deforestación, la quema de combustibles y la sobreexplotación de los recursos naturales, lo que ha resultado en un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y en la degradación de los ecosistemas. Según la Organización de las Naciones Unidas, el calentamiento global podría aumentar 1,5°C entre 2030 y 2052 si no se toman medidas para reducir las emisiones, lo que desencadenaría eventos climáticos extremos y afectaría gravemente la biodiversidad y las economías globales (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018). En el ámbito local, las problemáticas ambientales están vinculadas a las condiciones socioeconómicas de cada región. En muchas comunidades, la contaminación, la deforestación y la mala gestión de residuos son desafíos persistentes. Estos problemas se ven agravados por la urbanización descontrolada y la falta de infraestructura adecuada. En América Latina, por ejemplo, la deforestación en la Amazonía continúa siendo una preocupación central, ya que no solo afecta al clima global, sino que también tiene impactos directos en las comunidades indígenas y en la biodiversidad local (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020).

### 4.1.1. Contextualización del problema de la gestión de residuos a nivel mundial y en Guatemala

La gestión de residuos es un desafío ambiental global, intensificado por el crecimiento poblacional, la urbanización y el aumento en la generación de desechos. A nivel mundial, se estima que se generan 2.01 mil millones de toneladas de residuos sólidos urbanos al año, de los cuales solo el 19 % es reciclado o compostado, mientras que el resto termina en vertederos o es mal gestionado, lo que tiene impactos graves en el medio ambiente y la salud pública (World Bank, 2018). En Guatemala, la situación de la gestión de residuos refleja tanto los desafíos globales como problemáticas locales específicas. El país enfrenta un crecimiento sostenido en la generación de residuos, con una estimación de 2.1 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos al año, de las cuales más del 50 % son orgánicos y solo una fracción mínima es reciclada (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, 2016).

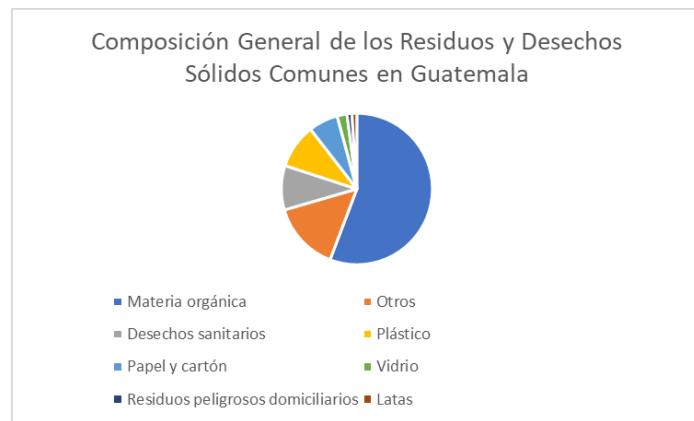


Figura 4.1: Composición general de los residuos y desechos sólidos comunes en Guatemala (Rodríguez, 2023)

#### **4.1.2. Impacto ambiental de la producción desmedida de basura y el incorrecto procesamiento de desechos**

La producción desmedida de basura y el incorrecto procesamiento de desechos tienen efectos devastadores en el medio ambiente. La acumulación de residuos en vertederos y su incineración ineficiente liberan grandes cantidades de metano y dióxido de carbono, contribuyendo significativamente al cambio climático (Hoornweg and Bhada-Tata, 2012). Además, los desechos plásticos, que representan una gran parte de los residuos mal gestionados, terminan en los océanos, donde afectan a la fauna marina, contaminan el agua y entran en la cadena alimentaria, lo que tiene repercusiones tanto ecológicas como para la salud humana (Jambeck et al., 2015).

En el contexto urbano, la mala gestión de los residuos sólidos puede llevar a la contaminación del suelo y del agua subterránea, lo que a su vez afecta la salud pública. Los lixiviados de vertederos mal gestionados contienen sustancias tóxicas que pueden filtrarse en el suelo y contaminar fuentes de agua, afectando no solo a los ecosistemas, sino también a las comunidades humanas que dependen de estas fuentes para consumo (Al-Khatib et al., 2010).

#### **4.1.3. Efecto invernadero y sus consecuencias sobre la salud humana, la flora y la fauna**

El efecto invernadero es un fenómeno natural esencial para mantener la temperatura de la Tierra en niveles habitables, pero su intensificación debido a las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, ha provocado un aumento significativo en las concentraciones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ). Este incremento está directamente relacionado con el calentamiento global, que tiene graves consecuencias para la salud humana, la flora y la fauna (Smith et al., 2014). El cambio climático derivado del efecto invernadero intensificado ha aumentado la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, como olas de calor y tormentas, que afectan la salud humana al aumentar el riesgo de enfermedades relacionadas con el calor, problemas respiratorios y enfermedades transmitidas por vectores (Watts et al., 2018).

Además, el cambio climático influenciado por el efecto invernadero está alterando los hábitats de muchas especies, lo que lleva a la migración, el cambio en los patrones de reproducción y, en algunos casos, la extinción de especies que no pueden adaptarse a las nuevas condiciones (Parmesan and Yohe, 2003). Las plantas y los animales están experimentando cambios en sus ciclos de vida,

como la floración temprana y la migración anticipada, lo que puede desestabilizar los ecosistemas y afectar la biodiversidad global.

## 4.2. Gestión de residuos sólidos

La gestión de residuos sólidos es un reto bastante complejo que abarca aspectos técnicos, económicos y sociales, y busca que los materiales generados por la población sean procesados adecuadamente tras su uso. A nivel global, la producción de residuos ha crecido considerablemente debido al aumento poblacional, la urbanización y el desarrollo económico, lo cual sobrecarga los sistemas de manejo y gestión de residuos sólidos existentes actualmente (Tchobanoglou and Kreith, 2002). Si bien enfoques tradicionales como el uso de vertederos e incineración de los residuos producidos siguen presentes, hoy en día se opta por alternativas sostenibles como la reducción en la fuente, el reciclaje, el compostaje y la valorización energética, que reducen el impacto ambiental y promueven el aprovechamiento de recursos (Johannessen and Boyer, 1999). En países en desarrollo, lamentablemente, la problemática se ve agravada y los esfuerzos de gestión de residuos se ven limitados por la falta de fondos, infraestructura y cumplimiento de normativas, y la informalidad en el manejo de residuos lleva a problemas como vertederos no controlados y mayores riesgos para la salud pública y el medio ambiente (Zerbock, 2003).

### 4.2.1. Tipos de residuos y su clasificación

Los residuos generados por la población pueden clasificarse de varias maneras según múltiples factores y características de los mismos, dependiendo de su origen, composición y peligrosidad. Según la Organización Mundial de la Salud, los residuos se dividen comúnmente en residuos municipales, industriales, biomédicos, electrónicos y peligrosos, cada uno con características y requerimientos de manejo específicos al momento de pasar a ser residuos en lugar de materiales utilizables (World Health Organization, 2018).

Los residuos municipales provienen de hogares, comercios e instituciones e incluyen tanto materiales orgánicos, como restos de alimentos, como inorgánicos, tales como plásticos y metales. Los residuos industriales, generados en procesos manufactureros, suelen contener sustancias químicas y requieren manejo especializado (United Nations Environment Programme, 2019). En el ámbito de la salud, los residuos biomédicos producidos en hospitales y laboratorios contienen agentes patógenos con potencial riesgo sanitario. Los residuos electrónicos, cuya relevancia ha crecido con el auge tecnológico, abarcan dispositivos como móviles y electrodomésticos, conteniendo metales pesados y toxinas que exigen una disposición adecuada (Baldé et al., 2020). Finalmente, los residuos peligrosos, incluyendo materiales radiactivos y tóxicos, representan serios riesgos ambientales y para la salud, exigiendo un manejo específico (European Environment Agency, 2021).

### 4.2.2. Métodos y prácticas actuales de reciclaje y gestión de residuos

Los métodos y prácticas actuales de reciclaje y gestión de residuos han avanzado considerablemente en las últimas décadas, con un enfoque creciente en la sostenibilidad y la promoción de la economía circular. Entre las principales prácticas de reciclaje se destacan la separación en la fuente, el reciclaje mecánico y el reciclaje químico. La separación en la fuente es crucial para mejorar la eficiencia del reciclaje, ya que permite la recolección de materiales más limpios y menos contaminados, lo que optimiza la calidad del material reciclado y reduce los costos de procesamiento. El reciclaje mecánico, ampliamente utilizado para materiales como plásticos, vidrio y metales, transforma los residuos en nuevos productos, aunque enfrenta limitaciones debido a la degradación de la calidad

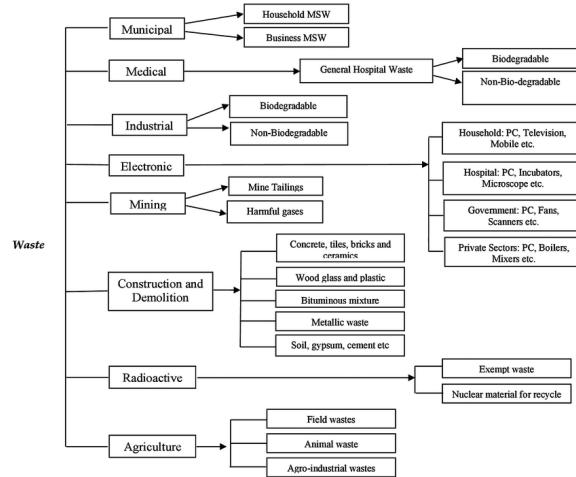


Figura 4.2: Tipos y clasificación de residuos (Lone and Buchh, 2019)

del material tras varios ciclos de reciclaje. Por otro lado, el reciclaje químico emerge como una solución innovadora, descomponiendo los polímeros a nivel molecular para generar materiales de calidad similar al original, lo que permite superar las restricciones del reciclaje mecánico (Hopewell et al., 2009; Singh and Sharma, 2020).

En términos de gestión de residuos, se han adoptado enfoques integrados que combinan diversas estrategias para reducir el impacto ambiental. Estas incluyen la reducción en la fuente, el reciclaje, el compostaje y la valorización energética mediante la incineración controlada. Las plantas de incineración modernas, equipadas con tecnologías avanzadas de control de emisiones, permiten la generación de energía a partir de residuos con un impacto ambiental relativamente bajo. Asimismo, el compostaje ha cobrado importancia como una práctica sostenible para gestionar residuos orgánicos, transformando restos de alimentos y residuos de jardín en compost, un producto valioso para la mejora de suelos agrícolas (Matsakas et al., 2017). Estas estrategias integradas buscan no solo minimizar la cantidad de residuos que llegan a vertederos, sino también aprovecharlos como recursos, contribuyendo así a una gestión más sostenible y eficiente.

### 4.3. Reducción de la huella de carbono

La reducción de la huella de carbono se refiere al conjunto de acciones y estrategias implementadas para disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono, que una persona, empresa o actividad emite a la atmósfera. La huella de carbono incluye tanto las emisiones directas, como las provenientes del uso de combustibles fósiles en el transporte o la energía, como las emisiones indirectas, que resultan de los productos y servicios que consumimos, desde la producción de alimentos hasta la manufactura industrial (Wright et al., 2011).

Existen diversas formas de reducir la huella de carbono, que van desde el uso de energías renovables, la implementación de tecnologías más eficientes, hasta cambios en el comportamiento individual, como reducir el consumo de carne o utilizar medios de transporte más sostenibles. El concepto de huella de carbono se ha convertido en un criterio clave en políticas de sostenibilidad y en la responsabilidad social corporativa de muchas empresas (Hedayati and Li, 2021). A nivel individual, se promueve la adopción de hábitos como la reducción del consumo de energía, el reciclaje y la disminución del uso de plásticos de un solo uso (Owen and Kemp, 2020). Asimismo, la tecnología ha jugado un papel importante, con el desarrollo de aplicaciones móviles que permiten a los usuarios monitorear y controlar su impacto ambiental (Kammer and Knaus, 2022). En el contexto global, los

Método/Práctica	Descripción
<b>Separación en la fuente</b>	Consiste en clasificar los residuos en su origen, facilitando la recolección de materiales más limpios y menos contaminados, lo que mejora la calidad del material reciclado y optimiza los procesos de reciclaje.
<b>Reciclaje mecánico</b>	Transformación física de materiales reciclables en nuevos productos. Es comúnmente utilizado para materiales como plásticos, vidrio y metales. Uno de sus desafíos es la degradación del material tras múltiples ciclos de reciclaje.
<b>Reciclaje químico</b>	Descomposición de polímeros a nivel molecular para reconstruirlos, generando materiales de calidad similar al original. Este método evita la degradación del material que ocurre con el reciclaje mecánico.
<b>Reducción en la fuente</b>	Estrategia de gestión de residuos que busca minimizar la generación de residuos desde el punto de origen, disminuyendo así el volumen de residuos que requiere ser gestionado posteriormente.
<b>Compostaje</b>	Conversión de residuos orgánicos (restos de alimentos, residuos de jardín) en compost, una enmienda valiosa para suelos agrícolas, promoviendo una gestión sostenible de los residuos orgánicos.
<b>Valorización energética</b>	Generación de energía mediante la incineración controlada de residuos. Las plantas de incineración modernas emplean tecnologías avanzadas de control de emisiones, lo que reduce el impacto ambiental asociado a la gestión de residuos.

Tabla 4.1: Resumen sobre métodos y prácticas actuales de reciclaje y gestión de residuos

esfuerzos para reducir la huella de carbono están alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, particularmente el ODS 13, que busca tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos (Muller, 2022).

#### 4.3.1. Concepto de huella de carbono y su relevancia en la crisis climática

La huella de carbono es una medida que calcula la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por una actividad, individuo, organización o país, expresada generalmente en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Este concepto se ha vuelto central en la discusión sobre la crisis climática, ya que permite cuantificar el impacto de diversas actividades humanas en el calentamiento global, facilitando así la identificación de las áreas en las que es posible reducir las emisiones de GEI (Wiedmann and Minx, 2008). La relevancia de la huella de carbono radica en su capacidad para sensibilizar tanto a individuos como a organizaciones acerca de la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles y reducir su contribución al cambio climático.

En un contexto global donde la temperatura media del planeta continúa aumentando, la huella de carbono se ha convertido en un indicador clave para la formulación de políticas ambientales y la evaluación de la sostenibilidad de productos y servicios. Además, muchas empresas y gobiernos han comenzado a utilizar este concepto para establecer objetivos de reducción de emisiones, fomentar la transparencia en sus operaciones, y desarrollar estrategias que mitiguen su impacto ambiental (Pandey et al., 2011). La huella de carbono no solo destaca la relación directa entre actividades humanas y la crisis climática, sino que también ofrece un marco práctico para medir, gestionar y reducir las emisiones de carbono.

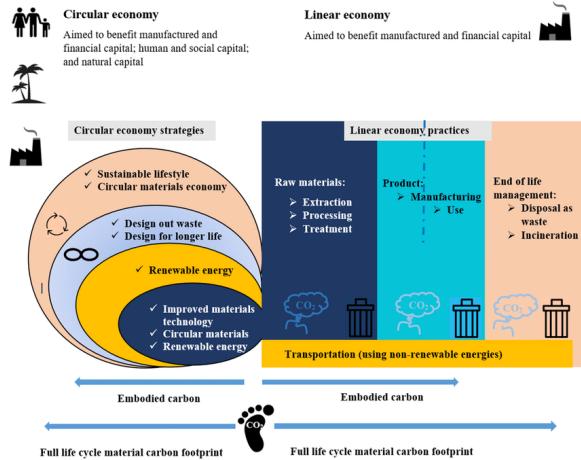


Figura 4.3: Diagrama sobre el concepto de huella de carbono y su relevancia (Ramakrishna et al., 2022)

#### 4.3.2. Estrategias para la reducción de la huella de carbono

La reducción de la huella de carbono es clave en la mitigación del cambio climático, abarcando desde la adopción de energías renovables hasta mejoras en la eficiencia energética y la economía circular. La transición hacia fuentes como la energía solar y eólica es una de las medidas más efectivas, ya que reduce las emisiones sin generar dióxido de carbono y apoya la independencia energética y la creación de empleos verdes (International Renewable Energy Agency, 2018). Por otro lado, la mejora de la eficiencia energética en sectores como el transporte, la industria y los edificios, mediante el uso de tecnologías como la iluminación LED, electrodomésticos eficientes y el fomento de vehículos eléctricos, permite una reducción significativa en el consumo de energía y las emisiones (Gillingham et al., 2016).

A nivel corporativo, la compensación de carbono a través de proyectos de reforestación o captura de CO<sub>2</sub> permite neutralizar las emisiones inevitables y responde a las demandas de sostenibilidad de los consumidores (Sullivan, 2017). La economía circular también juega un papel importante al minimizar la extracción de nuevos recursos mediante la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, lo que reduce las emisiones asociadas a la producción y el descarte de productos (Ellen MacArthur Foundation, 2020). En cuanto a las acciones individuales, cambios como reducir el consumo de carne, optar por productos locales y limitar el uso de plásticos desechables pueden tener un impacto significativo, reforzado por la educación y sensibilización para promover prácticas sostenibles (Whitmarsh et al., 2011).

#### 4.3.3. Relación entre la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono

La relación entre la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono es fundamental en la estrategia global para mitigar el cambio climático. La gestión eficaz de residuos no solo previene la acumulación de desechos que podrían contribuir al calentamiento global, sino que también facilita la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción y disposición de residuos. En particular, la reducción, reutilización y reciclaje de materiales contribuyen a disminuir la demanda de nuevos recursos y a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la extracción, producción y transporte de estos materiales (Niero et al., 2018). Por ejemplo, el reciclaje de aluminio ahorra aproximadamente un 95 % de la energía necesaria para producir aluminio a partir de bauxita, lo que resulta en una significativa reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Themelis and Ulloa, 2007).

Estrategia	Descripción
<b>Transición a energías renovables</b>	Consiste en la adopción de fuentes de energía como la solar y la eólica, que no emiten gases de efecto invernadero. Esta transición contribuye a reducir la huella de carbono, además de promover la independencia energética y la creación de empleos verdes.
<b>Mejora de la eficiencia energética</b>	Implementación de medidas para optimizar el uso de energía en edificios, transporte e industria, como el uso de electrodomésticos eficientes, iluminación LED y mejoras en el aislamiento térmico, lo que reduce el consumo energético y las emisiones de carbono.
<b>Movilidad sostenible</b>	Fomento del uso de vehículos eléctricos y la creación de infraestructuras como redes de transporte público y carriles para bicicletas, con el objetivo de disminuir la dependencia de combustibles fósiles y reducir las emisiones del sector transporte.
<b>Compensación de carbono</b>	Estrategia empresarial que consiste en invertir en proyectos que absorben o evitan emisiones de CO <sub>2</sub> , como la reforestación o la captura y almacenamiento de carbono, ayudando a neutralizar las emisiones inevitables.
<b>Economía circular</b>	Se basa en la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, disminuyendo la necesidad de extraer nuevos recursos y reduciendo las emisiones asociadas con la producción y el descarte de productos.
<b>Cambios en el estilo de vida</b>	A nivel individual, la reducción del consumo de carne, la elección de productos locales y de temporada, y la disminución del uso de plásticos desechables son medidas que ayudan a reducir la huella de carbono.
<b>Educación y sensibilización</b>	La educación y la concientización son clave para empoderar a las personas a tomar decisiones informadas que contribuyan a la mitigación del cambio climático mediante acciones sostenibles.

Tabla 4.2: Estrategias para la reducción de la huella de carbono

Además, la gestión de residuos orgánicos, a través del compostaje, ayuda a capturar carbono en el suelo y a reducir las emisiones de metano que se generan en los vertederos cuando los residuos orgánicos se descomponen anaeróbicamente. El compostaje no solo disminuye la huella de carbono de los residuos orgánicos, sino que también mejora la salud del suelo y su capacidad para almacenar carbono, contribuyendo a una reducción neta de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Bernal et al., 2017). La integración de prácticas de gestión de residuos en una estrategia de reducción de huella de carbono es, por lo tanto, esencial para alcanzar los objetivos climáticos globales y promover un futuro sostenible.

#### 4.4. Tecnología y medio ambiente

La interacción entre tecnología y medio ambiente es crucial para enfrentar los desafíos de sostenibilidad actuales. Las tecnologías emergentes, como la captura y almacenamiento de carbono, están diseñadas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en sectores industriales, almacenando el gas en formaciones geológicas y previniendo su liberación a la atmósfera (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Además, el Internet de las Cosas y la inteligencia artificial están revolucionando la gestión ambiental mediante el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire y el agua, optimización

de recursos y predicción de patrones ambientales (Zhang et al., 2019).

En la agricultura, las tecnologías de precisión, como drones y sensores avanzados, contribuyen a una gestión más eficiente de los cultivos y el agua, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles (Rolnick et al., 2019). Sin embargo, el avance tecnológico también plantea retos, como el aumento de residuos electrónicos, lo que hace necesario desarrollar métodos de reciclaje para minimizar el impacto ambiental de la tecnología (Liakos et al., 2018).

#### **4.4.1. El papel de las tecnologías de la información en la promoción de prácticas sostenibles**

Las tecnologías de la información juegan un papel crucial en la promoción de prácticas sostenibles al permitir una gestión más eficiente de recursos y facilitando la toma de decisiones informadas. La implementación de tecnologías de la información puede mejorar la sostenibilidad en diversas áreas, desde la gestión de energía hasta la optimización de cadenas de suministro. Por ejemplo, los sistemas de gestión de energía basados en TI permiten monitorear y controlar el consumo de energía en tiempo real, lo que ayuda a reducir el desperdicio y a mejorar la eficiencia energética (Hao et al., 2020).

Además, las tecnologías de la información facilitan la adopción de prácticas de economía circular, permitiendo una mejor gestión del ciclo de vida de los productos. Las plataformas digitales y las herramientas de análisis de datos permiten a las empresas rastrear el origen y el destino de los materiales, optimizar el reciclaje y la reutilización, y reducir el desperdicio (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Por ejemplo, los sistemas de trazabilidad basados en *blockchain* pueden proporcionar transparencia en las cadenas de suministro, garantizando que los materiales reciclados sean realmente reciclados y no terminen en vertederos (Murray et al., 2020).

#### **4.4.2. Uso de aplicaciones móviles para la educación y concientización ambiental**

Las aplicaciones móviles han emergido como herramientas poderosas para la educación y concientización ambiental, permitiendo a los usuarios aprender sobre sostenibilidad y prácticas ecológicas de manera interactiva y accesible. Estas aplicaciones proporcionan información en tiempo real, permiten la participación en iniciativas comunitarias y fomentan cambios de comportamiento a través de la gamificación y el seguimiento de actividades. Además, las aplicaciones móviles pueden facilitar la educación ambiental en contextos formales e informales, integrando juegos y desafíos que enseñan a los usuarios sobre reciclaje, conservación de recursos y biodiversidad (Casado-Aranda et al., 2021).

### **4.5. Diseño centrado en el usuario**

El Diseño Centrado en el Usuario (DCU) es una filosofía de diseño que pone al usuario en el centro de todo el proceso de desarrollo de productos y servicios. Esta aproximación asegura que las necesidades, deseos y limitaciones de los usuarios finales se consideren en todas las etapas del proceso de diseño, desde la investigación inicial hasta el desarrollo y las pruebas de usabilidad. El objetivo principal del DCU es crear productos que sean no solo funcionales, sino también fáciles de usar y accesibles, mejorando la experiencia general del usuario (Garrett, 2016).

En el contexto moderno, el DCU se ha vuelto esencial en el desarrollo de *software* y aplicaciones móviles. Las metodologías ágiles y las pruebas iterativas son componentes clave de este enfoque, permitiendo la incorporación constante de retroalimentación del usuario en el ciclo de desarrollo.

Esto no solo mejora la satisfacción del usuario, sino que también puede reducir costos a largo plazo al minimizar la necesidad de rediseños o revisiones extensas (Norman, 2013).

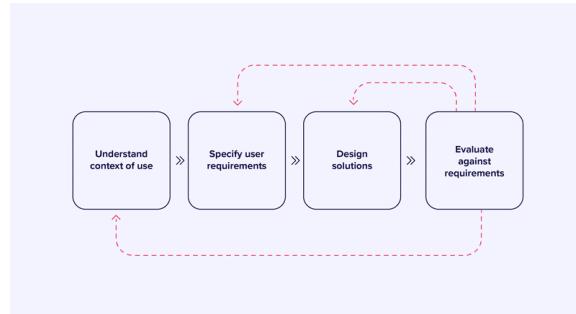


Figura 4.4: Diagrama de las fases del diseño centrado en el usuario

La importancia del DCU también se refleja en un diseño que busca que los productos sean accesibles para la mayor cantidad de personas posible. Esto incluye consideraciones como el diseño para personas con discapacidades visuales, auditivas o motoras, lo que amplía el alcance de los productos tecnológicos en una sociedad cada vez más diversa (Cooper et al., 2014). Además, el DCU se ha adaptado a las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y la realidad aumentada, donde el desafío no solo es crear interfaces usables, sino también asegurar que la interacción con estos sistemas sea intuitiva y confiable para una amplia gama de usuarios (Rogers et al., 2020).

