

Aplicación móvil para la clasificación y aprovechamiento de los residuos por parte de la comunidad recicladora

Autor: Brayan Steev Torres Contreras
Tutor: David Alejandro Martínez Vásquez
Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Tecnología
Licenciatura en Electrónica
Bogotá D.C, 2026



Tabla de contenido

Dedicatoria	9
Agradecimientos	10
1. Introducción.....	12
2. Planteamiento del problema.....	15
2.1 Descripción del problema	15
2.2 Formulación del problema	17
3. Objetivo general	18
3.1 Objetivos específicos.....	18
4. Justificación	18
5. Antecedentes	21
5.1 Estado del arte	21
6. Marco teórico.....	25
6.1 Definiciones conceptuales	25
6.1.1 Reciclaje.....	25
6.1.2 Economía circular	25
6.1.3 Clasificación de residuos	26
6.1.4 Tecnología móvil.....	26
6.1.5 Inteligencia artificial y visión por computadora	27
6.1.6 Desarrollo de aplicaciones móviles.....	28

6.1.7 Lenguajes de programación	28
6.1.8 Redes neuronales convolucionales y aprendizaje profundo	30
7. Metodología.....	35
7.1 Enfoque de la investigación	35
7.2 Tipo de investigación	36
7.3 Contexto y participantes	38
7.4 Técnicas e instrumentos	39
7.5 Procedimiento	40
7.5.1 Diagnóstico y levantamiento de requerimientos.....	40
7.5.2 Análisis de la solución.....	40
7.5.3 Diseño	41
7.5.4 Implementación e integración.....	41
7.5.5 Pruebas	41
7.5.6 Despliegue o validación	42
7.6 Estrategia de análisis de la información.....	42
8. Desarrollo de la solución	42
8.1 Introducción al desarrollo	42
8.2 Análisis y levantamiento de requerimientos	44
8.3 Diseño de la solución.....	45
8.3.1 Diseño de clases y componentes.....	45

8.3.2 <i>Diseño de la navegabilidad</i>	47
8.3.3 <i>Diseño inicial de las interfaces</i>	48
8.4 Implementación de la aplicación Android	50
8.5 Desarrollo e integración del modelo de reconocimiento	53
8.5.1 <i>Caracterización y ciclo de vida de los datos</i>	53
8.5.2 <i>Arquitectura implementada</i>	55
8.5.3 <i>Entrenamiento y evaluación técnica del modelo</i>	58
8.5.4 <i>Conversión e integración del modelo en Android</i>	62
9. Resultados	66
9.1 Caracterización de los participantes y antecedentes de reciclaje	66
9.2 Percepción del funcionamiento, la organización y el diseño de EcoScan	69
9.3 Valoración de las funciones principales de la aplicación	73
9.4 Utilidad educativa e impacto percibido	78
9.5 Funciones destacadas y oportunidades de mejora	83
10. Conclusiones	87
11. Trabajos futuros	89
12. Referencias	92
13. Anexos	95

Lista de tablas

Tabla 1. Comparativa de antecedentes relacionados con EcoScan.....	24
Tabla 2. Representación de valores de píxeles de una imagen de 4x4	31
Tabla 3. Filtro o kernel utilizado en el ejemplo de convolución.....	31
Tabla 4. Resultado de la operación de convolución.....	32
Tabla 5. Correspondencia entre objetivos específicos y actividades de desarrollo	43
Tabla 6. Evolución de la exactitud del modelo a través de las épocas de entrenamiento.....	59
Tabla 7. Facilidad para comprender el funcionamiento de EcoScan Pregunta 4. ¿Qué tan fácil le resultó comprender el funcionamiento de la aplicación EcoScan?	69
Tabla 8. Organización de los menús y las opciones de la aplicación Pregunta 5. ¿Qué tan organizada le pareció la distribución de los menús y opciones dentro de la aplicación?	70
Tabla 9. Claridad de la información sobre materiales reciclables Pregunta 6. ¿Qué tan clara le pareció la información presentada sobre los materiales reciclables?	71
Tabla 10. Valoración del diseño visual de la aplicación Pregunta 7. ¿Qué tan agradable le pareció el diseño visual de la aplicación?	72
Tabla 11. Efectividad percibida del sistema de reconocimiento de materiales Pregunta 8. ¿Qué tan efectivo fue el sistema de reconocimiento de materiales al identificar correctamente los residuos escaneados?	73
Tabla 12. Unidad de la información presentada después del escaneo Pregunta 9. ¿La información mostrada después del escaneo fue útil para comprender las características del material?	74
Tabla 13. Utilidad y facilidad de uso de la localización de centros de reciclaje Pregunta 10. ¿La función para localizar centros de reciclaje cercanos fue útil y fácil de utilizar?	75