#### 4.5.1. Conceptos y principios del diseño centrado en el usuario

El DCU se basa en principios clave que guían la creación de productos orientados a satisfacer las necesidades de los usuarios. Entre estos, destaca la comprensión profunda de los usuarios a través de investigaciones sobre su comportamiento y contexto, lo que permite desarrollar soluciones alineadas con sus expectativas (Beyer and Holtzblatt, 2019).

La creación de prototipos facilita la prueba de ideas y la identificación temprana de problemas, mientras que la iteración continua asegura mejoras constantes en la funcionalidad y usabilidad del producto (Goethelf and Seiden, 2017).

La accesibilidad es también un principio esencial del DCU, promoviendo el diseño de interfaces compatibles con tecnologías de asistencia y siguiendo directrices como las WCAG para hacer productos accesibles a personas con diversas habilidades (World Wide Web Consortium (W3C), 2021). La empatía se destaca como un componente fundamental, ya que permite a los diseñadores comprender las experiencias de los usuarios y desarrollar productos inclusivos y satisfactorios (Kujala et al., 2020).

#### 4.5.2. Importancia de la experiencia de usuario (UX) en el éxito de aplicaciones móviles

La experiencia de usuario (UX) es crucial para el éxito de las aplicaciones móviles, ya que impacta en la satisfacción y retención de los usuarios en un mercado competitivo. Una UX bien diseñada mejora la facilidad de uso y proporciona un valor añadido, lo que aumenta la lealtad del usuario y reduce las tasas de abandono (Hassenzahl, 2018). Aspectos esenciales de la UX incluyen una navegación intuitiva y tiempos de carga rápidos, siendo determinante el rendimiento para evitar que los usuarios abandonen la aplicación. Google destaca que más del 50% de los usuarios abandonan aplicaciones que tardan más de tres segundos en cargar (Google, 2019).

Concepto/Principio	Descripción
<b>Comprensión de los usuarios</b>	Involucra realizar investigaciones exhaustivas sobre los comportamientos, preferencias y el contexto de uso de los usuarios, permitiendo diseñar soluciones que se ajusten a sus necesidades reales.
<b>Creación de prototipos</b>	Permite visualizar y probar ideas planteadas para un proyecto rápidamente antes de la implementación final. Ayuda a identificar problemas potenciales en una etapa temprana, reduciendo riesgos y costos.
<b>Iteración constante</b>	Se refiere a la repetición de ciclos de diseño, pruebas y refinamiento para asegurar que el producto final sea funcional, intuitivo y agradable de usar.
<b>Accesibilidad</b>	Promueve el diseño de productos que puedan ser utilizados por el mayor número de personas, independientemente de sus habilidades o discapacidades, siguiendo directrices como las WCAG.
<b>Empatía</b>	Los diseñadores deben ponerse en el lugar de los usuarios para comprender sus experiencias y problemas, lo que contribuye a la creación de productos más inclusivos y satisfactorios.

Tabla 4.3: Resumen de conceptos y principios del diseño centrado en el usuario

Además, la personalización es clave, ya que adapta la experiencia a las preferencias individuales del usuario, lo cual mejora la satisfacción y fomenta el uso continuo (McLean and Osei-Frimpong, 2019). El diseño visual y la interacción emocional también son importantes, ya que las aplicaciones visualmente atractivas y emocionalmente positivas tienden a tener mayor éxito, al ofrecer tanto funcionalidad como una experiencia agradable para el usuario (Norman and Nielsen, 2020).

#### 4.5.3. Metodologías de diseño de experiencia de usuario aplicadas en proyectos tecnológicos

Las metodologías de diseño de UX son fundamentales en la creación de productos tecnológicos que combinan funcionalidad con una experiencia positiva. El DCU es una de las principales metodologías, enfocándose en comprender las necesidades del usuario mediante investigación, prototipos y pruebas iterativas para alinear el producto con sus expectativas (Garrett, 2020). Otra metodología clave es el *design thinking*, que aborda la resolución creativa de problemas en cinco etapas (empatizar, definir, idear, prototipar y testear) y fomenta la colaboración entre equipos para soluciones innovadoras y deseables (Brown, 2019).

*Lean UX*, por su parte, es especialmente relevante en entornos ágiles y se centra en la creación rápida de prototipos y en la validación constante de ideas con usuarios, permitiendo una adaptación rápida a los cambios. Es ideal para startups o proyectos con recursos limitados, donde la velocidad y la eficiencia son esenciales (Goethelf and Seiden, 2017).

### 4.6. Experiencia de usuario

La experiencia de usuario (UX) es fundamental en el diseño de productos interactivos, especialmente aplicaciones móviles, y abarca la percepción y respuesta del usuario al interactuar con el producto. Definida por la ISO como la percepción resultante del uso o la anticipación del uso de un

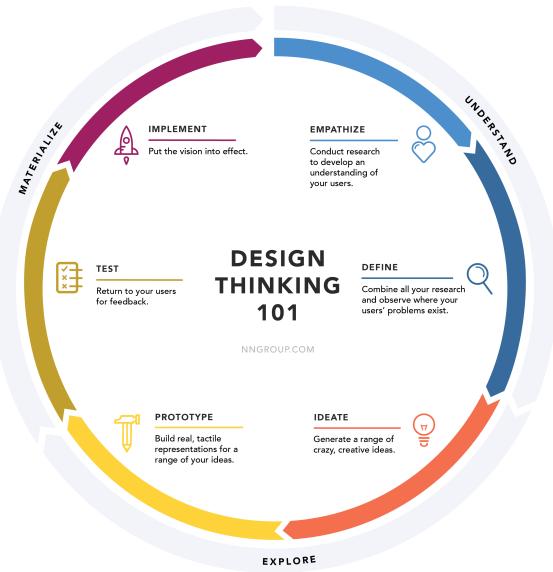


Figura 4.5: Diagrama sobre la metodología y flujo de trabajo de *design thinking* (Gibbons, 2024)

sistema, la UX integra aspectos emocionales, psicológicos y funcionales para ofrecer una interacción positiva y fluida (International Organization for Standardization, 2019). En aplicaciones móviles, la UX va más allá de la interfaz y considera eficiencia, accesibilidad, estética y satisfacción, buscando que el usuario experimente una interacción intuitiva y sin esfuerzo (Norman, 2004).

El DCU es clave para garantizar una buena UX, ya que adapta el producto a las necesidades y expectativas del usuario a través de iteraciones basadas en retroalimentación constante (Garrett, 2011). La accesibilidad es también crucial en UX, asegurando que las aplicaciones sean utilizables por personas con distintas capacidades, lo que amplía el público y el impacto social de la aplicación (Nielsen and Norman, 2012). La satisfacción final del usuario, influenciada tanto por la funcionalidad como por la estética, es el objetivo central de la UX, contribuyendo a la retención y al éxito del producto en el mercado (Hassenzahl, 2003).

#### 4.6.1. Usabilidad en aplicaciones móviles

La usabilidad es esencial en el diseño de aplicaciones móviles, ya que determina la facilidad con que los usuarios pueden interactuar efectivamente con un sistema. Incluye la simplicidad de la interfaz, la claridad en la navegación y la velocidad de respuesta, factores que minimizan la curva de aprendizaje, reducen el tiempo para completar tareas y disminuyen errores, incrementando así la satisfacción del usuario (Nielsen, 1994). Dado que las pantallas pequeñas y la interacción táctil plantean desafíos específicos, es fundamental asegurar que las funcionalidades clave sean accesibles y comprensibles (Shneiderman et al., 2010). Las pruebas de usabilidad durante el desarrollo permiten identificar y corregir problemas en escenarios reales, evaluando indicadores de eficiencia y satisfacción para mejorar continuamente la experiencia de usuario (Krug, 2014).

#### 4.6.2. Diseño de interfaces móviles

El diseño de interfaces móviles se enfoca en la creación de elementos visuales y táctiles que permiten a los usuarios interactuar con las aplicaciones de manera intuitiva y eficiente. Dado el limitado espacio en las pantallas móviles, el diseño debe priorizar la simplicidad, claridad y consistencia en

todos los elementos gráficos (Johnson, 2020). Aspectos como la disposición de los botones, la tipografía y el color juegan un papel crucial en la usabilidad, ya que influyen en la percepción del usuario sobre la facilidad de uso. Un buen diseño se caracteriza por minimizar la complejidad visual (Cooper et al., 2014).

La consistencia en el diseño de interfaces gráficas también es esencial para ofrecer una UX satisfactoria, ya que facilita la comprensión y memorización de los patrones de interacción (Norman, 2013). Mantener un diseño coherente entre las diferentes pantallas de la aplicación y entre aplicaciones del mismo ecosistema (como las plataformas iOS y Android) refuerza la familiaridad y reduce la curva de aprendizaje. Asimismo, es fundamental garantizar que la interfaz sea adaptativa y responsive, ajustándose a distintas resoluciones y tamaños de pantalla, lo que permite que los usuarios tengan una experiencia óptima en cualquier dispositivo. El uso de guías de estilo y bibliotecas de componentes visuales específicos para móviles, como *Material Design* de Google o las *Human Interface Guidelines* de aplicación, facilita la creación de interfaces que respetan tanto las limitaciones físicas como las expectativas de los usuarios (Google, 2014).

#### **4.6.3. Feedback del usuario**

El *feedback* del usuario es fundamental en el diseño y mejora de aplicaciones móviles, ya que proporciona información directa sobre la percepción y experiencia de quienes utilizan la aplicación. Este *feedback*, obtenido a través de encuestas, reseñas, análisis de comportamiento y pruebas de usabilidad, permite identificar problemas en la interfaz, barreras de usabilidad y áreas que requieren optimización (Norman, 2013). Incorporar la retroalimentación en el ciclo de desarrollo ajusta la aplicación a las necesidades reales de los usuarios y permite corregir errores de forma continua. Además, en el entorno móvil, donde la tecnología y las expectativas cambian rápidamente, el uso de herramientas de análisis ayuda a rastrear el comportamiento del usuario, detectar patrones de uso y zonas de abandono. Este enfoque no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también fomenta su lealtad, demostrando que sus opiniones son valoradas y los problemas resueltos oportunamente (Nielsen and Norman, 2012).

#### **4.6.4. Evaluación de la experiencia del usuario (UX)**

La evaluación de la experiencia de usuario (UX) es esencial para entender y mejorar cómo los usuarios perciben e interactúan con una aplicación, recopilando datos cualitativos y cuantitativos sobre aspectos como facilidad de uso, satisfacción, eficiencia y efectividad de la interfaz (Rubin and Chisnell, 2008). A través de técnicas como pruebas de usabilidad, encuestas, entrevistas y análisis de comportamiento en tiempo real, los diseñadores identifican áreas problemáticas y optimizan la aplicación en función de métricas de rendimiento. Este proceso asegura que el diseño cumpla tanto con los requisitos técnicos como con las expectativas del usuario final.

La evaluación de UX no es solo una etapa final, sino que debe integrarse iterativamente a lo largo del ciclo de vida del producto. Métodos como el análisis heurístico, en el que expertos evalúan la interfaz según principios de usabilidad, y la evaluación contextual, que observa a los usuarios en su entorno natural, ofrecen *insights* profundos sobre la experiencia real (Nielsen, 1994). Este enfoque no solo mejora la funcionalidad, sino que incrementa el valor emocional y la satisfacción general, fomentando la lealtad y el compromiso del usuario con la aplicación (Hassenzahl, 2010).

## **4.7. Técnicas de recopilación de información y muestreo**

En el desarrollo de cualquier investigación científica, la adecuada selección de las técnicas de recopilación de información y muestreo es crucial para asegurar la validez y confiabilidad de los datos obtenidos. En el contexto de este proyecto, enfocado en la creación de una aplicación móvil para la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono, es fundamental utilizar metodologías que permitan entender a fondo las prácticas de los usuarios, sus necesidades y percepciones respecto a la sostenibilidad.

### **4.7.1. Técnicas de recopilación de información**

Las técnicas de recopilación de información permiten obtener datos cualitativos y cuantitativos. Una de las más empleadas es la entrevista, que puede ser estructurada, semiestructurada o no estructurada. Este método proporciona información detallada sobre las opiniones y experiencias de los usuarios con respecto al manejo de residuos. Las entrevistas semiestructuradas son especialmente útiles en esta investigación, ya que permiten explorar con flexibilidad temas relacionados con los hábitos de reciclaje y la conciencia ambiental de los usuarios, adaptándose a las respuestas dadas por los participantes (Martínez, 2019; Creswell, 2014).

Otra técnica relevante es la encuesta o cuestionario, que es apropiada para obtener datos cuantitativos de una muestra representativa. Las encuestas permiten medir de manera precisa las actitudes y comportamientos de los usuarios en relación con la reducción de la huella de carbono, ofreciendo una visión más amplia y generalizable (Fink, 2015). Además, los grupos focales resultan útiles para la exploración cualitativa de las percepciones de los usuarios. A través de la interacción grupal, se pueden identificar dinámicas y opiniones comunes o divergentes entre los participantes (Krueger and Casey, 2014).

En cuanto a la observación directa, esta técnica permite analizar el comportamiento de los usuarios en su entorno natural sin intervención directa, obteniendo datos sobre sus interacciones cotidianas con el reciclaje y el manejo de residuos. Esto es esencial para identificar posibles mejoras en la usabilidad de la aplicación móvil (Patton, 2015). Finalmente, la revisión de literatura y datos secundarios proporciona un marco de referencia para comparar los hallazgos con investigaciones previas sobre gestión de residuos y sostenibilidad, además de fortalecer la fundamentación teórica del proyecto (Yom, 2019).

### **4.7.2. Técnicas de muestreo**

Dentro de las técnicas de muestreo más utilizadas, se encuentran las de muestreo probabilístico. Por ejemplo, el muestreo aleatorio simple otorga a cada individuo de la población una probabilidad igual de ser seleccionado, lo que contribuye a la imparcialidad en la recolección de datos (Lohr, 2019). Asimismo, el muestreo estratificado permite dividir a la población en subgrupos o estratos homogéneos, como diferentes rangos de edad o niveles de conciencia ambiental, asegurando que cada uno de estos grupos esté representado adecuadamente en la muestra (Thompson, 2012).

Por otro lado, el muestreo no probabilístico puede ser útil cuando se requiere acceso a grupos específicos de usuarios. El muestreo intencional o de conveniencia se basa en seleccionar a los individuos que cumplen con ciertos criterios, como aquellos que ya practican reciclaje de manera activa (Babbie, 2015). El muestreo por bola de nieve es adecuado para estudiar comunidades o redes en las que los participantes se recomiendan mutuamente, facilitando el acceso a personas con interés en la sostenibilidad y gestión ambiental (Noy, 2008).

Técnica de Recopilación	Descripción
<b>Entrevistas</b>	Proporcionan información detallada sobre las opiniones y experiencias de los usuarios en torno al manejo de residuos. Las entrevistas semiestructuradas permiten flexibilidad en la exploración de temas relacionados con hábitos de reciclaje y conciencia ambiental.
<b>Encuestas</b>	Permiten obtener datos cuantitativos de una muestra representativa para medir actitudes y comportamientos sobre la reducción de la huella de carbono.
<b>Grupos focales</b>	Útiles para explorar cualitativamente las percepciones de los usuarios mediante la interacción grupal, identificando dinámicas y opiniones comunes o divergentes.
<b>Observación directa</b>	Analiza el comportamiento de los usuarios en su entorno natural sin intervención directa, proporcionando datos sobre interacciones cotidianas con el reciclaje.
<b>Revisión de literatura y datos secundarios</b>	Proporciona un marco de referencia para comparar hallazgos con investigaciones previas sobre gestión de residuos y sostenibilidad.

Tabla 4.4: Técnicas de recopilación de información y muestreo

#### 4.7.3. Validez y confiabilidad

La validez y confiabilidad de los datos son criterios fundamentales en la investigación. La validez indica la precisión con la que los instrumentos de medición capturan el fenómeno de interés, como las percepciones sobre reciclaje y huella de carbono (Golafshani, 2003). Para evaluar la validez, se puede utilizar la correlación de Pearson, que establece una relación cuantitativa entre los resultados de un instrumento y un criterio de referencia. La ecuación para calcular este coeficiente es:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

donde  $n$  representa el número de pares de datos,  $x$  es la variable medida, y  $y$  es el criterio de referencia (Field, 2013).

Por otro lado, la confiabilidad implica que los resultados sean consistentes a lo largo del tiempo y replicables en contextos similares. Un método común para medir la confiabilidad es el coeficiente alfa de Cronbach, que evalúa la consistencia interna de un conjunto de ítems en un test. La ecuación para calcular  $\alpha$  es:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left( 1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_t^2} \right)$$

En esta ecuación,  $k$  es el número de ítems en el test,  $\sigma_i^2$  es la varianza de cada ítem, y  $\sigma_t^2$  es la varianza total del test (DeVoe, 2016).

#### 4.7.4. Muestreo probabilístico

El muestreo probabilístico se caracteriza por otorgar a todos los miembros de la población una probabilidad conocida y no nula de ser seleccionados para formar parte de la muestra. Esto garantiza que los resultados obtenidos sean representativos y que puedan generalizarse a toda la población

objetivo (Lohr, 2019). Dentro de este tipo de muestreo, el muestreo aleatorio simple es una de las técnicas más utilizadas.

La probabilidad de que un individuo sea seleccionado en un muestreo aleatorio simple se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$P(i) = \frac{1}{N}$$

donde  $P(i)$  es la probabilidad de selección del individuo  $i$  y  $N$  es el tamaño total de la población.

Otra técnica relevante dentro del muestreo probabilístico es el muestreo estratificado, que se utiliza cuando la población se puede dividir en subgrupos homogéneos o estratos que comparten características específicas, como la edad, el género o el nivel de conciencia ambiental. Este tipo de muestreo es particularmente útil para asegurar que cada subgrupo esté representado adecuadamente en la muestra.

La ecuación para determinar el tamaño de la muestra en muestreo estratificado se expresa como:

$$n = \sum_{h=1}^L \frac{N_h}{N} n$$

donde  $n$  es el tamaño total de la muestra,  $N_h$  es el tamaño de cada estrato,  $N$  es el tamaño total de la población y  $L$  es el número de estratos.

En este caso, se seleccionan muestras de cada estrato de manera proporcional o igualitaria, dependiendo de la investigación (Thompson, 2012).

#### 4.7.5. Muestreo no probabilístico

El muestreo no probabilístico se emplea cuando no es posible garantizar que todos los individuos de la población tengan una probabilidad conocida de ser seleccionados. A pesar de no ser representativo en el sentido estadístico, este tipo de muestreo es muy útil en situaciones en las que se requiere un enfoque en grupos específicos, y sobre todo en ocasiones en las que características que puedan resultar importantes en ciertas poblaciones a muestrear no sean tan claras como en un escenario ideal (Creswell, 2014).

Entre los métodos de muestreo no probabilístico, se destacan:

- **Muestreo por conveniencia:** Selección de participantes disponibles o dispuestos a participar, facilitando la recolección rápida de datos.
- **Muestreo intencional o dirigido:** Búsqueda deliberada de individuos con características específicas. Este enfoque permite obtener información detallada sobre las necesidades y expectativas de los usuarios más activos en temas medioambientales (Thompson, 2012).
- **Muestreo por bola de nieve:** Técnica útil para acceder a poblaciones difíciles de alcanzar. Los participantes iniciales refieren a otros individuos con características similares, facilitando la creación de una red de contactos que comparten intereses comunes, como la preocupación por el medio ambiente y el reciclaje (Nielsen, 2020).

El muestreo intencional puede expresarse en términos de una proporción esperada de individuos con ciertas características  $p$ , lo que puede ayudar a estimar el número necesario de participantes con

esas características. La ecuación para calcular el tamaño de la muestra necesaria en este contexto se puede expresar como:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p(1 - p)}{E^2}$$

donde  $n$  es el tamaño de la muestra,  $Z$  es el valor crítico de Z para el nivel de confianza deseado (por ejemplo, 1.96 para un 95 % de confianza),  $p$  es la proporción esperada de la característica en la población y  $E$  es el margen de error tolerado.

La dinámica del muestreo por bola de nieve puede representarse matemáticamente en un modelo de red, donde cada participante  $P_i$  tiene la capacidad de referir a  $k$  nuevos participantes:

$$P_{n+1} = P_n + k \cdot P_n$$

donde  $P_n$  es el número de participantes en la etapa  $n$  y  $k$  es el número promedio de nuevos participantes referidos por cada participante.

Este enfoque puede facilitar el crecimiento exponencial de la muestra y, al mismo tiempo, mejorar la calidad de la información recopilada sobre las prácticas de reciclaje y sostenibilidad dentro de la comunidad.

#### 4.7.6. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra es crucial para garantizar la precisión y validez en investigaciones con poblaciones diversas, como los usuarios de una aplicación de gestión de residuos. Un tamaño de muestra pequeño podría no captar adecuadamente las distintas prácticas y niveles de conciencia ambiental, mientras que uno excesivamente grande podría ser costoso sin aportar precisión significativa (Lohr, 2019). Además, reducir el margen de error es esencial para reflejar fielmente las necesidades de la población, considerando la inclusión de subgrupos diversos como jóvenes y personas con o sin experiencia en reciclaje (Fink, 2015).

#### 4.7.7. Validez y confiabilidad

La validez y confiabilidad son esenciales para asegurar la calidad de los datos en cualquier investigación. La validez indica si un instrumento mide con precisión el fenómeno de interés; para esto, es necesario que los instrumentos estén alineados con los objetivos del estudio. En el caso de una aplicación para la gestión de residuos, es clave que las encuestas reflejen comportamientos y actitudes hacia el reciclaje y la sostenibilidad (Creswell, 2014). Existen varios tipos de validez: la de contenido, que requiere que los ítems del instrumento reflejen adecuadamente el constructo y se validen con expertos (Patton, 2015); y la de criterio, que evalúa si el instrumento puede predecir o correlacionar con otros criterios, como datos municipales de reciclaje (Golafshani, 2003).

La confiabilidad se refiere a la consistencia de los resultados. Un instrumento confiable produce resultados similares en condiciones similares, lo cual puede verificarse mediante pruebas piloto para ajustar posibles inconsistencias (Creswell, 2014). Además, el coeficiente alfa de Cronbach evalúa la consistencia interna del instrumento, asegurando que los ítems midan el mismo constructo (Thompson, 2012). La técnica de prueba y re-prueba también puede usarse, aplicando el instrumento en dos momentos distintos para evaluar la estabilidad de los resultados (Babbie, 2015).

## 4.8. Prototipado y herramientas

El prototipado es una etapa esencial en el desarrollo de productos digitales, especialmente en aplicaciones móviles, ya que permite crear representaciones preliminares para visualizar, probar y validar ideas antes de su implementación (Brown, 2009). Este proceso ayuda a los equipos de diseño y desarrollo a simular el funcionamiento del producto, identificar problemas y obtener retroalimentación temprana de los usuarios y las partes interesadas. Los prototipos se clasifican comúnmente en baja y alta fidelidad: los de baja fidelidad, como *wireframes* y bocetos, son rápidos de elaborar y permiten explorar múltiples ideas de diseño sin profundizar en detalles (Snyder, 2003).

Por su parte, los prototipos de alta fidelidad son más detallados y se acercan a la versión final del producto. Estos prototipos se utilizan en etapas avanzadas para evaluar la usabilidad del producto en condiciones más realistas (Garrett, 2010). Además, el prototipado es fundamental para validar suposiciones sobre el comportamiento de los usuarios, lo que reduce el riesgo de invertir recursos en soluciones que podrían no cumplir con las expectativas del usuario (Virzi, 1992). La validación mediante prototipos facilita la identificación de problemas de usabilidad difíciles de prever en la fase conceptual, permitiendo ajustes tempranos (Krug, 2014).

Asimismo, el prototipado mejora la UX al proporcionar una representación que permite realizar pruebas con usuarios reales, identificando barreras y oportunidades de mejora en la estructura, interacción e interfaz gráfica del producto (Goodman et al., 2012). Finalmente, el prototipado fomenta la iteración continua, permitiendo que el diseño evolucione a medida que se recaba información sobre las necesidades del usuario y las limitaciones técnicas del proyecto (Preece et al., 2015).

### 4.8.1. Tipos de prototipado

El proceso de prototipado se puede dividir en varias categorías según el nivel de detalle y funcionalidad que se requiera para validar las ideas de diseño. Entre los tipos más comunes están el prototipado de baja fidelidad, el prototipado de alta fidelidad y el prototipado interactivo. Cada uno de estos enfoques tiene aplicaciones específicas y aporta ventajas en diferentes etapas del ciclo de desarrollo de un producto digital.

### 4.8.2. Prototipado de baja fidelidad

El prototipado de baja fidelidad se caracteriza por su simplicidad y rapidez, utilizando bocetos, *wireframes* y diagramas de flujo para definir la estructura básica del diseño sin enfocarse en detalles visuales o funcionales. Con herramientas sencillas como lápiz y papel o *software* asequible, los diseñadores pueden explorar diferentes ideas y flujos de usuario sin gran inversión de tiempo o recursos, facilitando la discusión del flujo de interacción dentro del equipo (Snyder, 2003). Herramientas digitales como Balsamiq y Sketch permiten crear y ajustar rápidamente estos prototipos, siendo especialmente útiles en las primeras fases del desarrollo para validar conceptos y estructuras (Nielsen, 1994).

### 4.8.3. Prototipado de alta fidelidad

A medida que avanza el desarrollo, los prototipos de alta fidelidad se vuelven esenciales, ya que representan casi versiones finales del producto en diseño visual y experiencia de usuario. A diferencia de los prototipos de baja fidelidad, estos incluyen tipografía, colores, imágenes y elementos interactivos que permiten a los usuarios navegar y experimentar el producto de manera cercana a la versión terminada (Garrett, 2010). Herramientas como Figma, Adobe XD y Sketch son clave para



Figura 4.6: Ejemplo de prototipado de baja fidelidad en formato de *wireframe*

crear estos prototipos, ya que facilitan el diseño detallado y la inclusión de transiciones y animaciones interactivas (Preece et al., 2015).

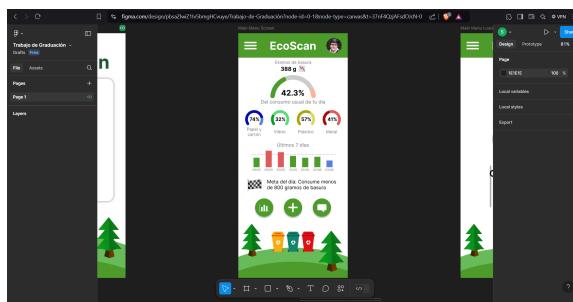


Figura 4.7: Ejemplo de prototipado de alta fidelidad desarrollado en Figma

#### 4.8.4. Prototipado interactivo

El prototipado interactivo permite simular tanto la apariencia como las interacciones del usuario con el producto, probando flujos de trabajo, transiciones, animaciones y respuestas a las acciones del usuario. Este enfoque es útil para evaluar la intuitividad de la interfaz y realizar ajustes que optimicen la experiencia (Krug, 2014). Herramientas como InVision, Axure y Figma son populares para este tipo de prototipado, ya que permiten crear flujos de trabajo complejos y vincular pantallas, facilitando la navegación como si fuera el producto final. El prototipado interactivo es clave para identificar problemas de usabilidad y garantizar una navegación fluida en la aplicación (Granollers et al., 2005).

#### 4.8.5. Proceso de iteración con herramientas

La iteración en el diseño es crucial para el éxito de un producto, ya que permite ajustes continuos basados en el *feedback* de usuarios y *stakeholders*. Este proceso facilita la creación rápida de prototipos que pueden modificarse de manera ágil y compartirse con los equipos para recibir retroalimentación inmediata, agilizando el proceso de revisión sin la necesidad de múltiples reuniones o correos electrónicos (Balliet, 2020). Además, los prototipos interactivos pueden ser distribuidos para que los *stakeholders* y *testers* añadan comentarios directamente, lo que hace que el ciclo de retroalimentación sea eficiente y rápido (Granollers et al., 2005).

Un aspecto clave de la iteración es la capacidad de ajustar versiones del diseño mediante componentes reutilizables. Los cambios realizados en un componente específico se reflejan automáticamente en todo el prototipo, lo cual ahorra tiempo y asegura consistencia visual y funcional en cada versión

(Preece et al., 2015). Esto permite realizar ajustes rápidos basados en el *feedback*, sin modificar manualmente cada instancia del diseño.

## 4.9. Desarrollo de aplicaciones móviles

Las aplicaciones móviles son programas creados para ejecutarse en dispositivos portátiles, como teléfonos inteligentes y tabletas, y han transformado el entorno digital al ofrecer acceso constante a una amplia gama de servicios y funcionalidades. Diseñadas para pantallas táctiles, estas aplicaciones optimizan la experiencia del usuario (UX) al aprovechar características nativas del dispositivo, como la cámara y el GPS, lo cual las hace más robustas que los sitios web convencionales (Rodríguez, 2020). Existen tres tipos principales de aplicaciones móviles: las nativas, diseñadas específicamente para un sistema operativo, lo que permite un rendimiento y una integración óptimos con el *hardware* (Godfrey, 2021); las híbridas, que operan en varias plataformas con una base de código común, aunque con ciertas limitaciones de rendimiento (Cerdá and Navarro, 2020); y las aplicaciones web, accesibles desde un navegador, que ofrecen una funcionalidad reducida pero no requieren instalación (Kumar, 2021).

El proceso de desarrollo de una aplicación móvil se estructura en varias fases. La fase inicial de análisis define los requisitos, objetivos y expectativas, donde el estudio de mercado y la competencia son fundamentales para crear una aplicación competitiva (Silva and Martínez, 2021). En la fase de diseño, se desarrollan maquetas y prototipos centrados en la experiencia e interfaz de usuario, asegurando una interacción fluida e intuitiva (Bohner and Roberts, 2020). Durante la implementación, se crea tanto la interfaz visual como la lógica interna de la aplicación, integrando bases de datos y servicios externos cuando es necesario (Taylor, 2021). La fase de pruebas garantiza el correcto funcionamiento en diferentes dispositivos, y el mantenimiento final incluye la resolución de errores y la actualización continua para asegurar la usabilidad y rendimiento de la aplicación en el tiempo (Myers, 2020).

### 4.9.1. Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación es un conjunto de instrucciones que permite a los programadores comunicarse con un sistema informático para realizar tareas específicas. Estos lenguajes proporcionan reglas gramaticales y semánticas que los desarrolladores usan para escribir código, el cual luego es traducido y ejecutado por el *hardware* (Sebesta, 2019). Los lenguajes de programación son esenciales en el desarrollo de *software*, ya que permiten definir el comportamiento de un sistema, desde la interfaz de usuario hasta la gestión de datos y la integración de servicios externos (Downey, 2020).

### 4.9.2. Frameworks y herramientas de desarrollo

En el desarrollo de aplicaciones móviles, los *frameworks* y herramientas son esenciales, ya que simplifican el proceso de creación de *software* al proporcionar código, estilos y componentes reutilizables y funcionalidades predefinidas que ahorran una enorme cantidad de trabajo al momento de desarrollar. Al ofrecer una estructura base y facilitar el acceso a funciones nativas del dispositivo, los *frameworks* permiten a los desarrolladores enfocarse en la lógica de negocio y la experiencia de usuario, optimizando también el desarrollo multiplataforma.

La relación entre un *framework* y un lenguaje de programación es clave. El *framework* actúa como una capa de soporte sobre el lenguaje, extendiendo sus capacidades y organizando el código de manera eficiente. Esta integración permite aprovechar al máximo el lenguaje subyacente, facilitando el desarrollo de aplicaciones robustas y reduciendo los tiempos de desarrollo (Fowler, 2004).

Concepto	Descripción
<b>Aplicaciones móviles</b>	Programas diseñados para ejecutarse en dispositivos portátiles como teléfonos inteligentes y tabletas, optimizados para pantallas más pequeñas y capacidades táctiles.
<b>Funciones nativas</b>	Capacidad de las aplicaciones móviles para aprovechar funciones del dispositivo, como cámara, GPS y sensores de movimiento, ofreciendo funcionalidades más robustas que las versiones web.
<b>Tipos de aplicaciones</b>	Se clasifican en tres tipos: <i>Nativas</i> : Diseñadas para un sistema operativo específico, con acceso completo al <i>hardware</i> . <i>Híbridas</i> : Desarrolladas con tecnologías web, se ejecutan en múltiples plataformas con una sola base de código. <i>Web</i> : Sitios web adaptados para uso móvil, accesibles a través de un navegador, con menor funcionalidad que las aplicaciones nativas o híbridas.
<b>Ciclo de desarrollo</b>	Proceso estructurado que incluye: <i>Análisis</i> : Definición de requisitos y análisis de mercado. <i>Diseño</i> : Creación de maquetas y prototipos enfocados en UX y UI. <i>Implementación</i> : Codificación de la aplicación ( <i>frontend</i> y <i>backend</i> ). <i>Pruebas</i> : Validación a través de pruebas unitarias, de integración y de aceptación.

Tabla 4.5: Resumen de conceptos en el desarrollo de aplicaciones móviles

#### 4.9.3. Desarrollo *frontend* y *backend*

En el desarrollo de aplicaciones móviles, es fundamental comprender la distinción entre el *frontend* y el *backend*, ya que ambos componentes desempeñan roles esenciales en la estructura y funcionamiento de una aplicación. El *frontend* es la parte visible e interactiva que el usuario experimenta, mientras que el *backend* maneja la lógica de negocio, la gestión de datos y la interacción con los servidores. Uno de los lenguajes más utilizados en el desarrollo *frontend* es JavaScript, especialmente cuando se emplean *frameworks* como React Native para la creación de aplicaciones móviles.

#### 4.9.4. Application Programming Interface (API)

Las APIs son esenciales en la interacción entre el *frontend* y el *backend*, ya que definen un conjunto de reglas para que diferentes sistemas se comuniquen entre sí, facilitando el intercambio de datos y funcionalidades (Risch, 2020). En una aplicación móvil, el *frontend* usa llamadas API para solicitar o enviar información al *backend*, como al consultar un catálogo de productos o procesar pagos (Braithwaite, 2021).

Las APIs permiten desacoplar el *frontend* del *backend*, lo que facilita el mantenimiento y la escalabilidad de la aplicación, ya que los cambios en una capa no afectan directamente a la otra (Johnson, 2021). Además, ofrecen integración con servicios externos, ampliando las capacidades de la aplicación sin tener que desarrollar todas las funciones internamente.

#### **4.9.5. Pruebas unitarias**

En el desarrollo de aplicaciones móviles, las pruebas son una etapa fundamental para garantizar la calidad, fiabilidad y funcionamiento correcto de la aplicación antes de ser lanzada al mercado. Existen diversos métodos de prueba que los desarrolladores utilizan para verificar el comportamiento del *software* y corregir posibles errores. Entre los más importantes se encuentran las pruebas unitarias y las pruebas de interfaz de usuario.

Las pruebas unitarias son un tipo de prueba que se centra en la validación de pequeñas unidades de código de manera individual. Estas unidades suelen ser funciones o métodos específicos dentro de la aplicación, y el objetivo es asegurarse de que cada una de ellas funcione de manera independiente y como se espera (Johansson, 2021). Las pruebas unitarias son esenciales para detectar errores en etapas tempranas del desarrollo y garantizar que el código base sea confiable (Hunt, 2021). Además, la automatización de pruebas unitarias facilita la integración continua y el mantenimiento del código a lo largo del tiempo.

### **4.10. Evaluación y métricas de impacto**

La evaluación y las métricas de impacto son esenciales para medir la efectividad de un proyecto, permitiendo analizar el cumplimiento de objetivos mediante datos cuantitativos y cualitativos. La evaluación implica un proceso sistemático de recopilación de información para determinar el valor de un proyecto y garantizar el uso eficiente de los recursos (Patton, 2008). Las métricas de impacto, en cambio, son indicadores específicos que evalúan el grado de éxito de una intervención y sus efectos a largo plazo, seleccionándose según la naturaleza del proyecto y los resultados deseados (Friedman, 2005).

Este proceso incluye el análisis de los resultados comparados con un estado base, a través de evaluaciones formativas, que permiten ajustes en tiempo real, y sumativas, que miden los resultados finales (Weiss, 1998). En conjunto, la evaluación y las métricas de impacto facilitan decisiones informadas, aseguran la sostenibilidad y el éxito del proyecto, y ayudan a justificar su continuidad a largo plazo (Scriven, 1991).

#### **4.10.1. Indicadores de rendimiento clave**

Los indicadores de rendimiento clave (KPIs) son métricas esenciales para evaluar el éxito de una aplicación en relación con sus objetivos estratégicos, especialmente en contextos como la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono. Seleccionar los KPIs adecuados permite a los desarrolladores y responsables evaluar el desempeño de la aplicación y guiar mejoras continuas (Parmenter, 2015).

Entre los KPIs destacados están la tasa de adopción, que mide cuántos usuarios descargan y utilizan la aplicación, y la retención de usuarios, que evalúa su compromiso a lo largo del tiempo (Bovaird and Löffler, 2016). Para los objetivos ambientales, se pueden medir la reducción de residuos y la disminución de la huella de carbono, reflejando el impacto sostenible de la aplicación (Bernardes and Zanoni, 2020). Los KPIs deben ser *SMART* (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y limitados en el tiempo) para asegurar que los datos obtenidos sean útiles y orienten decisiones efectivas (Doerner, 2018).

#### **4.10.2. Métricas de usabilidad**

Las métricas de usabilidad son esenciales para evaluar la calidad de la experiencia de usuario en una aplicación móvil, proporcionando información sobre cómo interactúan los usuarios y ayudando a identificar áreas de mejora (Nielsen, 1994). En el desarrollo de una aplicación para la gestión de residuos, estas métricas garantizan que los usuarios puedan cumplir sus objetivos de manera eficiente.

Entre las métricas clave están la satisfacción del usuario, que se mide mediante encuestas y refleja el cumplimiento de sus expectativas (Hartson and Pyla, 2012); el tiempo de tarea, que indica la eficiencia al medir cuánto tiempo toma completar una tarea específica (Abrams and Helms, 2013); y la tasa de error, que identifica problemas de diseño al contar los errores cometidos durante el uso (Rubin and Chisnell, 2008). La facilidad de uso, medida a través de pruebas de usabilidad, evalúa la simplicidad y la curva de aprendizaje de la aplicación, asegurando una experiencia fluida para los usuarios (Brooke, 1996).

#### **4.10.3. Métodos de validación**

La validación de la efectividad de una aplicación es fundamental para asegurar el cumplimiento de sus objetivos y el impacto proyectado. Entre los métodos comunes de validación se encuentran las pruebas de campo, las entrevistas y los estudios de caso (Creswell and Creswell, 2017). Las pruebas de campo permiten evaluar la aplicación en un entorno real, recopilando datos cuantitativos sobre su uso y su impacto, como la reducción de residuos y la disminución de la huella de carbono, además de identificar posibles problemas técnicos (Yin, 2009).

Las entrevistas ofrecen una perspectiva cualitativa al profundizar en la experiencia del usuario, recopilando opiniones y sugerencias para mejorar la aplicación, y validando el impacto social y emocional sobre la sostenibilidad (Seale, 1999). Los estudios de caso, por su parte, permiten un análisis detallado de la experiencia de un grupo específico de usuarios, evaluando tanto el impacto cuantitativo como los cambios en actitudes y comportamientos sostenibles (Flyvbjerg, 2006).

# CAPÍTULO 5

---

## Antecedentes

---

### 5.1. Estudios relacionados

Existen estudios previos que exploran la experiencia de usuario (UX) en aplicaciones de gestión de residuos y reducción de huella de carbono. Estos estudios se han centrado en cómo mejorar la interacción del usuario con aplicaciones diseñadas para promover prácticas sostenibles. En general, se ha encontrado que la simplicidad en el diseño de las interfaces es un factor crucial para asegurar que los usuarios adopten este tipo de soluciones tecnológicas.

En estos estudios se ha destacado el papel motivador de las herramientas digitales que ofrecen retroalimentación en tiempo real, como gráficos o informes sobre el consumo de residuos. Estas funciones permiten a los usuarios monitorear sus hábitos de consumo y visualizar su progreso hacia la reducción de su huella de carbono, lo que incentiva comportamientos más sostenibles. Otro aspecto importante que ha sido objeto de estudio es la incorporación de elementos de gamificación, como recompensas o logros, que ayudan a mantener el interés y el compromiso del usuario a largo plazo.

#### 5.1.1. Aplicaciones móviles para fomentar el reciclaje en la comunidad

El estudio de (Rothe et al., 2020) explora la experiencia de usuario en aplicaciones móviles diseñadas para fomentar el reciclaje dentro de comunidades locales. Los investigadores analizaron cómo las aplicaciones pueden motivar a los usuarios a clasificar adecuadamente los residuos y participar activamente en programas de reciclaje, enfocándose en las características que facilitan una interacción fluida y atractiva. Entre los hallazgos clave, se destacó la importancia de una interfaz de usuario simple y fácil de navegar, que reduce la fricción en el proceso de reciclaje y mejora la disposición de los usuarios a interactuar con la aplicación. El estudio también reveló que la retroalimentación inmediata y visual, como gráficos que muestran el impacto positivo de las acciones del usuario, juega un papel fundamental en aumentar el compromiso.

Además, el estudio subraya la efectividad de utilizar elementos de gamificación para fomentar hábitos sostenibles. Al integrar recompensas y logros, los usuarios no solo se sienten motivados a seguir reciclando, sino que también se crea una experiencia más envolvente y satisfactoria. Estos elementos contribuyen a aumentar la participación y fidelización de los usuarios con las aplicaciones, lo que a su vez incrementa las tasas de reciclaje en las comunidades.

### **5.1.2. Experiencia de usuario en aplicaciones para la reducción de la huella de carbono**

El trabajo de (García-Gallego et al., 2019) investiga cómo el diseño de la experiencia de usuario en aplicaciones móviles puede contribuir a la reducción de la huella de carbono de los usuarios. Este estudio se centró en la evaluación de aplicaciones que brindan información sobre el consumo energético personal y ofrecen recomendaciones personalizadas para reducirlo. Uno de los principales hallazgos fue que las aplicaciones con interfaces intuitivas y visualmente atractivas resultan más eficaces a la hora de educar a los usuarios sobre sus hábitos de consumo energético. La claridad en la presentación de datos, junto con funciones como simuladores de ahorro de carbono, permite a los usuarios comprender el impacto ambiental de sus decisiones diarias, lo que los motiva a realizar cambios positivos. El estudio también reveló que la personalización es clave para incrementar la participación del usuario. Al ofrecer recomendaciones basadas en los hábitos específicos de cada individuo, las aplicaciones pueden adaptarse mejor a las necesidades de los usuarios, logrando un mayor nivel de compromiso. Los autores destacaron que las aplicaciones que combinan la visualización de datos en tiempo real con sugerencias de acciones prácticas son más exitosas en la modificación de comportamientos a largo plazo.

### **5.1.3. Estudio sobre la gamificación y la UX en aplicaciones de sostenibilidad**

El estudio de (Hamari et al., 2016) examina el impacto de la gamificación en la experiencia de usuario (UX) dentro de aplicaciones de sostenibilidad, con un enfoque particular en aquellas que promueven comportamientos responsables, como el reciclaje y la reducción de la huella de carbono. El trabajo analiza cómo los elementos de gamificación, como puntos, medallas, tablas de clasificación y desafíos, influyen en la motivación de los usuarios para adoptar hábitos sostenibles. Los resultados muestran que la gamificación mejora significativamente la participación del usuario al hacer que la interacción con la aplicación sea más atractiva y entretenida, lo que aumenta la probabilidad de que los usuarios mantengan estos comportamientos a lo largo del tiempo.

## CAPÍTULO 6

---

### Alcance

---

El presente módulo del megaproyecto tecnológico se enfoca en la investigación, diseño, desarrollo y evaluación la interfaz gráfica de una aplicación móvil multiplataforma para la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono. Esta aplicación permitirá a los usuarios clasificar residuos, visualizar en tiempo real la generación de basura y recibir recomendaciones personalizadas para mejorar sus hábitos de consumo, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la conciencia ecológica. El diseño incluirá una interfaz accesible y atractiva, optimizada para que la interacción sea intuitiva y agradable para los usuarios.

Un aspecto fundamental del proyecto es la integración de funcionalidades que incentiven a los usuarios a reducir sus desechos mediante el seguimiento detallado de sus hábitos de consumo. Los usuarios podrán visualizar gráficos interactivos sobre la cantidad de desechos generados y recibirán reportes personalizados que les ayudarán a identificar áreas de mejora en sus prácticas de consumo y reciclaje. La aplicación busca promover cambios de comportamiento a nivel individual y comunitario, fomentando una cultura de reciclaje en diversos entornos.

El proyecto considera como público objetivo a usuarios de dispositivos móviles con Android e iOS que viven en el departamento de Guatemala, con un enfoque en personas que deseen gestionar sus residuos de manera más responsable. Además de desarrollar una solución tecnológica, se pretende educar a los usuarios sobre la importancia de adoptar prácticas sostenibles, abordando barreras culturales y sociales en la gestión de residuos, especialmente en contextos como el de Guatemala, donde la conciencia sobre reciclaje aún es limitada.

La metodología del proyecto adopta un enfoque centrado en el usuario, mediante iteraciones de prototipos y pruebas con usuarios reales para optimizar la usabilidad de la aplicación. Se utilizarán tecnologías adecuadas para garantizar la compatibilidad multiplataforma e integrar funcionalidades avanzadas, como la inteligencia artificial para la clasificación de desechos.

# CAPÍTULO 7

---

## Metodología

---

La metodología en la que consiste el desarrollo de una aplicación móvil como la que ha sido planteada y mencionada con anterioridad se conforma de varios pasos claves para garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados, y al mismo tiempo desarrollar una experiencia de usuario cómoda, sencilla y que motive a sus usuarios a hacer uso de las funcionalidades de la misma con el objetivo de mantener un *tracking* de basura consumida por los mismos usuarios y, de esta manera, lograr apoyar en la reducción de sus huellas de carbono y en una clasificación correcta de los desechos que son generados en el día a día.

Estos pasos claves pueden resumirse en los siguientes:

1. Investigar la problemática a solucionar a fondo
2. Definir a los usuarios clave y público objetivo del proyecto
3. Recopilar información del público objetivo del proyecto que nos indique las funcionalidades clave a desarrollar
4. Prototipar de forma iterativa evaluando constantemente el proyecto con una base de usuarios de prueba
5. Desarrollar la solución prototipada que se obtenga como resultado del proceso iterativo
6. Evaluar y validar la solución desarrollada
7. Analizar y discutir sobre los resultados obtenidos

Con la realización de los pasos anteriormente mencionados es posible cumplir con los objetivos planteados inicialmente en la fase de definición del proyecto y redacción del protocolo de trabajo de graduación. Con la investigación, definición de usuarios y prototipado de la solución a la problemática investigada se diseñará una interfaz de usuario intuitiva y atractiva para la aplicación móvil planteada. Con el desarrollo de esta solución prototipada se obtendrá como producto final la interfaz gráfica funcional de la aplicación móvil. Con la evaluación y validación de la aplicación y el análisis y discusión de resultados se evaluará la efectividad y la usabilidad de la aplicación móvil. Finalmente, con estos objetivos cumplidos se habrá abordado la problemática de la producción desmedida de basura y su incorrecto procesamiento de manera efectiva, proporcionando una solución que motive a sus usuarios a reducir su consumo de basura y huella de carbono.

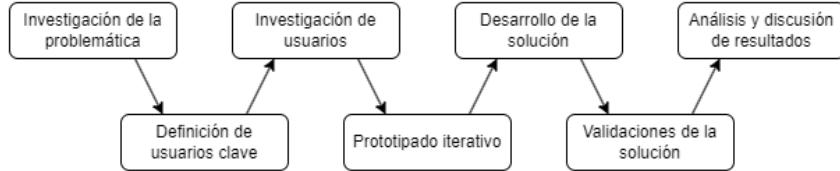


Figura 7.1: Diagrama de resumen de los pasos del proyecto

## 7.1. Enfoque metodológico

El enfoque metodológico del proyecto se basa en el modelo de *design thinking*, un enfoque que promueve la innovación y la resolución creativa de problemas. Este método se caracteriza por ser iterativo y por incluir cinco etapas fundamentales: empatizar, definir, idear, prototipar y testear. El enfoque radica en su capacidad para adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios y para fomentar un entendimiento de los desafíos que enfrentan en su interacción con la gestión de residuos.

En el contexto de la aplicación móvil que se ha mencionado anteriormente, el *design thinking* permite abordar la problemática desde una perspectiva holística. A través de la fase de empatía se busca comprender las motivaciones, comportamientos y necesidades de los usuarios en relación con el reciclaje, la gestión de sus desechos y la reducción de la huella de carbono. Este procedimiento permite identificar las funcionalidades clave que la aplicación debe ofrecer para ser realmente útil y atractiva.

La fase de definición permite establecer claramente el problema que estamos abordando y asegurar que la solución a desarrollar se alinee con las expectativas de los usuarios. Durante la fase de ideación, el plan es generar una variedad de ideas y conceptos para la aplicación, fomentando creatividad al momento de prototipar y desarrollar. Posteriormente, en la etapa de prototipado, se crearán versiones iniciales de la aplicación que serán evaluadas con usuarios reales, lo que proporcionará retroalimentación valiosa.

Finalmente, en la fase de testeo, se realizarán pruebas de usabilidad y satisfacción para garantizar que la solución final cumpla con las expectativas y necesidades de los usuarios. Este enfoque iterativo no solo facilita la incorporación de mejoras continuas, sino que también asegura que la aplicación esté diseñada de manera efectiva para promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos.

## 7.2. Diseño del estudio

El diseño de este estudio se basa en un enfoque descriptivo y exploratorio, centrado en la identificación y comprensión de las necesidades de los usuarios en relación con la gestión de residuos a través de una aplicación móvil. Este enfoque es coherente con el método de *design thinking*, ya que permite un análisis profundo de la problemática antes de desarrollar soluciones concretas.

La investigación se llevará a cabo mediante la recopilación de datos cualitativos y cuantitativos. Se realizan entrevistas y encuestas al público objetivo para identificar las funcionalidades más relevantes y las expectativas de los usuarios. Esta información será crucial para guiar el proceso de diseño y desarrollo de la aplicación, asegurando que responda efectivamente a las necesidades y comportamientos de los usuarios en su esfuerzo por gestionar y reducir sus residuos.