Tabla 14. Aporte de la guía de materiales al aprendizaje de la clasificación de residuos	
Pregunta 11. ¿La guía de materiales reciclables facilitó el aprendizaje sobre la correcta clasificación de residuos?.....	76
Tabla 15. Unidad de la sección: Otras alternativas	
Pregunta 12. ¿La sección “Otras alternativas” permitió conocer nuevas estrategias para el aprovechamiento de residuos?	77
Tabla 16. Contribución percibida de EcoScan a las prácticas comunitarias de reciclaje	
Pregunta 16. ¿Considera que una aplicación como EcoScan puede contribuir a mejorar las prácticas de reciclaje en su comunidad?.....	81
Tabla 17. Aspectos propuestos para mejorar futuras versiones de EcoScan	
Pregunta 19. ¿Qué aspecto considera que debería mejorarse en futuras versiones de EcoScan?.....	84

Lista de figuras

Figura 1. Red neuronal convolucional	33
Figura 2. Diagrama de casos de uso de la aplicación EcoScan.....	45
Figura 3. Diagrama de clases y dependencias principales de EcoScan	47
Figura 4. Mapa de navegación de la aplicación EcoScan.....	48
Figura 5. Prototipo inicial y relaciones entre las interfaces de EcoScan	49
Figura 6. Pantalla de inicio y menú principal de EcoScan	50
Figura 7. Flujo de escaneo e información del material identificado	51
Figura 8. Cuestionario educativo y consulta de puntos de reciclaje	52
Figura 9. Interfaces complementarias de EcoScan	53
Figura 10. Ciclo de vida de los datos y del modelo en EcoScan	54
Figura 11. Cuatro clases de materiales identificables con el modelo de machine learning, de un total de doce	55
Figura 12. Arquitectura ResNet-18 compuesta por 18 capas neuronales.....	56
Figura 13. Representación de la arquitectura del clasificador implementado.....	57
Figura 14. Creación del modelo basado en ResNet-18 en PyTorch	58
Figura 15. Pérdidas en el entrenamiento de la red neuronal convolucional y exactitud en el proceso de validación	58
Figura 16. Matriz de confusión en la época 10	60
Figura 17. Matriz de confusión en la época 50	61
Figura 18. Matriz de confusión en la época 100	62
Figura 19. Integración entre el modelo de reconocimiento y la aplicación Android.....	63