Este diseño permite una iteración constante, donde los hallazgos de la investigación inicial informarán cada fase del proceso de desarrollo, desde la ideación hasta la evaluación de la solución final, todo con el objetivo del diseño de una solución que cumpla los objetivos planteados.

## 7.3. Asesoría con la Municipalidad de Guatemala

Durante la realización del proyecto se contó con el apoyo de la Municipalidad de Guatemala para múltiples asesorías, consejos, documentación y más información importante que, al final del día, cimentó muchas bases y límites para el alcance del proyecto. La Municipalidad compartió conocimientos prácticos y ejemplos de proyectos similares en el área, lo cual ayudó a definir un marco claro para el alcance y los objetivos de nuestro proyecto, asegurando que cada etapa estuviera alineada con los estándares y necesidades de la comunidad.

Un papel clave en este proceso fue desempeñado por el Ingeniero Alejandro Rodríguez, miembro del equipo de la Unidad de Reciclaje de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad, quien actuó como asesor directo para todos los miembros de nuestro equipo de trabajo del megaproyecto tecnológico. Su experiencia en temas de reciclaje y gestión de residuos permitió a nuestro equipo comprender los desafíos específicos de la región, desde las barreras logísticas hasta los aspectos culturales y sociales de la gestión de residuos. La orientación del Ingeniero Rodríguez no solo nos ayudó a diseñar soluciones viables y efectivas, sino que también facilitó una mayor cohesión en el equipo, alinear esfuerzos y reforzar el propósito de nuestra propuesta de forma precisa.

### 7.3.1. Asesoría para la definición del alcance de la aplicación

El acompañamiento del Ingeniero Rodríguez fue muy importante para delinejar el alcance de la aplicación móvil en cuestión a las personas a quienes debía satisfacer la experiencia de usuario a diseñar, permitiéndome enfocar sus funcionalidades en las necesidades y expectativas de los habitantes del departamento de Guatemala. Sus observaciones y conocimientos me ayudaron a adaptar la aplicación para ofrecer una solución accesible y relevante para la comunidad, buscando no solo cumplir con el objetivo del proyecto, sino también contribuir al desarrollo de prácticas sostenibles y al bienestar ambiental del área metropolitana. Por esta razón, múltiples secciones a continuación hacen referencia a la población del departamento de Guatemala y hacen mención a la misma como el público objetivo de la aplicación.

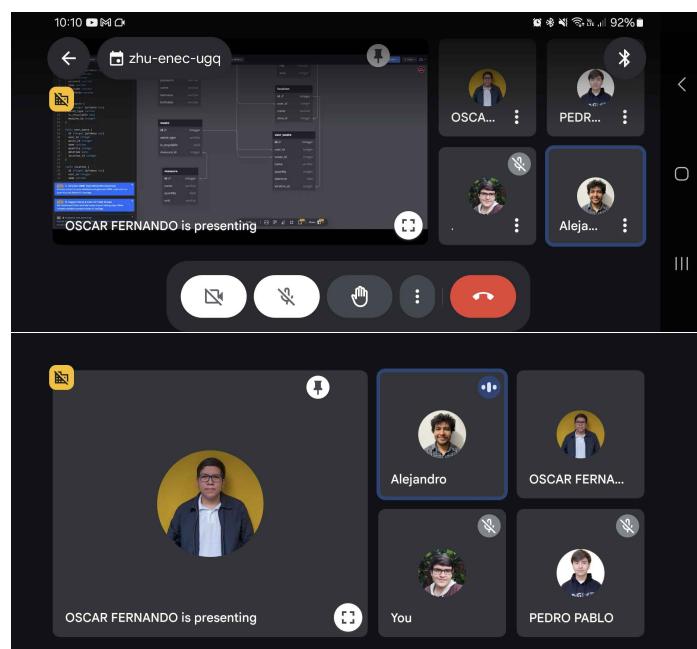


Figura 7.2: Asesorías con la Municipalidad de manera remota

## 7.4. Definición de usuarios

En la sección de alcance se comentó un poco sobre cómo el proyecto busca poder alcanzar a toda la población del departamento de Guatemala. La ciudad tiene una distribución demográfica relativamente bien definida, en el que según el censo llevado a cabo en 2020, la gran mayoría de la población de la misma es joven, ubicada entre la población de niños recién nacidos hasta los 29 años. Tomando en cuenta que la mayor parte de la población del área metropolitana se encuentra en este rango de edad, podemos comenzar a identificar perfiles generalizados de los usuarios que harán uso de la aplicación.

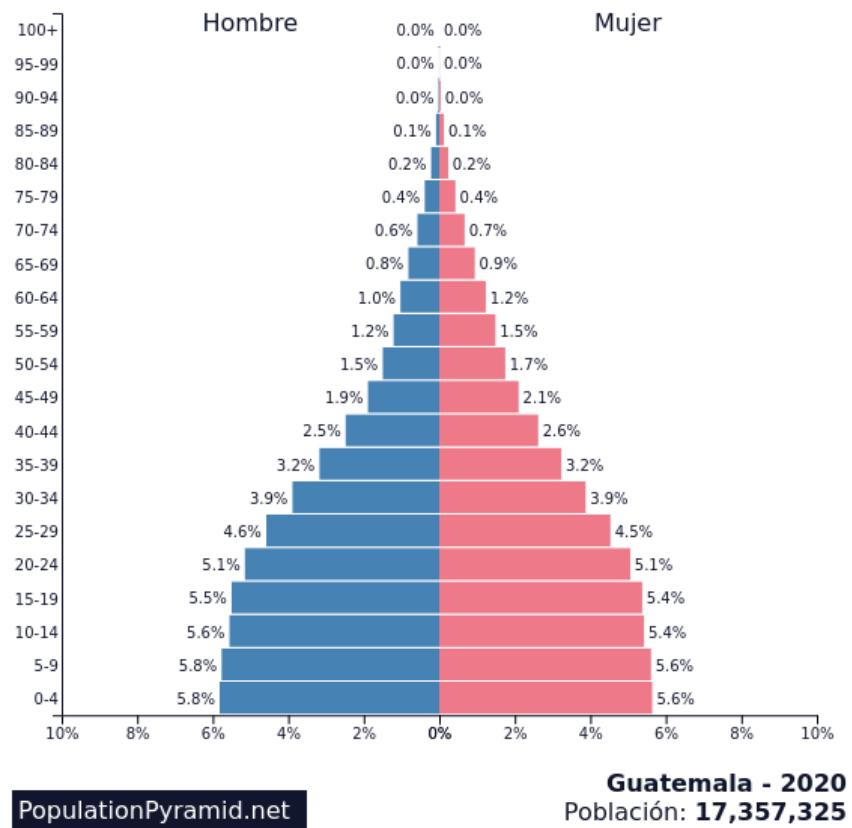


Figura 7.3: Distribución poblacional en Guatemala el año 2020 (PopulationPyramid.net, 2020)

Los usuarios potenciales de la aplicación móvil que se ha plantado hasta el momento abarcan una variedad relativamente amplia de perfiles basados en la población del área metropolitana de Guatemala, lo que incluye desde estudiantes y profesionales jóvenes hasta personas responsables del hogar y adultos mayores. Este amplio espectro de usuarios presenta diferentes niveles de conocimiento sobre reciclaje y sostenibilidad, así como diversas motivaciones para participar en la gestión de sus desechos. También vale la pena mencionar que este espectro de usuarios también presenta diferentes niveles de comprensión de soluciones tecnológicas como lo son una aplicación móvil como la que se planea en el proyecto. Algunos de los perfiles más importantes que se identifican son los siguientes:

1. **Estudiantes:** Este grupo incluye a jóvenes de diferentes niveles educativos. Buscan herramientas que les ayuden a comprender mejor el reciclaje y su impacto ambiental. Son propensos a adoptar nuevas tecnologías y valoran las aplicaciones que incorporan elementos de gamificación y educación.

2. **Profesionales y trabajadores:** Adultos que pasan gran parte de su día en entornos laborales. Están interesados en soluciones prácticas que les permitan gestionar sus residuos de manera eficiente en el hogar y en el trabajo. Buscan funcionalidades que faciliten el registro de su consumo de basura y proporcionen recomendaciones sobre reciclaje.
3. **Responsables del hogar:** Este grupo se centra en quienes se encargan de la gestión del hogar. Necesitan orientación clara sobre cómo clasificar correctamente los desechos y cómo reducir la producción de basura. Buscan herramientas que les ayuden a involucrar a toda la familia en prácticas sostenibles.
4. **Comerciantes y empresarios:** Dueños de pequeñas empresas que buscan maneras de ser más sostenibles en sus operaciones. Están interesados en funcionalidad que les ayude a gestionar residuos generados por su negocio y a implementar prácticas responsables que también atraigan a consumidores conscientes.
5. **Adultos mayores:** Personas con experiencia de vida que desean contribuir al medio ambiente. Aunque pueden tener menos familiaridad con la tecnología, su interés en el reciclaje y la sostenibilidad es fuerte. Es crucial diseñar una interfaz intuitiva y fácil de usar para este grupo.

Con los perfiles principales ubicados podemos tabular un cuadro de los mismos perfiles, resaltando características que proporcionan información importante para pensar en características que aíslan a los perfiles de los demás, motivaciones que tienen para poder utilizar la aplicación a desarrollar, y necesidades que la misma aplicación debe poder satisfacer basadas en las motivaciones anteriormente mencionadas.

Grupo de Usuario	Características	Motivaciones	Necesidades
Estudiantes	Jóvenes de diferentes niveles educativos, tech-savvy	Aprender sobre reciclaje	Herramientas educativas y gamificación
Profesionales y trabajadores	Adultos en entornos laborales	Gestionar residuos eficientemente	Funcionalidades para el registro de basura
Responsables del hogar	Encargados de la gestión del hogar	Reducir la producción de basura	Orientación sobre clasificación de desechos
Comerciantes y empresarios	Dueños de pequeñas empresas que buscan ser más sostenibles	Implementar prácticas responsables	Herramientas para gestionar residuos generados en sus negocios
Adultos mayores	Personas con experiencia de vida	Contribuir al medio ambiente	Interfaz intuitiva y fácil de usar

Tabla 7.1: Perfiles de Usuarios

Este cuadro de perfiles de usuarios proporciona una comprensión integral de los distintos grupos que interactuarán con la aplicación móvil, destacando sus características, motivaciones y necesidades específicas. Esta información es fundamental para el desarrollo de un mapa de empatía, ya que permite profundizar en la experiencia de cada grupo, en este caso, los estudiantes. Al crear el mapa de empatía, se busca explorar no solo qué piensan y sienten los usuarios, sino también cómo se comportan, qué dicen y qué acciones realizan en su vida diaria respecto al reciclaje y la sostenibilidad. Esta conexión entre los perfiles de usuarios y el mapa de empatía garantiza que el diseño de la aplicación se base en una comprensión holística y matizada de los usuarios, facilitando la creación de soluciones efectivas y relevantes que respondan a sus necesidades y aspiraciones.

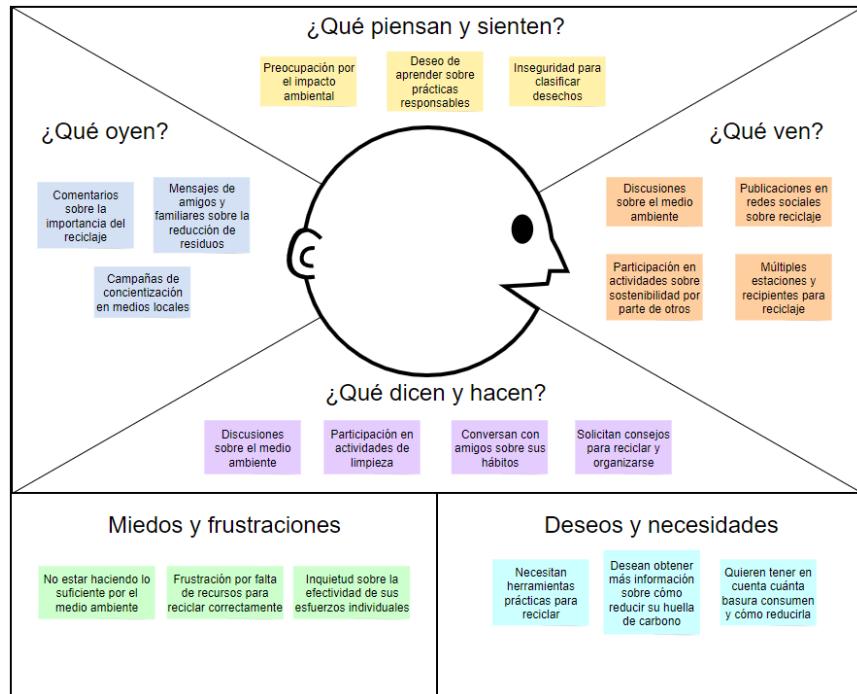


Figura 7.4: Mapa de empatía de un estudiante respecto al tema de reciclaje y gestión de residuos

## 7.5. Población y muestra

Con los perfiles de los usuarios identificados, lo siguiente consiste en obtener una cantidad de personas que podamos tomar en cuenta como muestra de la población del área metropolitana de Guatemala, ya que el proyecto tiene como objetivo satisfacer las necesidades de gestión de residuos y reducción de la huella de carbono de la misma área metropolitana. Tomando en cuenta que la población del área metropolitana, consistente en los 17 municipios de Guatemala, consistía en 3,599,257 personas (CityAdapt, 2024), podemos realizar los cálculos para la obtención de una cantidad de personas que nos podría dar información significativa para cumplir los objetivos del proyecto.

Para calcular el tamaño de la muestra necesario para realizar las encuestas, se utilizaron las siguientes ecuaciones. Primero, se determinó el tamaño de muestra para una población infinita con un margen de error del 5 % y un nivel de confianza del 95 %. La ecuación es:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{e^2}$$

Donde:

- $n$  es el tamaño de muestra.
- $Z$  es el valor Z correspondiente al nivel de confianza (1.96 para un 95 % de confianza).
- $p$  es la proporción esperada (asumimos  $p = 0.5$  para obtener máxima variabilidad).
- $e$  es el margen de error, en este caso 0.05 (5 %).

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$n = \frac{1.96^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5)}{0.05^2} = 384.16$$

Dado que la población objetivo no es infinita, sino que tiene aproximadamente 3,600,000 habitantes, el tamaño de muestra debe ajustarse para una población finita. La ecuación ajustada es:

$$n_{\text{ajustado}} = \frac{n}{1 + \frac{n-1}{N}}$$

Donde:

- $n_{\text{ajustado}}$  es el tamaño de muestra ajustado.
- $N$  es el tamaño de la población, en este caso  $N = 3,599,257$ .

Sustituyendo los valores:

$$n_{\text{ajustado}} = \frac{384.16}{1 + \frac{384.16-1}{3,599,257}} \approx 384$$

Por lo tanto, el tamaño de muestra ajustado para una población finita es aproximadamente 384 personas.

El margen de error del 5 % y el nivel de confianza del 95 % se seleccionaron debido a su amplio uso en estudios sociales y de mercado que buscan obtener resultados representativos de una población sin incurrir en costos excesivos o tiempos de recopilación de datos demasiado prolongados. Un margen de error del 5 % indica que existe un rango de  $\pm 5$  puntos porcentuales alrededor de los resultados obtenidos en la muestra, lo cual es aceptable para investigaciones que no requieren un nivel de precisión extremadamente alto pero aún garantizan conclusiones confiables.

Por otro lado, el nivel de confianza del 95 % asegura que si se repitiera el estudio múltiples veces, en el 95 % de los casos, los resultados estarían dentro del margen de error especificado. Este nivel es ampliamente reconocido y utilizado en investigaciones de opinión pública, encuestas de mercado y estudios académicos porque proporciona un buen balance entre precisión y eficiencia en la recolección de datos. Niveles más altos de confianza (como el 99 %) requerirían un aumento significativo en el tamaño de la muestra, lo que no siempre es factible o necesario, mientras que niveles más bajos podrían comprometer la fiabilidad de los resultados.

## 7.6. Investigación de usuarios

Con el objetivo de conocer mejor a los potenciales usuarios de la aplicación a nivel demográfico y a nivel de conocimientos sobre el tema y necesidades se realizaron múltiples encuestas que nos permitían adquirir información sobre cómo se encuentra el nivel educativo de la muestra de potenciales usuarios respecto a conocimientos sobre clasificación de basura y reciclaje, y también información sobre las necesidades y expectativas que tienen sobre un proyecto como el que se ha planteado hasta el momento.

Para la obtención de estos resultados se realizaron dos encuestas utilizando Google Forms. La primera de ellas busca obtener información demográfica y sobre conocimientos de gestión de residuos y reciclaje de manera general por parte de las personas encuestadas. La segunda de las encuestas busca obtener información sobre las expectativas de los posibles usuarios respecto a las funcionalidades de la aplicación a desarrollar.

### **7.6.1. Encuesta de conocimiento y comportamiento actual sobre gestión de residuos**

La primera de estas dos encuestas desarrolladas en Google Forms se tituló “Conocimiento y comportamiento actual sobre la gestión de residuos en Guatemala”. La misma tenía cuatro secciones muy importantes, que recopilaban información de las siguientes áreas:

- Información demográfica
- Conocimientos sobre la gestión de residuos
- Comportamiento actual en la gestión de residuos
- Actitudes y percepciones

Con el apoyo de las respuestas de la muestra a evaluar se buscó responder algunas de las siguientes inquietudes respecto a los usuarios potenciales de la aplicación:

- ¿Cómo afecta la demografía de los usuarios potenciales a sus expectativas de la aplicación?
- ¿Qué tantos conocimientos tienen los usuarios potenciales de la aplicación en lo que respecta la gestión de residuos?
- ¿Qué percepción actual tienen los usuarios potenciales respecto al reciclaje?
- ¿Cuáles son las dificultades que tienen los usuarios potenciales para gestionar sus residuos?
- ¿Qué dolores debe solventar la aplicación para que a los usuarios potenciales se les facilite gestionar sus residuos y reducir sus huellas de carbono?
- ¿Realmente están dispuestos los usuarios potenciales a generar un cambio en sus hábitos dadas las herramientas necesarias?

### **7.6.2. Encuesta de necesidades y expectativas sobre la aplicación**

Por otro lado, la segunda de estas dos encuestas desarrolladas se tituló “Necesidades y expectativas sobre una aplicación de gestión de residuos en Guatemala”. Esta tenía tres secciones importantes que recopilaban información sobre las siguientes áreas:

- Necesidades de los usuarios
- Expectativas sobre la usabilidad
- Accesibilidad y diseño

Al igual que la encuesta anterior, las respuestas por parte de la muestra a evaluar buscaron responder inquietudes como las siguientes:

- ¿Qué funcionalidades de la aplicación se deben priorizar?
- ¿Qué preferencias tienen los usuarios por ciertas funcionalidades?
- ¿Qué ideas les parecen más útiles a los usuarios?

## 7.7. Prototipado de la solución

El desarrollo del prototipo inicial se llevó a cabo utilizando Figma, una herramienta de diseño colaborativo que permite crear prototipos interactivos de alta fidelidad. Al principio se contaba con varias posibles herramientas para la realización del mismo prototipo. Aparte de Figma, las otras opciones que se tomaron en cuenta consistieron en Adobe XD y Adobe Illustrator. Se eligió Figma debido a su accesibilidad en línea, lo que facilita el acceso desde cualquier dispositivo sin requerir instalaciones adicionales, optimizando el flujo de trabajo y la velocidad en las iteraciones de diseño (Ragan, 2020). A diferencia de Adobe Illustrator, que está más orientado a la creación de gráficos estáticos, Figma permite crear interacciones de usuario de manera más eficiente, simulando una navegación fluida y proporcionando una experiencia más realista del producto final (Singh and Smith, 2021).

Tecnología	Pros	Contras
<b>Figma</b>	Accesible desde cualquier dispositivo con conexión a Internet, permitiendo trabajar de manera ágil sin necesidad de instalaciones adicionales. También ofrece una experiencia de prototipado interactivo de alta fidelidad, permitiendo una navegación fluida para simular la experiencia de usuario final.	Requiere una conexión constante a Internet, lo cual puede ser una limitación en entornos de trabajo sin acceso confiable. Además, algunas de sus funciones avanzadas pueden ser limitadas en comparación con software especializado en diseño gráfico.
<b>Adobe XD</b>	Incluye capacidades de prototipado interactivo y se integra bien con otras aplicaciones de Adobe, lo cual facilita la importación y exportación de archivos en el ecosistema Adobe.	Necesita ser instalado en el dispositivo y tiende a requerir mayor capacidad de hardware. Las funciones de colaboración en tiempo real son menos avanzadas en comparación con Figma, lo cual puede limitar el flujo de trabajo colaborativo.
<b>Adobe Illustrator</b>	Es ideal para el diseño de gráficos y elementos visuales detallados, proporcionando alta precisión en el diseño de componentes individuales. Su capacidad para crear elementos visuales complejos lo hace una opción preferida para gráficos de alta calidad.	No está optimizado para el prototipado interactivo, lo que limita su uso para simular experiencias de usuario. Además, tiene una curva de aprendizaje mayor para la creación de interfaces, siendo menos intuitivo para el diseño de experiencia de usuario en comparación con Figma y Adobe XD.

Tabla 7.2: Comparativa de herramientas de diseño para prototipos.

Ya con una tecnología elegida con el objetivo de desarrollar el prototipo, el proceso se estructuró en tres iteraciones, cada una de las cuales se centró en recoger retroalimentación y realizar mejoras significativas en el diseño de la aplicación. A continuación se describen las formas en las que se obtuvo retroalimentación por parte de potenciales usuarios para cambios a realizar durante el proceso iterativo, y los principales cambios realizados por parte de las tres iteraciones al prototipo, con algunos ejemplos puntuales de cambios.

### 7.7.1. Encuestas sobre el prototipo de la solución

Al finalizar cada una de las iteraciones al prototipo, para complementar el proceso de realizar pruebas con usuarios puntuales, también se realizó una encuesta en la que se presentaban varias de las pantallas diseñadas más importantes de la aplicación con el objetivo de recibir una mayor cantidad de opiniones que permitieran tomar en cuenta aspectos de la aplicación a rediseñar de una forma más sencilla y fácil de esparcir hacia la mayor cantidad de población y usuarios potenciales posibles. Estas encuestas consistían en una estructura bastante sencilla:

1. Presentar una captura con la pantalla a evaluar
2. Solicitar una calificación de 1 a 10 de la pantalla a nivel estético
3. Solicitar comentarios optionales sobre el por qué de la calificación

El objetivo de estas encuestas no sólo es obtener una valoración numérica que indique las pantallas que tienen un mayor margen de mejora, sino también obtener comentarios sobre estas mismas posibles mejoras para implementarlas y evaluar los cambios en las siguientes iteraciones. La sección en la que se solicitan comentarios optionales sobre el por qué de la calificación es, valga la redundancia, opcional, para que las personas encuestadas no inviertan demasiado tiempo en responder y, de esta manera, recibir una mayor cantidad de respuestas. Aunque los comentarios no sean tantos, debido a la simplicidad de los diseños de las pantallas, es muy probable que los potenciales usuarios resalten las mismas posibles mejoras.

### 7.7.2. Resumen de los cambios realizados en cada iteración

- **Primera iteración:** Durante la primera iteración se presentó un prototipo inicial que permitió identificar la falta de ciertas pantallas necesarias para llevar a cabo funcionalidades clave. Esta etapa fue fundamental, ya que la retroalimentación obtenida de los usuarios de prueba destacó áreas que requerían más atención y desarrollo. Un ejemplo puntual consistió en la agregación de una pantalla específica para configurar direcciones de los usuarios.

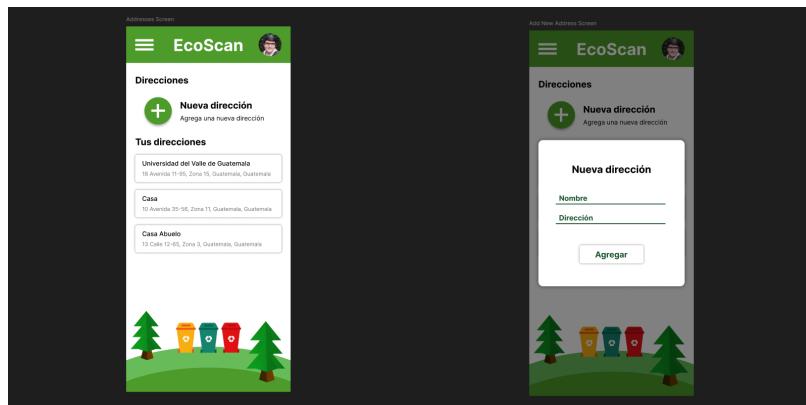


Figura 7.5: Agregación de una pantalla de configuración de direcciones durante la primera iteración del prototipo

- **Segunda iteración:** La segunda iteración del prototipo se centró en mejorar aspectos específicos de la interfaz de usuario. Basado en los comentarios recibidos, se realizaron ajustes en el diseño visual, buscando una estética más atractiva en algunas pantallas y una experiencia de usuario más fluida. Un ejemplo puntual consistió en la mejora significativa de la pantalla de configuración de usuarios que inicialmente no agradó a las personas que probaron la aplicación.

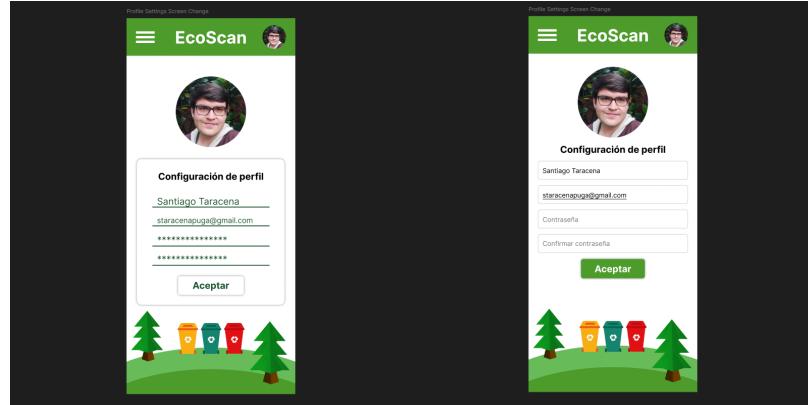


Figura 7.6: Mejoras en la pantalla de configuración de información de los usuarios

- **Tercera iteración:** Durante la tercera se desarrolló el prototipo final. Este prototipo incorporó todas las mejoras sugeridas y se alineó con las expectativas de los usuarios. Se realizaron pruebas de usabilidad para evaluar la efectividad del diseño y asegurarnos de que cumpliera con los objetivos planteados al inicio del proyecto. Este enfoque iterativo no solo garantizó un producto de calidad, sino que también fomentó un diseño centrado en el usuario, maximizando la relevancia y funcionalidad de la aplicación. Un ejemplo puntual de un cambio realizado en esta última iteración consistió en cambiar parte de la paleta de colores para adecuar mejor los colores de botones de acciones como cerrar sesión o eliminar una cuenta.

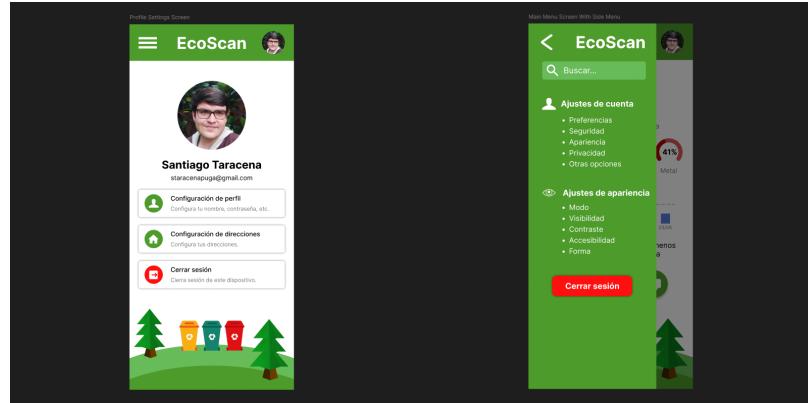


Figura 7.7: Cambios en la paleta de colores para indicar acciones importantes

A través de este proceso iterativo, se logró no solo un prototipo visualmente atractivo, sino también una aplicación funcional que responde a las necesidades y expectativas de los usuarios. La implementación de la retroalimentación en cada fase permitió identificar y abordar áreas críticas, garantizando que el diseño final no solo cumpliera con los requisitos técnicos, sino que también proporcionara una experiencia de usuario fluida y satisfactoria. Este enfoque centrado en el usuario ha sido esencial para el desarrollo de una solución efectiva, reafirmando la importancia de la iteración y la colaboración en el proceso de diseño. Con el prototipo final terminado, el cual fue producto de las iteraciones realizadas, se procedió a la etapa de desarrollo de la interfaz gráfica de la solución planteada.

## 7.8. Desarrollo de la interfaz gráfica de la aplicación

El desarrollo de la interfaz gráfica de la aplicación se llevó a cabo utilizando tecnologías modernas y robustas, específicamente JavaScript, React Native y Node.js. La elección de estas tecnologías fue estratégica y se fundamentó en su capacidad para proporcionar una experiencia de usuario fluida y un desarrollo eficiente para poder ser cumplido en los aproximadamente cinco meses de desarrollo del trabajo de graduación en cuestión. JavaScript es un lenguaje de programación versátil que permite tanto el desarrollo del frontend como del backend, lo que facilita la comunicación y la integración entre ambas partes de la aplicación. Por su parte, Node.js se utilizó para construir el backend de la aplicación, lo que permite manejar solicitudes de manera eficiente y escalar la aplicación según sea necesario. La elección de estas dos tecnologías principales anteriormente mencionadas va especialmente de la mano con la elección de React Native, la cual es una librería que permite desarrollar interfaces gráficas para aplicaciones móviles en plataformas como iOS y Android, lo cual se consideró necesario dado que según las estadísticas proporcionadas por StatCounter (Stats, nd), el 77 % de los usuarios de dispositivos móviles en el país utilizan Android, mientras que el 23 % restante prefieren iOS. Esta distribución significativa de usuarios entre ambas plataformas indica la importancia de desarrollar una aplicación móvil que pueda satisfacer las necesidades de ambos grupos de usuarios de manera eficiente y efectiva.

Tecnología	Pros	Contras
<b>React Native</b>	Código reutilizable para Android e iOS. Gran comunidad y soporte. Acceso a componentes nativos.	Dependencia de bibliotecas externas. Rendimiento inferior en comparación con aplicaciones nativas. Curva de aprendizaje para nuevos desarrolladores.
<b>Flutter</b>	Alta velocidad de desarrollo. Rendimiento cercano al nativo. Personalización de la interfaz de usuario.	Tamaño de la aplicación más grande. Comunidad más pequeña en comparación con React Native. Algunos widgets pueden requerir ajustes para la plataforma.
<b>Xamarin</b>	Integración con Visual Studio. Código compartido con .NET. Acceso a APIs nativas.	Curva de aprendizaje para desarrolladores no familiarizados con C#. Tamaño de la aplicación más grande. Dependencia de la plataforma para el rendimiento.
<b>Ionic</b>	Basado en tecnologías web (HTML, CSS, JavaScript). Fácil de aprender para desarrolladores web. Gran cantidad de plugins disponibles.	Rendimiento inferior en comparación con aplicaciones nativas. Limitaciones en la funcionalidad nativa. Dependencia de WebView para renderizar la interfaz.
<b>Android Studio</b>	Herramienta oficial para desarrollo en Android. Acceso completo a APIs y bibliotecas nativas. Amplias opciones de depuración y pruebas.	Solo para Android, no multiplataforma. Requiere conocimientos de Java o Kotlin. Puede ser pesado y consumir muchos recursos.
<b>Swift</b>	Alto rendimiento para aplicaciones iOS. Código limpio y fácil de leer. Integración completa con el ecosistema de Apple.	Solo para desarrollo en iOS. Curva de aprendizaje para nuevos desarrolladores. Necesidad de mantener el código separado para iOS y Android.

Tabla 7.3: Comparativa de tecnologías para desarrollo móvil

El desarrollo de la aplicación comenzó con la creación de las pantallas iniciales de inicio de sesión y registro. Estas pantallas son fundamentales, ya que establecen la primera interacción del usuario con la aplicación. Se diseñaron con un enfoque en la usabilidad, garantizando que fueran intuitivas y accesibles. La pantalla de registro incluye campos obligatorios que permiten a los usuarios ingresar información relevante, como su correo electrónico y contraseña. A medida que el desarrollo avanzaba, se crearon tanto la pantalla principal de la aplicación como las pantallas de configuración de datos del usuario. Estas pantallas permiten a los usuarios personalizar su experiencia en la aplicación, ingresando información relevante sobre sus hábitos de consumo y preferencias de reciclaje. La interfaz se diseñó para ser clara y fácil de navegar, facilitando el ingreso y la edición de datos. Se incluyeron opciones para agregar direcciones para tomar en cuenta el consumo de basura dada cierta dirección y localización geográfica.

Además, se desarrollaron pantallas para el análisis de la información recabada por la aplicación. Estas pantallas son cruciales, ya que ofrecen a los usuarios una visión clara de sus hábitos de reciclaje y consumo, permitiéndoles identificar áreas de mejora. Se implementaron gráficos interactivos y resúmenes visuales que muestran el impacto de las acciones del usuario a lo largo del tiempo. Se garantizó que la información se presentara de manera atractiva y fácil de interpretar, lo que motiva a los usuarios a continuar utilizando la aplicación y adoptar prácticas más sostenibles.

Finalmente, durante el proceso de desarrollo, se realizaron pruebas continuas para garantizar la funcionalidad y la estabilidad de la aplicación. Esto incluyó pruebas de usabilidad con un grupo diverso de usuarios, lo que permitió identificar áreas de mejora y optimizar la experiencia general. La combinación de estas tecnologías y un enfoque centrado en el usuario ha sido clave para crear una aplicación que no solo es funcional, sino que también se alinea con las necesidades y expectativas de los usuarios en su camino hacia un consumo más sostenible.

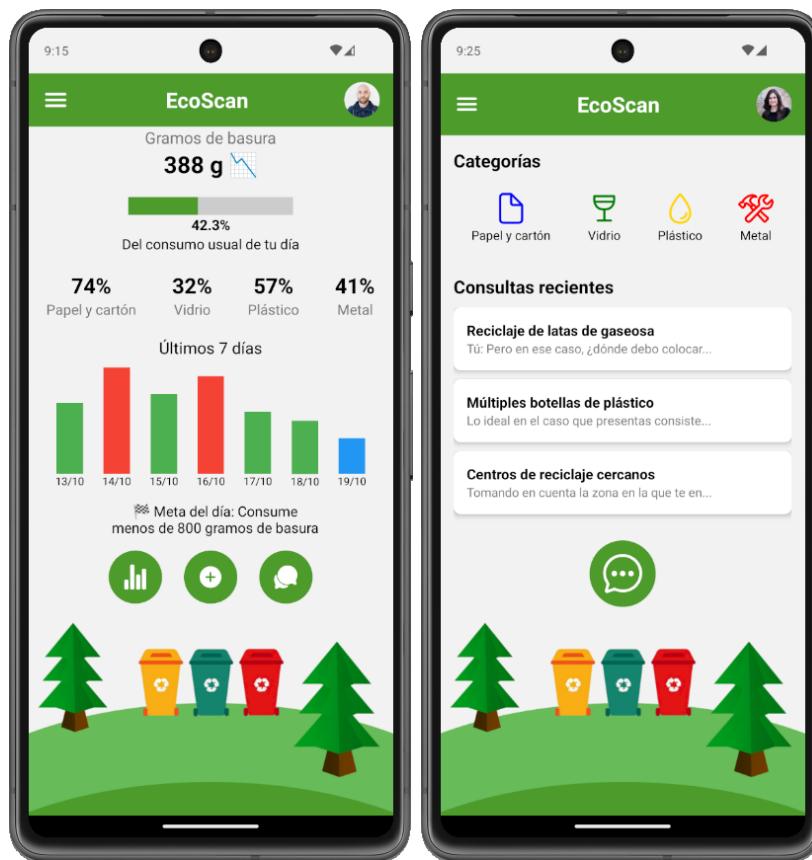


Figura 7.8: Pantallas de la aplicación en desarrollo

### 7.8.1. Priorización de funcionalidades

Para asegurar un desarrollo eficiente y enfocado en los objetivos centrales del proyecto, se priorizaron algunas de las funcionalidades sobre otras. Las características de la aplicación fueron clasificadas en función de su impacto en la experiencia de usuario y su relevancia para la resolución de la problemática planteada. Las funcionalidades de mayor prioridad son aquellas que promuevan directamente la reducción de residuos y el reciclaje, mientras que otras características más complementarias, como la gamificación, fueron implementadas en etapas posteriores del desarrollo.

## 7.9. Evaluación final a la aplicación funcional

Se llevaron a cabo pruebas de usabilidad para evaluar la intuitividad de la aplicación móvil, centradas en diversas acciones clave que los usuarios realizarían en su día a día usando la solución desarrollada. Durante estas pruebas, se midió el tiempo que los participantes tardaban en completar tareas específicas, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Crear una cuenta
- Iniciar sesión
- Registrar un consumo de basura
- Formular una pregunta al *chatbot*
- Cambiar foto de perfil
- Agregar una dirección
- Revisar analíticas diarias

Este enfoque permitió identificar no solo la eficiencia de la aplicación, sino también cualquier posible obstáculo que los usuarios pudieran encontrar durante su interacción.

Para obtener una comprensión más profunda del comportamiento del usuario, se formaron dos grupos. El primer grupo realizó las pruebas de usabilidad convencionales, donde se tomó nota del tiempo de respuesta y se recopilaron observaciones cualitativas sobre su experiencia. Por otro lado, el segundo grupo utilizó tecnología de *eye tracking* durante las mismas pruebas mediante el uso de un aparato para esta técnica llamado Tobii Eye Tracker 5. Esta técnica proporciona resultados más visuales y detallados sobre cómo los usuarios navegan por la interfaz de la aplicación. Al rastrear el movimiento de los ojos, es posible identificar los elementos que captan más atención, así como aquellos que pueden causar distracción o confusión.

Los resultados de ambas pruebas se compararán para obtener una visión integral sobre la usabilidad de la aplicación. El análisis de los resultados generados tanto por estas últimas evaluaciones como las anteriores proporcionarán material para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente durante la concepción del proyecto.

# CAPÍTULO 8

---

## Resultados

---

A lo largo de las múltiples etapas por las que pasó el desarrollo del proyecto, se pudo observar que varias de ellas producían resultados importantes para la toma de decisiones a lo largo del mismo desarrollo del prototipo, aplicación en código y validaciones finales del proyecto. Cada conjunto de resultados obtenido por una sección del desarrollo de la metodología del proyecto produjo información de suma importancia para la continuación de la siguiente etapa a trabajar. Entre las secciones que brindaron resultados importantes se encuentran la investigación inicial de usuarios, prototipado iterativo de la solución, y desarrollo de la interfaz gráfica de la aplicación. Finalmente, también se generaron resultados finales probando y validando la aplicación finalizada en código, los cuales también fueron extremadamente importantes para la generación de material para discusión y conclusiones respecto al proyecto.

### 8.1. Investigación inicial de usuarios

La investigación inicial de usuarios realizada consistió en dos encuestas de Google Forms que se mencionaron anteriormente, las cuales tenían como objetivo recaudar información sobre conocimientos y comportamiento actual sobre la gestión de residuos por parte de los potenciales usuarios de la aplicación, y también información sobre necesidades y expectativas para la aplicación por parte de los mismos potenciales usuarios. Según cálculos realizados, para la obtención de información significativa eran necesarias aproximadamente 384 respuestas a cada una de las encuestas. Se logró obtener 448 respuestas en la primera encuesta y 427 respuestas en la segunda, por lo que los resultados de las mismas representan efectivamente la población que constituye el público objetivo de la aplicación.

#### 8.1.1. Resultados de la investigación sobre conocimientos y comportamientos actuales sobre la gestión de residuos de los usuarios

A continuación se presentan los resultados provistos por parte de las respuestas a la primera encuesta elaborada, la cual tuvo como objetivo obtener resultados sobre conocimientos y comportamientos en lo que respecta la gestión de residuos por parte de la muestra establecida de usuarios potenciales de la aplicación.

¿Cuál es tu rango de edad?

448 respuestas

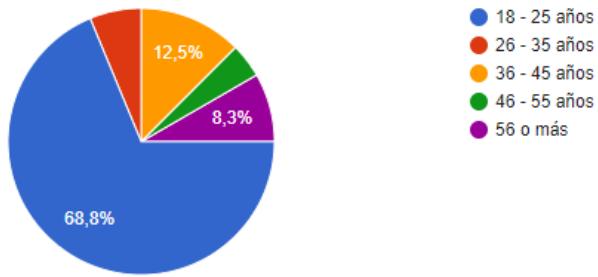


Figura 8.1: Resultados a la pregunta: ¿Cuál es tu rango de edad?

¿En qué municipio vives?

448 respuestas

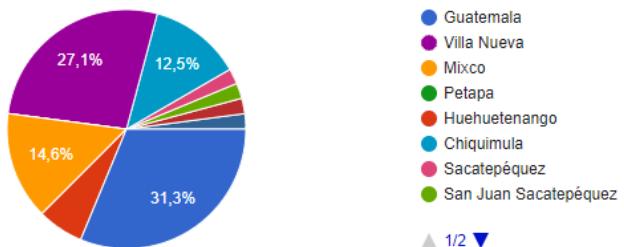


Figura 8.2: Resultados a la pregunta: ¿En qué municipio vives?

¿Cuál es tu nivel educativo?

448 respuestas

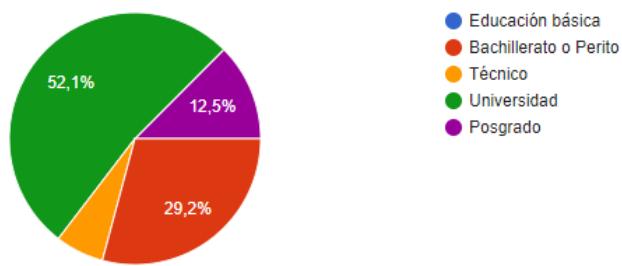


Figura 8.3: Resultados a la pregunta: ¿Cuál es tu nivel educativo?

¿Cuánto sabes sobre la clasificación de residuos?

448 respuestas

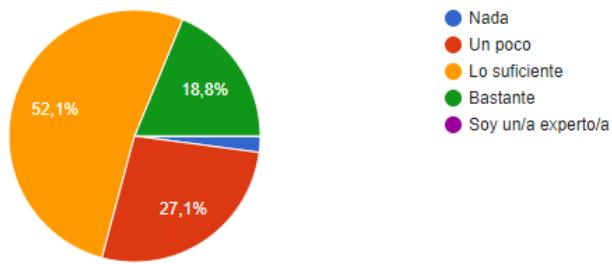


Figura 8.4: Resultados a la pregunta: ¿Cuánto sabes sobre la clasificación de residuos?

¿Sabes identificar los diferentes tipos de residuos (orgánicos, reciclables, peligrosos, etc.)?

448 respuestas

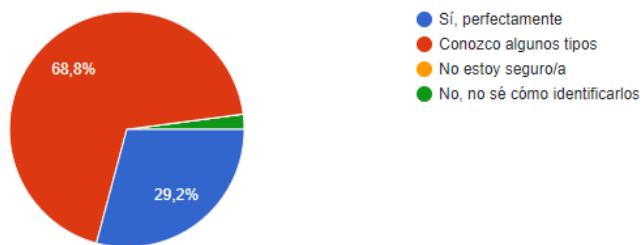


Figura 8.5: Resultados a la pregunta: ¿Sabes identificar los diferentes tipos de residuos (orgánicos, reciclables, peligrosos, etc.)?

¿Estás familiarizado/a con los símbolos de reciclaje en los productos?

448 respuestas

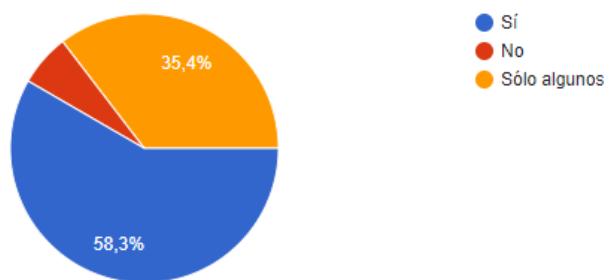


Figura 8.6: Resultados a la pregunta: ¿Estás familiarizado/a con los símbolos de reciclaje en los productos?

¿Conoces las políticas locales de gestión de residuos en tu comunidad?

448 respuestas

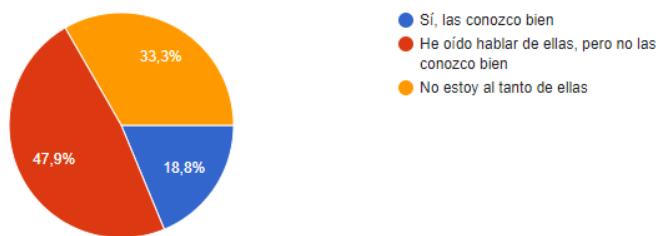


Figura 8.7: Resultados a la pregunta: ¿Conoces las políticas locales de gestión de residuos en tu comunidad?

¿Sabes a dónde va la basura que produces?

448 respuestas

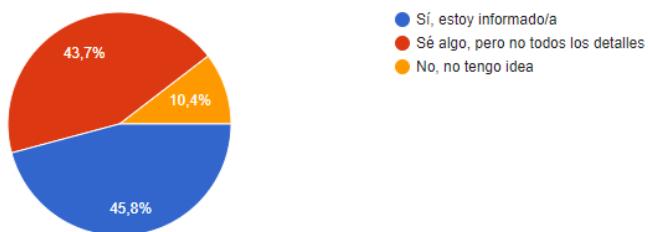


Figura 8.8: Resultados a la pregunta: ¿Sabes a dónde va la basura que produces?

¿Con qué frecuencia reciclas?

448 respuestas

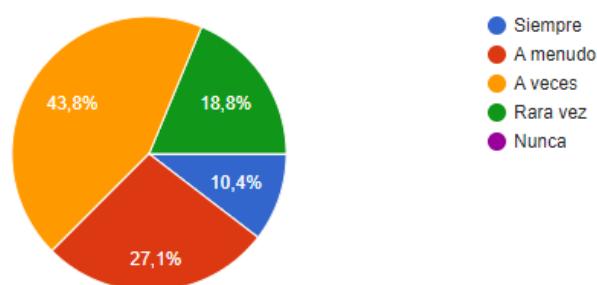


Figura 8.9: Resultados a la pregunta: ¿Con qué frecuencia reciclas?

¿Tienes un sistema de clasificación de residuos en tu hogar?

448 respuestas

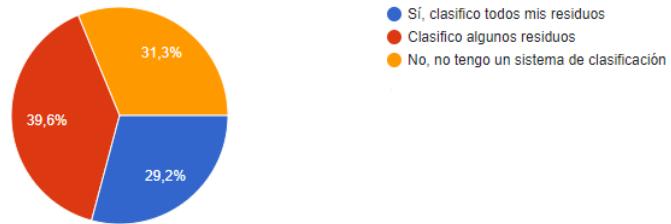


Figura 8.10: Resultados a la pregunta: ¿Tienes un sistema de clasificación de residuos en tu hogar?

¿Qué tipo de residuos clasificas regularmente? (Selecciona todos los que apliquen)

448 respuestas

[Copiar gráfico](#)

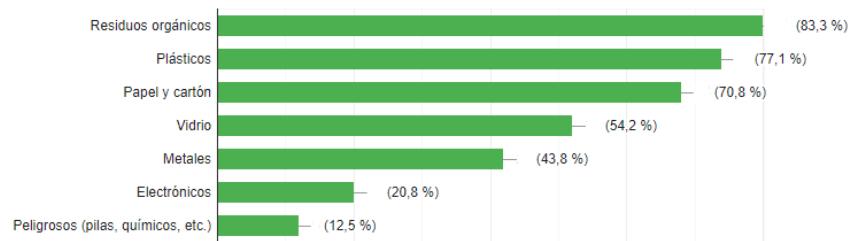


Figura 8.11: Resultados a la pregunta: ¿Qué tipo de residuos clasificas regularmente?

¿Utilizas alguna aplicación o recurso digital para ayudarte en la gestión de residuos?

448 respuestas

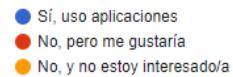


Figura 8.12: Resultados a la pregunta: ¿Utilizas alguna aplicación o recurso digital para ayudarte en la gestión de residuos?

¿Qué es lo más desafiante al momento de gestionar tus recursos?

448 respuestas

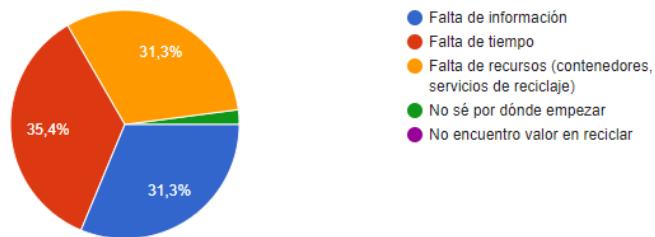


Figura 8.13: Resultados a la pregunta: ¿Qué es lo más desafiante al momento de gestionar tus recursos?

¿Has recibido alguna educación formal o informal sobre la gestión de residuos?

448 respuestas



Figura 8.14: Resultados a la pregunta: ¿Has recibido alguna educación formal o informal sobre la gestión de residuos?

¿Qué tan importante crees que es reciclar y gestionar los residuos correctamente?

448 respuestas

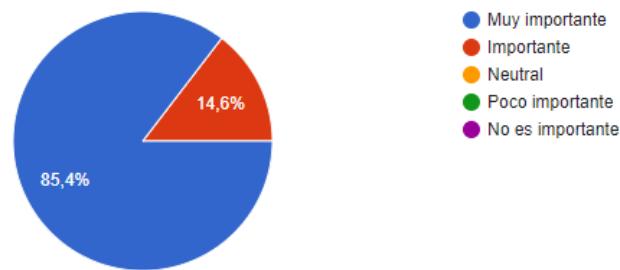


Figura 8.15: Resultados a la pregunta: ¿Qué tan importante crees que es reciclar y gestionar los residuos correctamente?