Figura 20. Función para llamar al modelo de reconocimiento de materiales reciclables desde el dispositivo Android.....	64
Figura 21. Reconocimiento de materiales en la aplicación Android	65
Figura 22. Ocupación de los participantes Pregunta 1. ¿Cuál es su ocupación?	66
Figura 23. Información previa sobre reciclaje Pregunta 2. ¿Había recibido información sobre reciclaje antes de utilizar la aplicación?.....	67
Figura 24. Frecuencia de realización de actividades relacionadas con el reciclaje Pregunta 3. ¿Con qué frecuencia realiza actividades relacionadas con el reciclaje?	68
Figura 25. Aporte de los cuestionarios al fortalecimiento de conocimientos Pregunta 13. ¿Los cuestionarios incluidos en la aplicación reforzaron sus conocimientos sobre reciclaje?	78
Figura 26. Mejora percibida en la identificación de materiales reciclables Pregunta 14. ¿Después de utilizar la aplicación, considera que mejoró su capacidad para identificar materiales reciclables?	79
Figura 27. Capacidad percibida para clasificar correctamente los residuos reciclables Preguntas 15. ¿Después de utiliza la aplicación, considera que puede clasificar correctamente los residuos reciclables?	80
Figura 28. Intención de recomendar la aplicación EcoScan Pregunta 17. ¿Recomendaría la aplicación EcoScan a otras personas interesadas en el reciclaje?.....	82
Figura 29. Funciones de EcoScan consideradas más útiles Pregunta 18. ¿Cuál de las siguientes funciones de la aplicación le pareció más útil?	83

Dedicatoria

Siempre he creído que las personas llegan a nuestras vidas con un propósito. Algunas permanecen con nosotros durante años y otras solo por un corto tiempo, pero todas dejan una huella que nos transforma y nos ayuda a crecer. Al mirar hacia atrás y recordar todo el camino recorrido para llegar hasta este momento, entiendo que este logro no es únicamente mío, sino también de quienes me acompañaron y apoyaron durante este proceso.

Quiero dedicar este trabajo, de una manera muy especial, a mi abuela Lilia Aurora Contreras, quien estuvo conmigo desde el inicio de esta travesía y quien, aunque hoy ya no pueda acompañarme físicamente, sé que su amor y sus enseñanzas permanecen conmigo. Ella creyó en mis capacidades incluso cuando yo dudaba de mí mismo y siempre me impulso a seguir adelante. Este logro también es suyo.

A mis padres, Clara Contreras e Iván Torres, por todos los esfuerzos y sacrificios que realizaron para brindarme la oportunidad de estudiar y construir un mejor futuro. Gracias por su apoyo, sus consejos y por enseñarme el valor de la perseverancia y el compromiso.

También quiero dedicar este trabajo a Valentina Vargas, quien caminó a mi lado durante este proceso y fue un apoyo fundamental en los momentos más difíciles. Gracias por tu paciencia, comprensión, compañía y por creer en mí cuando más lo necesitaba. Tu apoyo fue una parte importante de este logro.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que confiaron en mí, me brindaron una palabra de aliento o estuvieron presentes en algún momento de este camino. Cada una dejó una huella que hizo posible este momento.

Este proyecto representa mucho más que el final de una carrera universitaria; simboliza el esfuerzo, las dificultades superadas y el crecimiento personal y profesional que me permitió llegar hasta aquí. Gracias por creer en mí y por ser parte de este sueño hecho realidad.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Pedagógica Nacional por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de formarme como profesional. Gracias por ofrecer un espacio de aprendizaje que contribuyó significativamente a mi crecimiento académico, profesional y personal.

A mi asesor de grado, David Martínez, por su orientación, dedicación y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Sus conocimientos, observaciones y consejos fueron fundamentales para fortalecer este proyecto y alcanzar los objetivos propuestos.

A todos los docentes que hicieron parte de mi proceso de formación, gracias por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas. Cada una dejó una huella importante en mi desarrollo como profesional.

Quiero expresar un agradecimiento muy especial a Ana Milena Novoa y a mi hermano Jeisson Torres, quienes me acompañaron desde el inicio de esta carrera. Gracias por su amistad, apoyo incondicional y por estar presentes en los momentos más importantes de este proceso. Su confianza, sus consejos y sus palabras de aliento hicieron que este camino fuera mucho más llevadero y significativo.