¿Crees que gestionar bien los residuos puede tener un impacto positivo en el medio ambiente?

448 respuestas

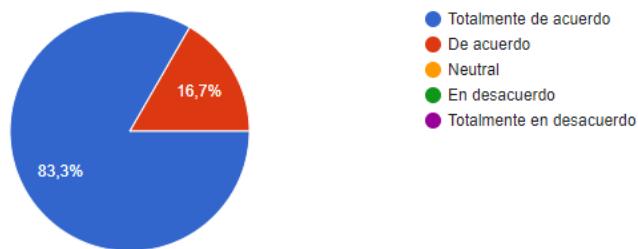


Figura 8.16: Resultados a la pregunta: ¿Crees que gestionar bien los residuos puede tener un impacto positivo en el medio ambiente?

¿Estarías dispuesto/a a cambiar tus hábitos de consumo si supieras que reduce tu huella de carbono?

448 respuestas

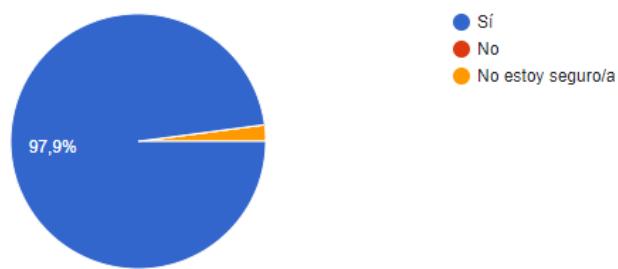


Figura 8.17: Resultados a la pregunta: ¿Estarías dispuesto/a a cambiar tus hábitos de consumo si supieras que reduce tu huella de carbono?

## 8.1.2. Resultados de la investigación sobre necesidades y expectativas de los usuarios sobre la aplicación

Por otro lado, también se obtuvieron los siguientes resultados en lo que respecta a la investigación sobre necesidades y expectativas por parte de los potenciales usuarios sobre la aplicación a desarrollar.

¿Qué funcionalidades te gustaría que tuviera una aplicación de gestión de residuos?

427 respuestas

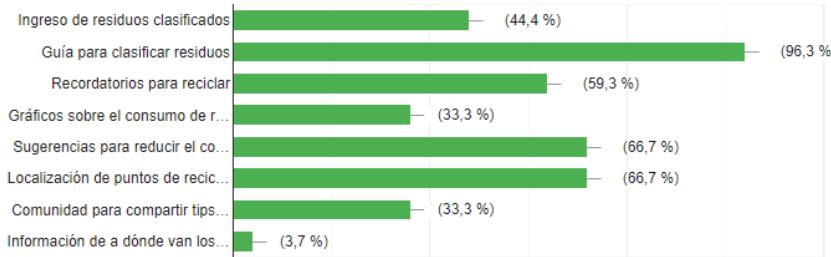


Figura 8.18: Resultados a la pregunta: ¿Qué funcionalidades te gustaría que tuviera una aplicación de gestión de residuos?

¿Qué tipo de información te gustaría recibir de la aplicación?

427 respuestas

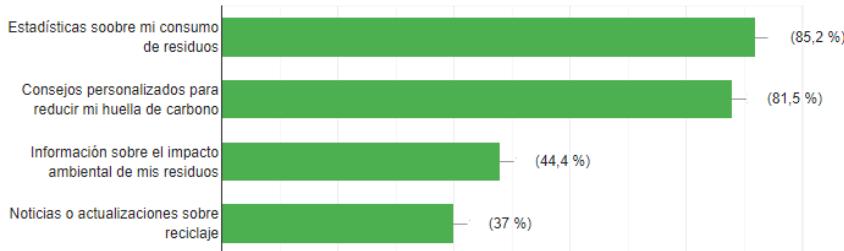


Figura 8.19: Resultados a la pregunta: ¿Qué tipo de información te gustaría recibir de la aplicación?

¿Qué te motivaría a usar una aplicación de gestión de residuos regularmente?

427 respuestas

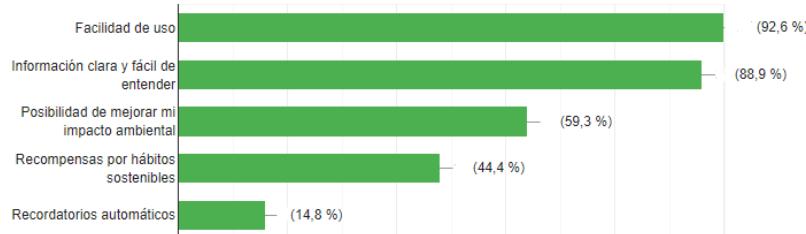


Figura 8.20: Resultados a la pregunta: ¿Qué te motivaría a usar una aplicación de gestión de residuos regularmente?

¿Qué tan importante es para ti que la aplicación sea fácil de usar?

427 respuestas

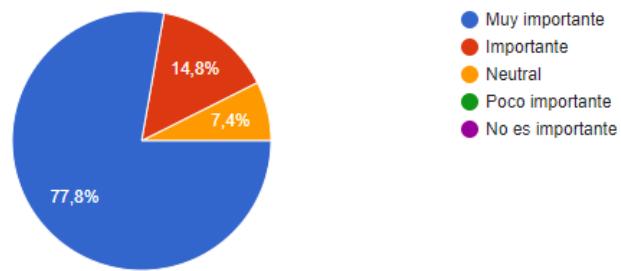


Figura 8.21: Resultados a la pregunta: ¿Qué tan importante es para ti que la aplicación sea fácil de usar?

¿Cómo preferirías que la aplicación te notificara sobre la gestión de tus residuos?

427 respuestas

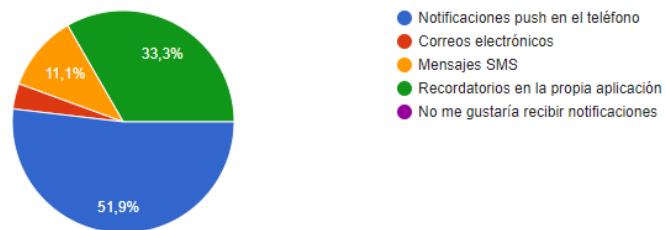


Figura 8.22: Resultados a la pregunta: ¿Cómo preferirías que la aplicación te notificara sobre la gestión de tus residuos?

¿Qué tan importante es la personalización en la experiencia de la aplicación?

427 respuestas

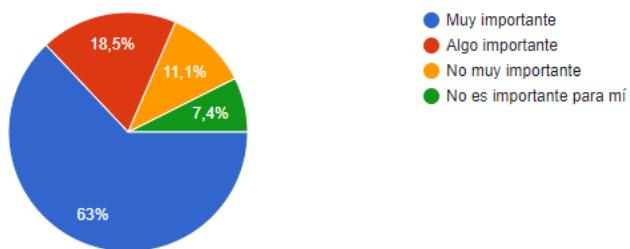


Figura 8.23: Resultados a la pregunta: ¿Qué tan importante es la personalización en la experiencia de la aplicación?

¿Qué te parecería más útil en una aplicación móvil?

427 respuestas

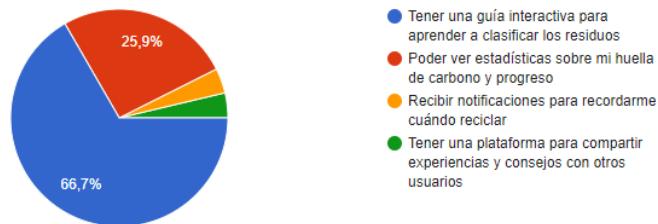


Figura 8.24: Resultados a la pregunta: ¿Qué te parecería más útil en una aplicación móvil?

¿Qué tan importante es para ti que la aplicación tenga un diseño visualmente atractivo?

427 respuestas

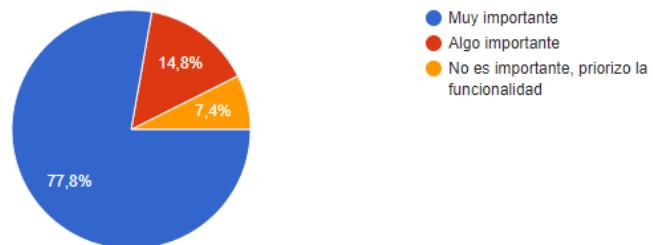


Figura 8.25: Resultados a la pregunta: ¿Qué tan importante es para ti que la aplicación tenga un diseño visualmente atractivo?

¿Qué dispositivo usarías principalmente para acceder a la aplicación?

427 respuestas

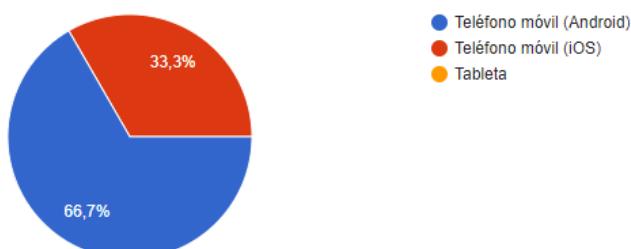


Figura 8.26: Resultados a la pregunta: ¿Qué dispositivo usarías principalmente para acceder a la aplicación?

## 8.2. Desarrollo iterativo del prototipo

Con los perfiles de los potenciales usuarios identificados correctamente, en conjunto de la investigación, recabación y análisis de resultados detallados en la sección anterior, fue posible el desarrollo iterativo del prototipo de alta fidelidad de la solución planteada. Como se detalló anteriormente, los resultados provienen tanto de encuestas realizadas durante cada iteración, como de pruebas con usuarios puntuales. Las encuestas fueron respondidas por 289 personas en la primera iteración, 314 personas en la segunda iteración, y finalmente 295 personas en la tercera y última iteración. También se evaluó puntualmente a 5 personas, una que entraba en cada uno de los perfiles definidos anteriormente.

### 8.2.1. Resultados de la primera iteración del prototipo

La siguiente figura indica los resultados en lo que respecta al puntaje promedio recibido por cada una de las pantallas de la aplicación que fueron colocadas en la encuesta. Estas pantallas, de manera respectiva, son la pantalla inicial, la pantalla de inicio de sesión, el menú principal, la pantalla de configuración de perfil, la pantalla de analíticas, la pantalla de ingreso de datos, la pantalla de conversaciones con el modelo para dudas sobre clasificación y la pantalla para conversar con el modelo en sí.

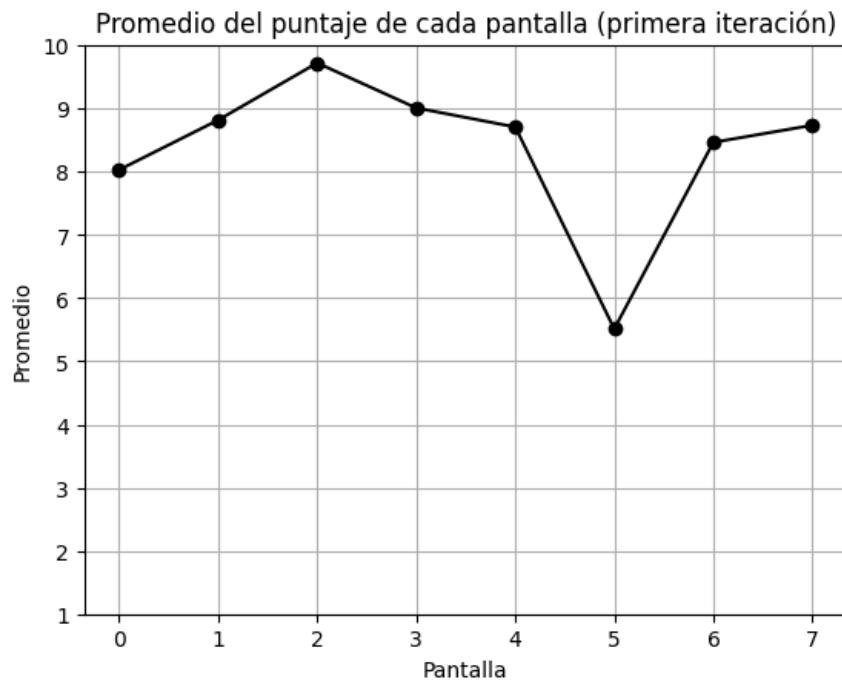


Figura 8.27: Resultados de las calificaciones de la primera iteración del prototipo

Al mismo tiempo, junto con los resultados del puntaje de cada pantalla presentada, también se tienen como resultados múltiples comentarios para cada una de estas pantallas. A continuación se incluye un cuadro con varios de los comentarios más frecuentes para cada una de las pantallas presentadas, ya sean opiniones positivas o sugerencias de cambios.

Pantalla	Comentarios
Pantalla inicial	En general los comentarios a la pantalla fueron muy positivos. Sin embargo, una sugerencia que se recibió fue que el botón para ingresar se encontraba muy abajo en la pantalla.
Pantalla de inicio de sesión	Muy buenos comentarios. Se recibieron sugerencias sobre cómo los botones son del mismo color que el fondo de la pantalla, lo que puede llegar a ser un poco confuso.
Pantalla de menú principal	La pantalla principal fue la que tuvo mejores calificaciones con diferencia. Se recibieron comentarios sobre cómo la información desplegada era compacta y fácil de comprender.
Pantalla de configuración de perfil	Buenos comentarios. Se comentó de forma positiva la distribución de los botones.
Pantalla de analíticas de consumo	Buenos comentarios en general. Se recibieron comentarios que indicaban que no se comprendía el objetivo del botón "Aceptar".
Pantalla de ingreso de datos	Con diferencia la pantalla peor recibida. Se comentó que era complicado entender el flujo de la inserción de información debido a la distancia entre los campos para ingreso de información y los íconos también resultaban confusos.
Pantalla de chats con el modelo	Se recibieron comentarios positivos. Una de las sugerencias recibidas consistió en explicar qué significan los botones de la parte de arriba de la pantalla.
Pantalla para conversar con el modelo	Los comentarios fueron muy positivos. Se comentó la similitud con otras pantallas de aplicaciones para modelos similares.

Tabla 8.1: Comentarios y retroalimentación sobre la primera iteración del prototipo

### 8.2.2. Resultados de la segunda iteración del prototipo

En la segunda iteración al prototipo se hicieron varios de los cambios sugeridos durante la retroalimentación recibida con respecto a la primera iteración del prototipo. Los resultados de la encuesta durante la segunda iteración fueron los siguientes.

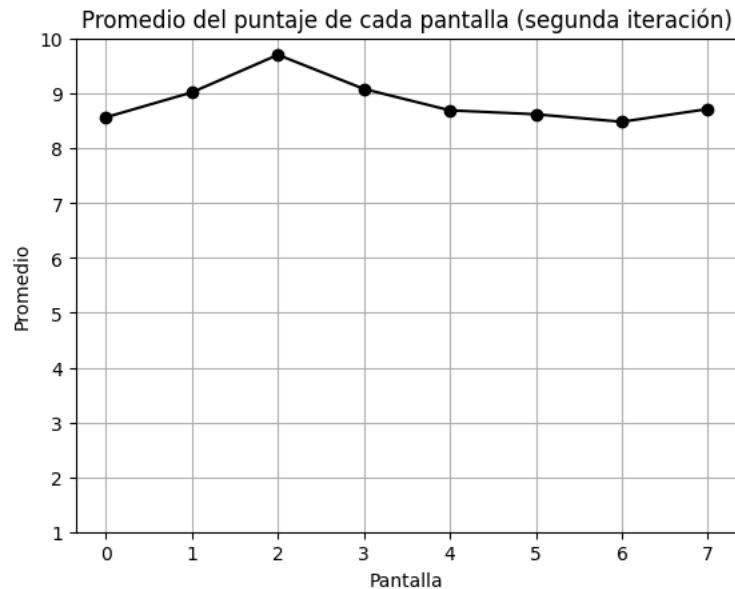


Figura 8.28: Resultados de las calificaciones de la primera iteración del prototipo

Junto con los resultados obtenidos por parte de la encuesta respectiva a la segunda iteración del prototipo, también se obtuvieron nuevos comentarios respecto a los cambios que se implementaron en las pantallas nuevas. Algunos de estos comentarios se encuentran resumidos en el siguiente cuadro.

Pantalla	Comentarios
Pantalla inicial	Se obtuvieron más comentarios positivos. No hubo mención de posibles mejoras.
Pantalla de inicio de sesión	Los comentarios volvieron a ser muy positivos. Se sugirió dejar más espacio entre algunos elementos.
Pantalla de menú principal	Esta pantalla volvió a ser la que mejor se recibió. No hubieron mejoras notables sugeridas.
Pantalla de configuración de perfil	Se recibieron buenos comentarios. Se sugirió cambiar el color de botones que hacen acciones importantes como cerrar sesión.
Pantalla de analíticas de consumo	Se obtuvieron comentarios muy positivos y no se comentó más sobre botones sin un sentido luego de los cambios.
Pantalla de ingreso de datos	Los comentarios sobre esta pantalla fueron mucho más positivos. Se sugirió agrandar un poco el botón para subir una fotografía del desecho a reportar.
Pantalla de chats con el modelo	Se recibieron comentarios muy positivos. No hubieron mejoras notables sugeridas.
Pantalla para conversar con el modelo	Se volvieron a recibir comentarios positivos sobre la similitud a otras aplicaciones.

Tabla 8.2: Comentarios y retroalimentación sobre la segunda iteración del prototipo

### 8.2.3. Resultados de la tercera iteración del prototipo

Finalmente, la tercera iteración produjo resultados muy positivos que afirmaron que la usabilidad y la estética del prototipo estaba lista para ser llevada a la etapa de desarrollo. A continuación se encuentran los resultados obtenidos para las pantallas.

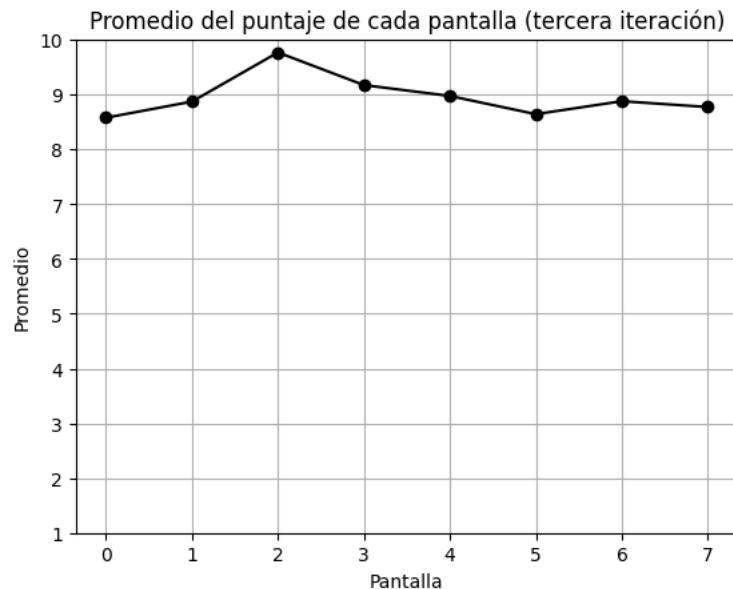


Figura 8.29: Resultados de las calificaciones de la primera iteración del prototipo

Los comentarios obtenidos sobre el resultado de la tercera iteración al prototipo también fueron muy positivos. A continuación se encuentra un cuadro con los comentarios recibidos.

Pantalla	Comentarios
Pantalla inicial	Se obtuvieron comentarios positivos y de satisfacción respecto al resultado final de la pantalla.
Pantalla de inicio de sesión	Los comentarios fueron muy positivos y no hubieron sugerencias particulares.
Pantalla de menú principal	La pantalla tuvo un excelente recibimiento y no hubieron posibles mejoras planteadas.
Pantalla de configuración de perfil	Se recibieron comentarios muy positivos, especialmente respecto al cambio de color de botones de acciones como cierre de sesión.
Pantalla de analíticas de consumo	Los comentarios volvieron a ser muy positivos. Sin embargo esta pantalla sí tuvo como posible mejora agregar más gráficos que permitan visualizar el consumo de basura de los usuarios.
Pantalla de ingreso de datos	La mejora en la pantalla fue notoria, los comentarios recibidos fueron muy positivos y no se sugirió algún cambio. Se comentó positivamente la simplicidad de la pantalla.
Pantalla de chats con el modelo	Los comentarios recibidos fueron positivos y no se plantearon posibles mejoras.
Pantalla para conversar con el modelo	Se volvieron a recibir comentarios muy positivos que apreciaban lo intuitivo de la pantalla.

Tabla 8.3: Comentarios y retroalimentación sobre la tercera iteración del prototipo

### 8.3. Evaluación final a la aplicación funcional

Los resultados de las pruebas de usabilidad revelan que el tiempo que los usuarios requieren para completar ciertas acciones en la aplicación varía. Crear una cuenta tomó un promedio de 54.37 segundos. Iniciar sesión fue relativamente rápido, con un promedio de 50.86 segundos, y registrar un consumo de basura fue aún más ágil, completándose en 43.11 segundos en promedio. Formular una pregunta al chatbot tomó 62.09 segundos. En cuanto a la personalización del perfil, cambiar la foto de perfil fue una acción sencilla, con un promedio de 39.30 segundos, mientras que agregar una dirección fue la tarea más prolongada, con 68.44 segundos. Observar las analíticas del día fue la acción más rápida, con un promedio de 20.16 segundos. Estos resultados destacan las fortalezas y las áreas de mejora para lograr una experiencia de usuario más fluida. A continuación se presenta un cuadro con los tiempos promedio de cada una de las acciones realizadas en las pruebas de usabilidad. En cuestión a comentarios y resultados cualitativos, los comentarios por parte de los usuarios que pudieron probar la aplicación fueron muy positivos, destacando cómo la mayoría de acciones no tomaba mucho tiempo y las sesiones en promedio de uso de la aplicación eran rápidas.

Acción	Tiempo Promedio (segundos)
Crear una cuenta	54.37
Iniciar sesión	50.86
Registrar basura	43.11
Preguntar al chatbot	62.09
Cambiar foto de perfil	39.30
Agregar dirección	68.44
Observar analíticas	20.16

Tabla 8.4: Resultados de las pruebas de usabilidad

Por otro lado también se obtuvieron resultados por parte del proceso de la realización de las pruebas utilizando la técnica de *eye tracking*. Dependiendo de las acciones a realizar, es posible observar cómo las miradas de los usuarios se dirigen a los lugares exactos que forman parte del procedimiento de las acciones a realizar. Durante las pruebas realizadas se pudo observar cómo los mapas de calor generados por el *eye tracking* mostraban que la gran mayoría de interacción por parte de los usuarios con las pantallas se realizaba directamente a los botones que eran necesarios para realizar las acciones solicitadas. También es posible observar cómo las miradas también se enfocaban a múltiples elementos complementarios como gráficos e incluso el teclado del emulador utilizado para las pruebas.



Figura 8.30: Resultados del *eye tracking* en pantallas como la principal y la de configuración de perfil

# CAPÍTULO 9

---

## Análisis de resultados

---

### 9.1. Usuarios identificados

Los resultados de las primeras encuestas realizadas proporcionaron información de suma importancia para poder definir no sólo los perfiles de los usuarios potenciales de la aplicación, sino también información que fue vital para definir las funcionalidades más importantes de la aplicación y la orientación que su desarrollo debía tomar en general. Los resultados demográficos permitieron confirmar los perfiles de usuario identificados luego de las asesorías por parte de la Municipalidad de Guatemala. Los resultados sobre conocimientos generales y hábitos de gestión de residuos y reducción de la huella de carbono permitieron la comprensión del nivel educativo respecto a los temas tratados por el proyecto por parte de la población. Finalmente, los resultados sobre las expectativas de la aplicación por parte del público objetivo proporcionaron información importante para lograr comprender las necesidades de los usuarios potenciales y priorizar las funcionalidades que resultarían más importantes para el proyecto.

#### 9.1.1. Resultados demográficos sobre los usuarios identificados

En cuestión a la demografía que se logró obtener, es posible observar cómo la mayoría de personas encuestadas se encontraba en un rango de edad entre 18 y 25 años, lo cual inmediatamente nos da una idea de que la mayoría de personas que utilizarían la aplicación se encuentran en este rango de edad, lo cual cuadra con la investigación realizada sobre la distribución demográfica en cuestión a edades en el departamento de Guatemala. Estos resultados también se pueden deber al hecho de que la encuesta también fue compartida en redes sociales por parte de los miembros del equipo de trabajo, donde claramente la interacción con estas publicaciones fue por parte de personas que tienen una edad muy similar a las nuestras.

También se recibieron múltiples respuestas diferentes a la pregunta sobre el municipio en el que las personas encuestadas residían. La mayoría de personas se encontraban en los municipios más poblados del departamento de Guatemala, como lo son Guatemala, Villa Nueva y Mixco. Sin embargo, también se recibieron respuestas de departamentos que no son Guatemala, como Chiquimula y Huehuetenango. Pese a que estas personas se encuentran fuera del alcance del proyecto, las respuestas fueron tomadas en cuenta con el objetivo de tener una mayor variabilidad a tener en mente.

Para finalizar, en lo que respecta al nivel educativo de las personas encuestadas, es posible observar cómo la mayoría de usuarios potenciales de la aplicación han recibido como mínimo un título universitario y algunos incluso un posgrado. Sólo el 35 % aproximadamente no contaban con una carrera universitaria. Este resultado es muy importante para cuadrar otro resultado que se mostrará más adelante, pero para resumir la gran cantidad de posibles usuarios potenciales con estudios universitarios brindará información valiosa sobre cómo la mayoría de potenciales usuarios también ha recibido educación ambiental en lugares como el colegio y la universidad.

### **9.1.2. Resultados sobre conocimientos y comportamientos sobre la gestión de residuos**

Analizando los resultados obtenidos en la sección de conocimientos y comportamientos sobre la gestión de residuos revela un panorama mixto en cuanto al nivel de entendimiento y la confianza que la población tiene sobre este tema. En general, se observa que los encuestados poseen un entendimiento básico de los principios relacionados con la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono. Sin embargo, lo que destaca es que, a pesar de este conocimiento básico, prácticamente nadie se considera un experto en el área. Esta falta de autopercepción de competencia puede ser indicativa de una carencia de formación especializada o de experiencias previas que validen su comprensión.

La mayoría de las preguntas de las encuestas fueron respondidas de manera neutral, lo que sugiere que los encuestados reconocen que tienen conocimientos sobre la gestión de residuos, pero no a un nivel profesional que les otorgue la confianza necesaria para manejar el tema de manera efectiva. Esta percepción puede ser crucial, ya que implica que muchos de los participantes podrían sentirse inseguros o confundidos al momento de aplicar estos conocimientos en situaciones prácticas, especialmente cuando se trata de utilizar la aplicación que se desarrollará para la gestión de residuos. Es probable que esta falta de confianza genere dudas durante el proceso, lo que resalta la importancia de diseñar una aplicación intuitiva y educativa que guíe a los usuarios a través de las diversas funciones y recursos disponibles.

Los resultados también indican que los principales inconvenientes que enfrenta la población objetivo al gestionar residuos son, casi en partes iguales, la falta de recursos, la escasa información y la limitación de tiempo. La falta de recursos puede referirse tanto a la ausencia de infraestructura adecuada para la recolección y reciclaje de residuos, como a la falta de incentivos económicos que motiven a la población a participar activamente en la gestión de residuos. Por otro lado, la escasa información podría significar que la población no tiene acceso a materiales educativos suficientes que expliquen cómo gestionar sus residuos de manera efectiva, lo que puede llevar a prácticas inadecuadas. La limitación de tiempo también juega un papel crucial; muchas personas llevan un estilo de vida ajetreado que dificulta la dedicación necesaria para realizar prácticas sostenibles de gestión de residuos.

A pesar de estos desafíos, los resultados revelan un aspecto muy positivo, y es que la población es consciente de la importancia de la gestión de residuos. Este reconocimiento es fundamental, ya que sugiere que, aunque puedan existir barreras, hay una disposición general para aprender y mejorar sus prácticas. Los encuestados expresaron su interés en implementar cambios en su comportamiento diario que contribuyan a una mejor gestión de residuos. Esta actitud proactiva no solo refleja una creciente conciencia ambiental, sino también una apertura al cambio, lo cual es crucial para el éxito de cualquier programa o aplicación destinada a facilitar la gestión de residuos.

### **9.1.3. Resultados sobre necesidades y expectativas de los usuarios sobre la aplicación**

Los resultados obtenidos en la sección de necesidades y expectativas de los usuarios sobre la aplicación proporcionan una visión clara de las funcionalidades más solicitadas por los potenciales usuarios. En primer lugar, se destaca la demanda de guías para clasificar residuos, que se consideran fundamentales para facilitar el correcto manejo de los desechos. Los usuarios también expresaron un gran interés en recibir sugerencias para reducir su huella de carbono, lo que indica una conciencia creciente sobre la importancia de adoptar prácticas sostenibles. Además, la posibilidad de ingresar datos sobre sus residuos y acceder a gráficos que visualicen el consumo de basura fue otra funcionalidad altamente valorada, ya que esto permitiría a los usuarios monitorear su comportamiento y realizar ajustes informados en sus hábitos diarios.

La mayor motivación que tienen los potenciales usuarios para utilizar la aplicación radica en su facilidad de uso. La interfaz debe ser intuitiva y accesible, lo que permitiría que personas con diferentes niveles de experiencia tecnológica puedan interactuar con la aplicación sin frustraciones. En segundo lugar, los usuarios subrayaron la importancia de recibir información clara y fácil de entender. Esto sugiere que las explicaciones y directrices proporcionadas dentro de la aplicación deben ser sencillas, evitando el uso de jerga técnica que pueda resultar confusa para quienes no están familiarizados con el tema de la gestión de residuos.

Otro aspecto fundamental que se identificó en los resultados es la utilidad de contar con una guía interactiva para aprender a clasificar residuos. Esta herramienta no solo ayudaría a los usuarios a gestionar sus desechos de manera más efectiva, sino que también fomentaría un aprendizaje continuo sobre la sostenibilidad y el reciclaje. Asimismo, la capacidad de visualizar estadísticas sobre la huella de carbono y los progresos individuales sería altamente valorada, ya que permitiría a los usuarios ver el impacto directo de sus acciones en el medio ambiente.

El diseño atractivo de la aplicación se considera un factor crucial para su éxito. Un entorno visualmente agradable puede aumentar la motivación y el interés de los usuarios, haciendo que la experiencia de uso sea más placentera. Un diseño bien pensado no solo contribuye a la usabilidad, sino que también puede transmitir un mensaje positivo sobre el compromiso con la sostenibilidad y la innovación.

## **9.2. Prototipado iterativo**

Los resultados que se obtuvieron en la sección pasada sirvieron principalmente para la definición de funcionalidades y objetivos a cumplir por parte de la solución a desarrollar. Sin embargo, la sección actual que respecta el desarrollo del prototipo de alta fidelidad de la solución tuvo como meta generar resultados que permitieran mejorar la solución planteada y cumplir con el objetivo de que la misma fuera atractiva y fácil de intuir y utilizar por parte de los usuarios potenciales. Cada una de las tres iteraciones realizadas sobre el prototipo generó una gran cantidad de información diferente que permitió mejorar el prototipo conforme su avance y la retroalimentación constante por parte de los usuarios potenciales.

### **9.2.1. Primera iteración del prototipo**

En la primera iteración del prototipo, la recepción de las pantallas fue en general positiva, con la mayoría superando el 80 % de aprobación. Sin embargo, la pantalla de ingreso de datos de basura destacó negativamente, alcanzando solo un 55 % de aceptación, lo que indica la necesidad de mejoras en esta área.

Los usuarios dieron una retroalimentación muy positiva sobre la pantalla inicial, aunque sugirieron elevar el botón de ingreso para mejorar la accesibilidad. La pantalla de inicio de sesión recibió comentarios positivos, pero se mencionó la confusión generada por el color de los botones en relación con el fondo.

La pantalla de menú principal fue la mejor valorada, destacándose por su presentación clara y comprensible. La configuración de perfil también fue bien recibida, especialmente por la distribución de los botones. No obstante, en la pantalla de analíticas de consumo, algunos usuarios mostraron confusión sobre el botón "Aceptar", sugiriendo que se necesita clarificación.

La pantalla de ingreso de datos fue identificada como la de menor aceptación, con comentarios que subrayaron la dificultad en el flujo de inserción de información debido a la distancia entre los campos de entrada y los íconos. Finalmente, las pantallas de chat recibieron opiniones mayormente positivas, aunque se sugirió explicar mejor la funcionalidad de ciertos botones, y la similitud con otras aplicaciones fue bien valorada, indicando que los usuarios se sienten cómodos con ese tipo de diseño. Estos hallazgos destacan áreas críticas que requieren atención en futuras iteraciones para optimizar la experiencia del usuario.

### **9.2.2. Segunda iteración del prototipo**

En la segunda iteración del prototipo, la aceptación general de las pantallas mejoró notablemente, superando todas el 80 % de aprobación. Esto refleja la efectividad de las modificaciones realizadas en la iteración anterior. La pantalla inicial recibió más comentarios positivos, sin sugerencias de mejora, lo que indica que es intuitiva. La pantalla de inicio de sesión también fue bien recibida, aunque se sugirió más espacio entre elementos para mayor comodidad.

La pantalla de menú principal continuó siendo la mejor valorada, lo que indica su diseño eficiente. La configuración de perfil recibió buenos comentarios, pero se recomendó cambiar el color de los botones críticos para aumentar su visibilidad. La pantalla de analíticas de consumo mostró mejoras, con menos confusión sobre la funcionalidad de los botones tras los cambios.

La pantalla de ingreso de datos también recibió comentarios más positivos, con la sugerencia de agrandar el botón para subir fotografías, mejorando así la usabilidad. Las pantallas de chat, tanto para interactuar con el modelo como para conversar, mantuvieron comentarios muy positivos y no se propusieron mejoras significativas, lo que sugiere que su diseño cumple con las expectativas de los usuarios y ofrece una experiencia familiar y confortable.

### **9.2.3. Tercera iteración del prototipo**

En la tercera iteración del prototipo, la recepción de las pantallas mejoró aún más, reflejando el éxito de las modificaciones anteriores. Los comentarios fueron mayormente positivos, indicando que la aplicación se alinea con las expectativas de los usuarios.

La pantalla inicial y la de inicio de sesión recibieron elogios por su diseño atractivo y eficiente, sin sugerencias de mejora. La pantalla de menú principal tuvo un excelente recibimiento y se considera efectiva. La configuración de perfil también fue bien valorada, especialmente por el cambio en el color de botones críticos, lo que mejoró su visibilidad. La pantalla de analíticas de consumo mantuvo una buena recepción, aunque se sugirió añadir más gráficos para visualizar mejor el consumo de basura. La mejora en la pantalla de ingreso de datos fue notable, con comentarios positivos y sin recomendaciones de cambio, destacando su simplicidad. Para finalizar, las pantallas de chat y conversación con el modelo recibieron comentarios muy positivos, resaltando su diseño intuitivo y la facilidad de interacción, lo que es clave para fomentar el uso de la aplicación.

### **9.3. Evaluación final a la aplicación**

Los resultados obtenidos de las pruebas de usabilidad y de *eye tracking* validan la efectividad de la aplicación desarrollada en el contexto de la problemática de la producción desmedida de basura y su gestión inadecuada. En primer lugar, el promedio de tiempo requerido por los usuarios para completar diversas acciones refleja una experiencia de usuario mayormente fluida, lo que sugiere que la interfaz ha sido diseñada con un enfoque intuitivo. La rapidez en acciones como registrar el consumo de basura y observar las analíticas indica que estas funcionalidades están bien optimizadas y cumplen con el objetivo de facilitar el proceso para los usuarios.

La interacción visual, evidenciada a través de los mapas de calor generados por el eye tracking, muestra que los usuarios dirigen su atención a los elementos clave de la interfaz, como los botones de acción. Este comportamiento no solo resalta la efectividad de la organización visual de la aplicación, sino que también sugiere que el diseño es atractivo y capta la atención de los usuarios en los lugares apropiados. Además, el hecho de que las miradas se dirijan a gráficos y otros elementos complementarios demuestra que los usuarios encuentran valor en la información presentada, lo cual es fundamental para fomentar prácticas sostenibles.

El cumplimiento de los objetivos del proyecto se manifiesta en la creación de una interfaz de usuario que no solo es atractiva visualmente, sino que también es funcional. La aplicación aborda de manera efectiva la problemática de la gestión de residuos al permitir que los usuarios registren su consumo de basura y accedan a analíticas, lo cual contribuye a una mejor comprensión de sus hábitos. Asimismo, el enfoque en el diseño centrado en el usuario se ha traducido en una aplicación que se adapta a las necesidades y preferencias de la audiencia objetivo, logrando una experiencia que se alinea con las mejores prácticas de usabilidad.

Para terminar, las pruebas piloto realizadas con un grupo seleccionado de usuarios, junto con las encuestas de satisfacción y la retroalimentación cualitativa, indican que la aplicación no solo cumple con los estándares de efectividad y usabilidad esperados, sino que también tiene el potencial de impactar positivamente en la reducción de residuos. La combinación de una interfaz intuitiva, tiempos de respuesta eficientes y un diseño atractivo refuerza la conclusión de que la aplicación es una herramienta viable para abordar la problemática ambiental actual.

# CAPÍTULO 10

---

## Conclusiones

---

- La aplicación desarrollada permitió abordar la problemática de la producción desmedida de basura, la falta de una gestión correcta de residuos y el aumento de la huella de carbono de la población. La aplicación constituye una solución que permite a sus usuarios gestionar sus residuos y aprender sobre temas como el reciclaje y la huella de carbono.
- Se investigó a la población del departamento de Guatemala, obteniendo información importante sobre su demografía, sus hábitos de gestión de residuos y sus expectativas sobre la solución planteada.
- La información obtenida sobre los usuarios potenciales de la aplicación permitió diseñar una experiencia de usuario basada en principios de *design thinking* que fue capaz de solventar las necesidades de los usuarios investigadas.
- Se implementó un diseño mediante un proceso iterativo clave para adaptar la aplicación a las necesidades de los usuarios a nivel visual. Este prototipo consistió en una interfaz gráfica intuitiva y atractiva según los resultados obtenidos de las pruebas realizadas durante el proceso iterativo.
- Las evaluaciones realizadas al prototipo desarrollado mostraron calificaciones positivas, validando tanto el diseño como el prototipo inicial y sentando una base sólida para el desarrollo en código de la aplicación.
- Con el prototipo finalizado después de las iteraciones realizadas, se desarrolló la interfaz gráfica de la aplicación utilizando tecnologías de desarrollo móvil adaptadas para el desarrollo de la solución implementada, priorizando las funcionalidades que tienen un impacto directo en la reducción de residuos y la promoción de prácticas sostenibles.
- Las evaluaciones realizadas durante todo el proceso de investigación, prototipado y desarrollo de la solución, especialmente las últimas pruebas de usabilidad y satisfacción, confirmaron que la interfaz gráfica desarrollada es intuitiva, haciendo de la aplicación una herramienta accesible y fácil de adoptar para diversos públicos.
- El proyecto desarrollado contribuye a la creación de tecnología que no solo facilita tareas, sino que también apoya el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en cuanto a la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono.

- El proyecto presenta un enfoque innovador en el campo de la educación ambiental, proporcionando una experiencia interactiva que potencia el aprendizaje y la concientización sobre la gestión de residuos.
- El aprendizaje obtenido a nivel académico resultó sumamente valioso, desarrollando un proyecto que abarcó desde temas de experiencia de usuario y desarrollo hasta temas estadísticos, de investigación científica y análisis de resultados.

# CAPÍTULO 11

---

## Recomendaciones

---

- Se recomienda ampliar el enfoque del proyecto a poblaciones más grandes y variadas. El presente proyecto toma como público objetivo la población del departamento de Guatemala, pero es posible ampliar esta población objetivo y de esta manera tener la capacidad de obtener información que permita idear nuevas funcionalidades para ampliar la aplicación y adaptarla a un uso más global.
- Se recomienda a futuros desarrolladores o personas interesadas en el proyecto en general el uso de dispositivos iOS para realizar más pruebas al producto final. La mayoría de pruebas fueron realizadas en dispositivos y emuladores de Android, por lo que, pese a que la proporción de pruebas cuadra con la información investigada de porcentajes de personas en el departamento de Guatemala que utilizan dispositivos Android e iOS, se resalta la posibilidad de hacer uso de más dispositivos iOS para realizar pruebas.
- Se recomienda a futuros desarrolladores interesados en el proyecto la inclusión de un sistema de actividades lúdicas y más mecánicas en la aplicación que motiven más a sus usuarios a hacer uso de la misma. Un buen ejemplo del enfoque que se le puede dar al proyecto es un enfoque como el de la aplicación Duolingo para aprender diferentes idiomas. Esta aplicación tiene sistemas de punteos, rachas de uso y más información que los usuarios pueden compartir en redes sociales, lo cual es un motivador muy grande a utilizar la misma aplicación.

---

## Bibliografía

---

- Abrams, M. and Helms, S. (2013). Task completion time as a measure of usability: Practical implications. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29(4):220–234.
- Al-Khatib, I. A., Kontogianni, S., and Abu Nabaa, H. (2010). Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. a case study: Nablus district - palestine. *Journal of Environmental Management*, 91(5):1131–1138.
- Babbie, E. (2015). *The Basics of Social Research*. Cengage Learning.
- Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., and Stegmann, P. (2020). The global e-waste monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential. *United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) International Solid Waste Association (ISWA)*, pages 1–120.
- Balliet, J. (2020). *Collaborative Design: Using Figma to Enhance Your Workflow*. Independently Published.
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., and Moral, R. (2017). Composting as a tool for carbon sequestration in soils. *Waste Management*, 63:208–216.
- Bernardes, M. and Zanoni, S. (2020). Sustainability and waste management: Key performance indicators. *Journal of Environmental Sustainability*, 8(2):20–35.
- Beyer, H. and Holtzblatt, K. (2019). *Contextual Design: Design for Life*. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 2nd edition.
- Bohner, S. and Roberts, S. (2020). The mobile app development life cycle: Phases and challenges. *Software Engineering Today*, 34(5):35–54.
- Bovaird, T. and Löffler, E. (2016). *Public Management and Governance*. Routledge.
- Braithwaite, B. (2021). *Designing Web APIs: Building APIs That Developers Love*. Manning Publications.
- Brooke, J. (1996). Sus: A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, pages 189–194.
- Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Creates New Alternatives for Business and Society*. HarperBusiness.
- Brown, T. (2019). *Change by Design: How Design Thinking Creates New Alternatives for Business and Society*. HarperBusiness, New York, NY, updated and expanded edition.

- Casado-Aranda, L., Sánchez-Fernández, J., and Álvarez Merino, I. (2021). Gamification and mobile apps for environmental education: An analysis of effectiveness. *Computers in Human Behavior*, 116:106618.
- Cerdá, J. and Navarro, P. (2020). *Aplicaciones Nativas vs. Aplicaciones Híbridas: Un análisis comparativo*. McGraw Hill.
- CityAdapt (2024). Guatemala - cityadapt. Accessed: 2024-10-10.
- Collins, R. (2019). Excessive... but not wasteful? youth cultures of everyday waste (avoidance). *Cultural Geographies*, 27(2):293–305.
- Cooper, A., Reimann, R., Cronin, D., and Noessel, C. (2014). *About Face: The Essentials of Interaction Design*. Wiley, Indianapolis, IN, 4th edition.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.
- Creswell, J. W. and Creswell, J. D. (2017). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications.
- DeVoe, J. E. (2016). Understanding reliability and validity in qualitative research. *Journal of Social Work Education*, 52(2):158–165.
- Doerner, K. (2018). *Project Management: Balancing Time, Cost, and Quality*. Springer.
- Downey, A. (2020). *Think Python: How to Think Like a Computer Scientist*. O'Reilly Media.
- Ellen MacArthur Foundation (2019). *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. Ellen MacArthur Foundation, Cowes.
- Ellen MacArthur Foundation (2020). The circular economy: A transformative covid-19 strategy. Technical report, Ellen MacArthur Foundation.
- European Environment Agency (2021). Hazardous waste in europe: Infographic. Technical report, European Environment Agency (EEA).
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. SAGE Publications, 4th edition.
- Fink, A. (2015). *How to Conduct Surveys: A Step-by-Step Guide*. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.
- Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 12(2):219–245.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). *The State of the World's Forests 2020: Forests, Biodiversity and People*. FAO.
- Fowler, M. (2004). *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Addison-Wesley.
- Friedman, M. (2005). *Trying hard is not good enough: How to produce measurable improvements for customers and communities*. Trafford Publishing.
- García-Gallego, A., Martínez-López, F., and Rubio, E. (2019). User experience and personalization in carbon footprint reduction apps. *Journal of Environmental Informatics*, 34(2):120–132.
- Garrett, J. J. (2010). *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. New Riders.
- Garrett, J. J. (2011). *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. New Riders, Berkeley, CA, 2nd edition.

- Garrett, J. J. (2016). *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. New Riders, Berkeley, CA, 2nd edition.
- Garrett, J. J. (2020). *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. New Riders, Berkeley, CA, 3rd edition.
- Gibbons, S. (2024). Design thinking 101. Consultado el 13 de octubre de 2024.
- Gillingham, K., Rapson, D., and Wagner, G. (2016). The rebound effect and energy efficiency policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1):68–88.
- Godfrey, J. (2021). Mobile app development in 2020: Trends and techniques. *International Journal of Software Engineering*, 12(3):113–128.
- Golafshani, N. (2003). Understanding reliability and validity in qualitative research. *The Qualitative Report*, 8(4):597–607.
- Goodman, E., Kuniavsky, M., and Moed, A. (2012). *Observing the User Experience: A Practitioner's Guide to User Research*. Morgan Kaufmann.
- Google (2014). Material design guidelines. Accessed: 2024-09-22.
- Google (2019). Mobile speed matters: How user perception impacts business outcomes.
- Goethelf, J. and Seiden, J. (2017). *Lean UX: Applying Lean Principles to Improve User Experience*. O'Reilly Media, Sebastopol, CA, 2nd edition.
- Granollers, T., Lorés, J., and Cañas, J. J. (2005). *Diseño de interfaces de usuario: hacia un diseño centrado en el usuario*. Editorial UOC.
- GSMArena (s.f.). Samsung galaxy s24 - full phone specifications. Accessed: 2024-10-28.
- Hamari, J., Koivisto, J., and Sarsa, H. (2016). Does gamification work? – a literature review of empirical studies on gamification. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74:118–137.
- Hao, H., Zhang, L., Liu, Q., and Li, X. (2020). Energy management systems for sustainable development. *Sustainable Cities and Society*, 54:101969.
- Hartson, R. and Pyla, P. S. (2012). *The UX Book: Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*. Elsevier.
- Hassenzahl, M. (2003). The thing and i: Understanding the relationship between user and product. In Blythe, M. A., Overbeeke, K., Monk, A. F., and Wright, P. C., editors, *Funology: From Usability to Enjoyment*, pages 31–42. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Hassenzahl, M. (2010). *Experience Design: Technology for All the Right Reasons*. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael, CA.
- Hassenzahl, M. (2018). *Experience Design: Technology for All the Right Reasons*. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael, CA.
- Hedayati, M. and Li, X. (2021). *Sustainable Supply Chains: Strategies and the Role of Innovation*. Routledge.
- Hoornweg, D. and Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: A global review of solid waste management. *World Bank Urban Development Series Knowledge Papers*, 15:1–116.
- Hopewell, J., Dvorak, R., and Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526):2115–2126.

- Hunt, D. (2021). Optimizing react native apps for performance. *Journal of Mobile Development*, 9(3):145–158.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Fifth Assessment Report: Climate Change 2014*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). *Global Warming of 1.5°C: Summary for Policymakers*. IPCC.
- International Organization for Standardization (2019). *ISO 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems*. International Organization for Standardization (ISO).
- International Renewable Energy Agency (2018). Global energy transformation: A roadmap to 2050. Technical report, IRENA.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrade, A., Narayan, R., and Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223):768–771.
- Johannessen, L. M. and Boyer, G. (1999). Observations of solid waste landfills in developing countries: Africa, asia, and latin america. *Urban Development Division, The World Bank*, pages 1–51.
- Johansson, L. (2021). *Effective Unit Testing: A Guide for Java Developers*. Manning Publications.
- Johnson, C. (2021). *Building Microservices with ASP.NET Core: Develop, Test, and Deploy Cross-platform Services in the Cloud*. Packt Publishing.
- Johnson, J. (2020). *Designing with the Mind in Mind: Simple Guide to Understanding User Interface Design Guidelines*. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 3rd edition.
- Kammer, D. and Knaus, P. (2022). Digital tools for carbon footprint management. In *Green Technologies and Eco-Innovation*, pages 112–125. Springer.
- Krueger, R. A. and Casey, M. A. (2014). *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research*. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.
- Krug, S. (2014). *Don't Make Me Think, Revisited: A Common Sense Approach to Web Usability*. New Riders, Berkeley, CA, 3rd edition.
- Kujala, S., Kauppinen, M., Anttila, A., and Tokkonen, H. (2020). User involvement: A review of the benefits and challenges. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36:385–396.
- Kumar, S. (2021). *React Native and Flutter: A Comprehensive Guide to Mobile Development*. Packt Publishing.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., and al. (2018). A review of the application of precision agriculture technologies for sustainable crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151:114–132.
- Lohr, S. (2019). *Sampling: Design and Analysis*. Cengage Learning.
- Lone, H. and Buchh, F. (2019). Social causatums of improper waste management. *Innovative Waste Management Technologies for Sustainable Development*.
- Martínez, A. (2019). *Investigación cualitativa y análisis de contenido: Guía metodológica*. Editorial Alianza.
- Matskas, L., Gao, Q., Jansson, S., Rova, U., and Christakopoulos, P. (2017). Waste biorefinery technologies for multiple bioproducts: Present and future prospects. *Bioresource Technology*, 241:1084–1096.

- McLean, G. and Osei-Frimpong, K. (2019). Examining the determinants and outcomes of mobile app engagement – a longitudinal perspective. *Computers in Human Behavior*, 84:392–403.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (2016). *Diagnóstico de la gestión integral de los residuos sólidos y su potencial aprovechamiento en Guatemala*. MARN.
- Muller, S. (2022). The role of the united nations in combating climate change. *Global Governance*, 28(2):83–97.
- Murray, J., Kim, C., and Singh, R. (2020). Blockchain technology for sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 245:118824.
- Mwanza, B. G. (2021). Introduction to recycling. In *Composites Science and Technology*, pages 1–13. Springer.
- Myers, T. (2020). *Testing and Maintaining Mobile Applications: Ensuring Quality and Performance*. Springer.
- Nair, M. (2023). How have cell phones changed us socially?
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.
- Nielsen, J. (2020). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.
- Nielsen, J. and Norman, D. (2012). The definition of user experience (ux). Accessed: 2024-09-22.
- Niero, M., Wenzel, H., Helsen, L., and al. (2018). The role of waste management in the reduction of carbon footprint. *Journal of Cleaner Production*, 171:1487–1495.
- Norman, D. A. (2004). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. Basic Books, New York, NY.
- Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things*. Basic Books, New York, NY, revised and expanded edition edition.
- Norman, D. A. and Nielsen, J. (2020). Emotion & design: Attractive things work better. *Interactions*, 27:45–48.
- Noy, C. (2008). Sampling knowledge: The hermeneutics of snowball sampling in qualitative research. *International Journal of Social Research Methodology*, 11(4):327–344.
- Owen, B. and Kemp, S. (2020). Individual contributions to carbon reduction. In *Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes*, pages 25–36. Springer.
- Pandey, D., Agrawal, M., and Pandey, J. S. (2011). *Carbon Footprint: Current Methods of Estimation*. Nova Science Publishers, New York.
- Parmenter, D. (2015). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*. John Wiley & Sons.
- Parmesan, C. and Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421:37–42.
- Patton, M. Q. (2008). *Utilization-focused evaluation*. Sage Publications.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative Research and Evaluation Methods*. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.
- PopulationPyramid.net (2020). Pirámides de población del mundo desde 1950 a 2100. s. f.
- Preece, J., Rogers, Y., and Sharp, H. (2015). *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. Wiley.

- Ragan, D. (2020). Why figma is a better choice for design collaboration. *UX Design Magazine*, pages 1–3.
- Ramakrishna, S., Pervaiz, M., Tjong, J., Ghisellini, P., and Sain, M. (2022). Low-carbon materials: Genesis, thoughts, case study, and perspectives. *Circular Economy and Sustainability*, 2.
- Reynosa Navarro, E. (2015). *Crisis ambiental global: Causas, consecuencias y soluciones prácticas*. GRIN Verlag GmbH, Múnich.
- Risch, M. (2020). *API Design Patterns: A Comprehensive Guide to API Development*. Addison-Wesley.
- Rodas, S. M. (2020). El problema de la basura se vuelve eterno por la falta de voluntad política e irresponsabilidad ciudadana.
- Rodríguez, J. (2023). *Análisis de la generación de desechos sólidos en Guatemala*. Revista Análisis de la Realidad Nacional.
- Rodríguez, M. (2020). *Desarrollo de Aplicaciones Móviles para Android e iOS*. Editorial Técnica.
- Rogers, Y., Sharp, H., and Preece, J. (2020). *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. Wiley, Hoboken, NJ, 5th edition.
- Rolnick, D., D'Amour, A., MacCarthy, J., and al. (2019). Tackling climate change with machine learning. *ACM Computing Surveys*, 52(3):1–37.
- Rothe, F., Muller, A., and Schmidt, L. (2020). User experience in recycling apps: An evaluation of the impact on community engagement. In *Proceedings of the 15th International Conference on Sustainability in Digital Technology*, pages 123–130. ACM.
- Rubin, J. and Chisnell, D. (2008). *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*. Wiley, Indianapolis, IN, 2nd edition.
- Scriven, M. (1991). *Evaluation thesaurus*. Sage.
- Seale, C. (1999). *The Quality of Qualitative Research*. Sage Publications.
- Sebesta, R. (2019). *Concepts of Programming Languages*. Pearson.
- Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., and Jacobs, S. (2010). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, Boston, MA, 5th edition.
- Silva, J. and Martínez, A. (2021). Hybrid apps: Balancing performance and flexibility. *Journal of Mobile Computing*, 10(1):65–89.
- Singh, A. and Smith, J. (2021). Comparison of prototyping tools for ux designers. *Journal of Interactive Design*, pages 45–53.
- Singh, N. and Sharma, P. (2020). Mechanistic implications of plastic degradation for environmental waste management. *Environmental Science & Technology*, 54(24):15582–15594.
- Smith, K. R., Woodward, A., Campbell-Lendrum, D., Chadee, D. D., Honda, Y., Liu, Q., Olwoch, J. M., Revich, B., and Sauerborn, R. (2014). Human health: Impacts, adaptation, and co-benefits. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 709–754.
- Snyder, C. (2003). *Paper Prototyping: The Fast and Easy Way to Design and Refine User Interfaces*. Morgan Kaufmann.
- Stats, S. G. (n.d.). Mobile operating system market share guatemala. Accessed: 2024-10-10.

- Sullivan, R. (2017). Corporate carbon footprint management: The role of transparency and standards. *Journal of Business Ethics*, 150(5):1019–1033.
- Sáez, A. and Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en américa latina y el caribe. *Omnia*, 20(3):121–135.
- Taylor, M. (2021). Mobile backend as a service (mbaas): Integrating cloud solutions into mobile applications. *Journal of Cloud Computing*, 8(4):101–118.
- Tchobanoglou, G. and Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*. McGraw-Hill, 2nd edition.
- Themelis, N. J. and Ulloa, P. (2007). The role of recycling in the reduction of greenhouse gas emissions. *Waste Management & Research*, 25(3):275–279.
- Thompson, S. K. (2012). *Sampling*. Wiley.
- Tobii (s.f.). Specifications for eye tracker 5. Accessed: 2024-10-28.
- United Nations Environment Programme (2019). Global environment outlook 6: Healthy planet, healthy people. Technical report, United Nations Environment Programme (UNEP).
- Virzi, R. A. (1992). Refining the test phase of usability evaluation: How many subjects is enough? *Human Factors*, 34(4):457–468.
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., and Campbell-Lendrum, D. (2018). The 2018 report of the lancet countdown on health and climate change: Shaping the health of nations for centuries to come. *The Lancet*, 392(10163):2479–2514.
- Weiss, C. H. (1998). *Evaluation: Methods for studying programs and policies*. Prentice Hall.
- Whitmarsh, L., Seyfang, G., and O'Neill, S. (2011). Public engagement with climate change: The role of perceived risk and affect. *Environmental Research Letters*, 6(4):044017.
- Wiedmann, T. and Minx, J. (2008). *A Definition of “Carbon Footprint”*. Elsevier, Hauppauge, NY.
- World Bank (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Group.
- World Health Organization (2018). Safe management of wastes from health-care activities: A summary.
- World Health Organization (2023). Air pollution: The invisible health threat.
- World Wide Web Consortium (W3C) (2021). Web content accessibility guidelines (wcag) 2.1.
- Wright, L. A., Kemp, S., and Williams, I. (2011). 'carbon footprinting': towards a universally accepted definition? *Carbon Management*, 2(1):61–72.
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods*. Sage Publications.
- Yom, C. (2019). *Secondary Data Analysis: Techniques for Comparing Social Phenomena*. Palgrave Macmillan, New York, NY.
- Zerbock, O. (2003). Urban solid waste management: Waste reduction in developing nations. Technical report, Michigan Technological University.
- Zhang, L., Zhao, W., Yu, F., and Zhang, Y. (2019). Internet of things (iot) for environmental monitoring: A survey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2):52.

## ANEXO A

---

### Encuesta sobre conocimientos y comportamientos actuales sobre la gestión de residuos

---

The screenshot shows a Google Form interface. At the top, there is a title box with the text: "Conocimiento y comportamiento actual sobre la gestión de residuos en Guatemala". Below the title, there is a descriptive text: "Este formulario está diseñado para comprender el conocimiento y comportamiento actual en relación con la gestión de residuos y el reciclaje por parte de potenciales usuarios. Tus respuestas nos ayudarán a desarrollar una aplicación móvil más efectiva que facilite la correcta clasificación y reducción de residuos, promoviendo prácticas sostenibles y responsables. ¡Gracias por tu participación!".

Below the text, there are several buttons and links:

- Email: tar20017@uvvg.edu.gt
- Change account
- Share: Not shared
- Next button
- Delete form
- Never send passwords through Google Forms
- Created by Universidad del Valle de Guatemala
- Report abuse
- Google Forms

Figura A.1: Introducción a la encuesta sobre conocimientos y comportamientos actuales sobre la gestión de residuos

Conocimiento y comportamiento actual sobre la gestión de residuos en Guatemala

tar20017@uvg.edu.gt Cambiar de cuenta  
No compartido

\* Indica que la pregunta es obligatoria

Información Demográfica

¿Cuál es tu rango de edad? \*

18 - 25 años  
 26 - 35 años  
 36 - 45 años  
 46 - 55 años  
 56 o más  
 Otro: \_\_\_\_\_

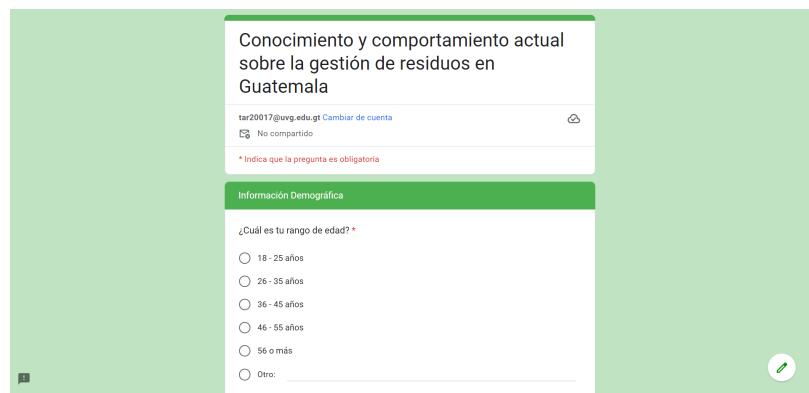


Figura A.2: Sección de información demográfica de la encuesta

Conocimiento y comportamiento actual sobre la gestión de residuos en Guatemala

tar20017@uvg.edu.gt Cambiar de cuenta  
No compartido

\* Indica que la pregunta es obligatoria

Conocimiento sobre la Gestión de Residuos

¿Cuánto sabes sobre la clasificación de residuos? \*

Nada  
 Un poco  
 Lo suficiente  
 Bastante  
 Soy un/a experto/a  
 Otro: \_\_\_\_\_

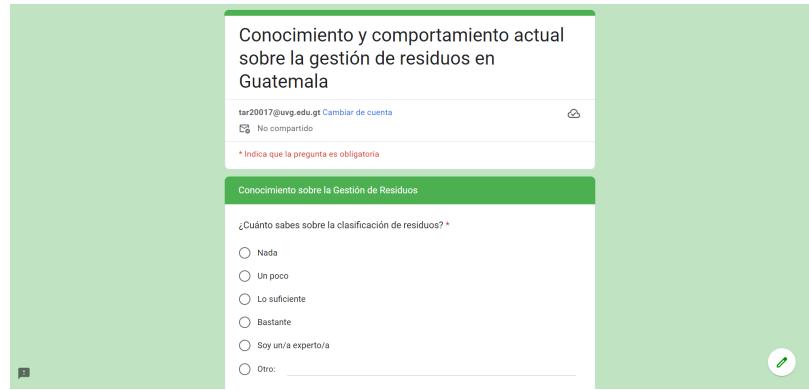


Figura A.3: Sección de conocimientos sobre gestión de residuos de la encuesta

Conocimiento y comportamiento actual sobre la gestión de residuos en Guatemala

tar20017@uvg.edu.gt Cambiar de cuenta  
No compartido

\* Indica que la pregunta es obligatoria

Comportamiento Actual en la Gestión de Residuos

¿Con qué frecuencia reciclas? \*

Siempre  
 A menudo  
 A veces  
 Rara vez  
 Nunca  
 Otro: \_\_\_\_\_

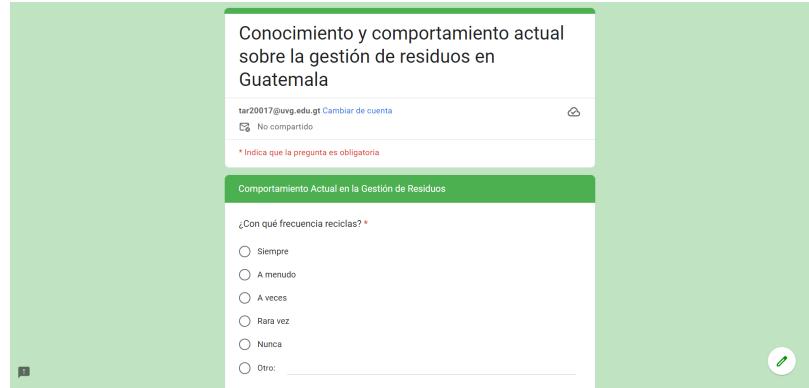


Figura A.4: Sección de comportamiento actual sobre gestión de residuos de la encuesta

**Conocimiento y comportamiento actual sobre la gestión de residuos en Guatemala**

tar20017@uvg.edu.gt Cambiar de cuenta

No compartido

\* Indica que la pregunta es obligatoria

**Actitudes y Percepciones**

¿Qué tan importante crees que es reciclar y gestionar los residuos correctamente?

- Muy importante
- Importante
- Neutral
- Poco importante
- No es importante
- Otro:

Figura A.5: Sección de actitudes y percepciones sobre gestión de residuos de la encuesta

**Conocimiento y comportamiento actual sobre la gestión de residuos en Guatemala**

tar20017@uvg.edu.gt Cambiar de cuenta

No compartido

Comentarios y sugerencias

¿Tienes alguna sugerencia o comentario adicional sobre cómo podrías mejorar la gestión de tus residuos?

Tu respuesta

Atrás Siguiente Borrar formulario

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Este formulario se creó en Universidad del Valle de Guatemala. Denunciar abuso

Google Formularios

Figura A.6: Sección de comentarios y sugerencias de la encuesta

**Conocimiento y comportamiento actual sobre la gestión de residuos en Guatemala**

tar20017@uvg.edu.gt Cambiar de cuenta

No compartido

Muchas gracias!

¡Muchas gracias por tu tiempo y apoyo! Apreciamos mucho tu ayuda.

Atrás Enviar Borrar formulario

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Este formulario se creó en Universidad del Valle de Guatemala. Denunciar abuso

Google Formularios

Figura A.7: Sección de agradecimientos de la encuesta

## ANEXO B

### Encuesta sobre necesidades y expectativas de los potenciales usuarios sobre la aplicación

The screenshot shows the introductory page of a Google Form titled "Necesidades y expectativas sobre una aplicación de gestión de residuos en Guatemala". The page includes a brief description of the survey's purpose, contact information (tar20017@uvvg.edu.gt), sharing options, and navigation buttons for "Siguiente" (Next) and "Borrar formulario" (Delete form). The background is light green.

Figura B.1: Introducción a la encuesta sobre necesidades y expectativas de los potenciales usuarios

The screenshot shows a section titled "Necesidades de los usuarios" (User needs) containing a question about desired app features. The question is: "¿Qué funcionalidades te gustaría que tuviera una aplicación de gestión de residuos? \*". Below the question is a list of eight options, each with a checkbox. The options are: "Ingreso de residuos clasificados", "Guía para clasificar residuos", "Recordatorios para reciclar", "Gráficos sobre el consumo de residuos", "Sugerencias para reducir el consumo de basura", and "Localización de puntos de reciclaje cercanos". The background is light green.

Figura B.2: Sección de información demográfica de la encuesta

Necesidades y expectativas sobre una aplicación de gestión de residuos en Guatemala

tar20017@uvvg.edu.gt Cambiar de cuenta  
No compartido

\* Indica que la pregunta es obligatoria

Expectativas sobre la usabilidad

¿Qué tan importante es para ti que la aplicación sea fácil de usar? \*

- Muy importante
- Importante
- Neutral
- Poco importante
- No es importante
- Otro: \_\_\_\_\_

Figura B.3: Sección de conocimientos sobre gestión de residuos de la encuesta

Necesidades y expectativas sobre una aplicación de gestión de residuos en Guatemala

tar20017@uvvg.edu.gt Cambiar de cuenta  
No compartido

\* Indica que la pregunta es obligatoria

Accesibilidad y diseño

¿Qué tan importante es para ti que la aplicación tenga un diseño visualmente atractivo? \*

- Muy importante
- Algo importante
- No es importante, priorizo la funcionalidad
- Otro: \_\_\_\_\_

Figura B.4: Sección de comportamiento actual sobre gestión de residuos de la encuesta

Necesidades y expectativas sobre una aplicación de gestión de residuos en Guatemala

tar20017@uvvg.edu.gt Cambiar de cuenta  
No compartido

Comentarios y sugerencias

¿Tienes alguna sugerencia o comentario adicional sobre lo que esperas de una aplicación para la gestión de residuos?

Tu respuesta \_\_\_\_\_

Atrás Siguiente Borrar formulario

Este formulario se creó en Universidad del Valle de Guatemala. [Denunciar abuso](#)

Google Formularios

Figura B.5: Sección de actitudes y percepciones sobre gestión de residuos de la encuesta

Necesidades y expectativas sobre una aplicación de gestión de residuos en Guatemala

tar20017@urg.edu.gt Cambiar de cuenta

No compartido

¡Muchas gracias!

¡Muchas gracias por tu tiempo y apoyo! Apreciamos mucho tu ayuda.

Atrás Enviar Borrar formulario

Nunca envíe contraseñas a través de Formularios de Google.

Este formulario se creó en Universidad del Valle de Guatemala. [Denunciar abuso](#)

Google Formularios

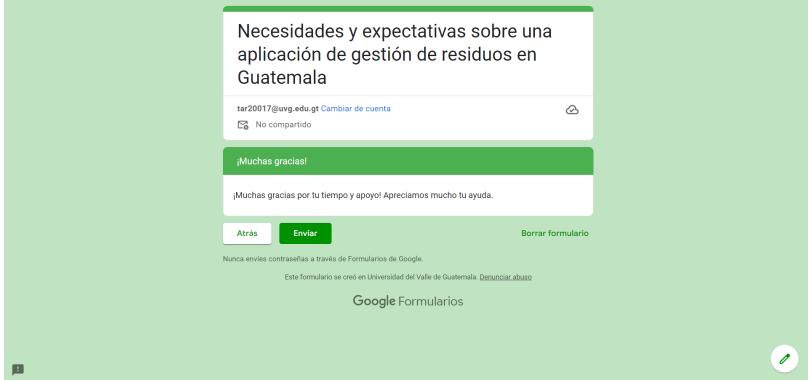


Figura B.6: Sección de comentarios y sugerencias de la encuesta

## ANEXO C

---

### Código para análisis de datos

---

```
# COMMAND

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# COMMAND

data = pd.read_csv("output-it-01.csv")

# COMMAND

numerical_data = list()

# COMMAND

for idx, row in enumerate(data.itertuples(index=False, name=None), 1):
    numerical_data_entry = list()
    for col_idx, col_name in enumerate(data.columns):
        if ((col_idx % 2) != 0):
            numerical_data_entry.append(row[col_idx])
    numerical_data.append(numerical_data_entry)

# COMMAND

data_array = np.array(numerical_data)

# COMMAND

averages = np.mean(data_array, axis=0)

# COMMAND

plt.plot(averages, marker="o", color="black")
plt.xlabel("Pantalla")
plt.ylabel("Promedio")
plt.title("Promedio del puntaje de cada pantalla (primera iteracion)")
plt.ylim(1, 10)
plt.show()
```

## ANEXO D

### Especificaciones del Samsung Galaxy S24

<b>Network</b>	GSM / CDMA / HSPA / EVDO / LTE / 5G
<b>Launch</b>	Announced: 2024, January 17 Status: Available. Released 2024, January 24
<b>Body</b>	Dimensions: 147 x 70.6 x 7.6 mm (5.79 x 2.78 x 0.30 in) Weight: 167 g or 168 g (5.89 oz) Build: Glass front (Gorilla Glass Victus 2), glass back (Gorilla Glass Victus 2), aluminum frame SIM: Nano-SIM and eSIM / Dual eSIM or Dual SIM (2 Nano-SIMs and eSIM, dual stand-by) IP68 dust/water resistant (up to 1.5m for 30 min) Armor aluminum 2 frame with tougher drop and scratch resistance
<b>Display</b>	Type: Dynamic LTPO AMOLED 2X, 120Hz, HDR10+, 2600 nits (peak) Size: 6.2 inches, 94.4 cm <sup>2</sup> ( 90.9 % screen-to-body ratio) Resolution: 1080 x 2340 pixels, 19.5:9 ratio ( 416 ppi density) Protection: Corning Gorilla Glass Victus 2 Always-on display
<b>Platform</b>	OS: Android 14, up to 7 major Android upgrades, One UI 6.1.1 Chipset: Qualcomm SM8650-AC Snapdragon 8 Gen 3 (4 nm) - USA/Canada/China, Exynos 2400 (4 nm) - International CPU: 8-core (1x3.39GHz Cortex-X4 & 3x3.1GHz Cortex-A720 & 2x2.9GHz Cortex-A720 & 2x2.2GHz Cortex-A520) or 10-core (1x3.2GHz Cortex-X4 & 2x2.9GHz Cortex-A720 & 3x2.6GHz Cortex-A720 & 4x1.95GHz Cortex-A520) GPU: Adreno 750 (1 GHz) - USA/Canada/China, Xclipse 940 - International
<b>Memory</b>	Card slot: No Internal: 128GB 8GB RAM, 256GB 8GB RAM, 256GB 12GB RAM, 512GB 8GB RAM UFS 3.1 (128GB only), UFS 4.0

<b>Main Camera</b>	Triple: 50 MP, f/1.8, 24mm (wide), dual pixel PDAF, OIS; 10 MP, f/2.4, 67mm (telephoto), PDAF, OIS, 3x optical zoom; 12 MP, f/2.2, 13mm, 120 (ultrawide), Super Steady video Features: LED flash, auto-HDR, panorama Video: 8K@24/30fps, 4K@30/60fps, 1080p@30/60/240fps, HDR10+, stereo sound rec., gyro-EIS
<b>Selfie Camera</b>	Single: 12 MP, f/2.2, 26mm (wide), dual pixel PDAF Features: HDR, HDR10+ Video: 4K@30/60fps, 1080p@30fps
<b>Sound</b>	Loudspeaker: Yes, with stereo speakers 3.5mm jack: No 32-bit/384kHz audio, tuned by AKG
<b>Comms</b>	WLAN: Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac/6e, tri-band, Wi-Fi Direct Bluetooth: 5.3, A2DP, LE Positioning: GPS, GLONASS, BDS, GALILEO, QZSS NFC: Yes Radio: No USB: USB Type-C 3.2, DisplayPort 1.2, OTG
<b>Features</b>	Sensors: Fingerprint (under display, ultrasonic), accelerometer, gyro, proximity, compass, barometer Samsung DeX, Samsung Wireless DeX (desktop experience support)
<b>Battery</b>	Type: Li-Ion 4000 mAh, non-removable Charging: 25W wired, PD3.0, 50% in 30 min (advertised); 15W wireless (Qi/PMA); 4.5W reverse wireless
<b>Misc</b>	Colors: Onyx Black, Marble Grey, Cobalt Violet, Amber Yellow, Jade Green, Sandstone Orange, Sapphire Blue Models: SM-S921B, SM-S921B/DS, SM-S921U, SM-S921U1, SM-S921W, SM-S921N, SM-S9210, SM-S921E, SM-S921E/DS SAR: 1.23 W/kg (head), 1.10 W/kg (body); SAR EU: 0.87 W/kg (head), 1.35 W/kg (body) Price: \$437.68 / €634.99 / £479.70
<b>Tests</b>	Performance: AnTuTu: 1218977 (v9), 1696727 (v10); GeekBench: 5833 (v5), 6747 (v6); 3DMark: 4183 (Wild Life Extreme) Display: 1401 nits max brightness (measured) Camera: Photo / Video Loudspeaker: -25.2 LUFS (Very good) Battery (new): Active use score 12:06h

(GSMArena, sf)

## ANEXO E

### Especificaciones de Tobii *Eye Tracker 5*

<b>Created</b>	4 years ago
<b>Updated</b>	9 months ago
<b>Size</b>	285 mm wide
<b>Housing</b>	Machined aluminum
<b>Shape</b>	Flat front
<b>Sensor</b>	IS5 with custom Tobii NIR sensor (850nm)
<b>Field of View</b>	40 x 40 degrees
<b>Supported Screen Size Area</b>	15" to 27"[16:9] or 30"[21:9]*
<b>Head Tracking</b>	CPU + Neural Network (CNN) combined / 6DoF**
<b>Image Sampling Rate and Gaze Frequency</b>	133Hz Non-interlaced gaze at 33Hz
<b>Illuminator</b>	33Hz
<b>Gaze Recovery</b>	Continuous recovery
<b>Biometric Security</b>	Windows Hello 4.x using NIR + RGB
<b>Software</b>	Tobii Experience
<b>System Requirement</b>	Windows 10/11
<b>System Recommendations</b>	6th generation Intel Core (i3/i5/i7-6xxx) and later, or equivalent AMD 64 bit processor, minimum 2GHz, 8GB RAM, and USB port***

(Tobii, sf)