También quiero agradecer profundamente a mis amigos de Skechers: Danna Rubio, Viviana Caicedo, Daniel Pérez, Nataly Arango y Jhonnathan Castañeda. Gracias por su compañía, por escucharme, motivarme y brindarme su apoyo durante una etapa tan importante de mi vida. Su amistad y confianza fueron una fuente constante de fortaleza para seguir adelante.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, hicieron parte de este proceso. Cada palabra de aliento, cada consejo y cada muestra de apoyo contribuyeron a que hoy pudiera alcanzar una de las metas más importantes de mi vida.

Este trabajo de grado representa años de esfuerzo, dedicación y aprendizaje. A todos ustedes, gracias por creer en mí y por acompañarme en este camino que hoy culmina con la satisfacción de haber alcanzado este importante logro.

Resumen

El presente trabajo de grado desarrolla **EcoScan**, una aplicación móvil orientada al reconocimiento y clasificación de materiales reciclables mediante inteligencia artificial. La aplicación integra herramientas de reconocimiento de materiales, información educativa, cuestionarios y geolocalización de centros de reciclaje. Su desarrollo parte de las dificultades identificadas en los procesos de clasificación y aprovechamiento de residuos. Los resultados obtenidos evidencian una valoración positiva de la aplicación por parte de los usuarios y su potencial como herramienta de apoyo para fortalecer los conocimientos y las prácticas relacionadas con el reciclaje.

Abstract

This thesis project presents EcoScan, a mobile application designed to recognize and classify recyclable materials using artificial intelligence. The application integrates material recognition tools, educational information, quizzes, and the geolocation of recycling centers. Its development addresses challenges identified in waste sorting and recovery processes. The results demonstrate a positive reception by users and highlight the application's potential as a tool to enhance knowledge and practices related to recycling.

Palabras Claves

Reciclaje – Residuos reciclables – Gestión de residuos – Inteligencia Artificial – Aplicación Móvil – Geolocalización - Prácticas de reciclaje – Educación Ambiental.

Keywords

Recycling – Recyclable waste – Waste management – Artificial Intelligence – Mobile application – Geolocation – Recycling practices – Environmental education.

1. Introducción

En la actualidad el crecimiento acelerado de las ciudades y el aumento en los niveles de consumo han generado un incremento significativo en la producción de residuos sólidos, convirtiéndose en una de las principales problemáticas ambientales a nivel global y local (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2025). En Colombia, la gestión de estos residuos constituye un reto debido a los diferentes destinos que reciben después de su generación, entre ellos la acumulación en vertederos controlados y los flujos que llegan directamente al ambiente. En ciudades como Bogotá D.C., esta situación se refleja en la alta cantidad de desechos que se generan diariamente y que, en muchos casos, son dispuestos de manera inadecuada, lo que contribuye a la saturación de los rellenos sanitarios, la contaminación ambiental y la pérdida de materiales potencialmente aprovechables (DANE, 2025).

Frente a este panorama, el reciclaje surge como una estrategia fundamental para mitigar el impacto ambiental, promover el uso eficiente de los recursos y fortalecer modelos de economía circular. De acuerdo con el DANE (2025), durante 2023 la tasa de aprovechamiento de residuos sólidos y productos residuales fue del 60,68 %, mientras que la tasa de reciclaje y nueva utilización alcanzó el 10,51 %, lo que evidencia la importancia de fortalecer las acciones orientadas a mejorar la gestión y recuperación de materiales. Sin embargo, para que este proceso sea realmente efectivo, es indispensable realizar una adecuada clasificación de los residuos desde su origen. En este contexto, se identifican diversas dificultades, especialmente en las

comunidades que participan activamente en la recolección y comercialización de materiales reciclables, como recicladores de oficio, ciudadanos y proveedores de centros de acopio, quienes en muchas ocasiones no cuentan con la formación necesaria para diferenciar correctamente los distintos tipos de materiales.

Esta problemática no solo afecta la eficiencia del sistema de reciclaje, sino que también impacta directamente en el aspecto económico de estas comunidades, ya que una clasificación inadecuada disminuye el valor de los materiales recuperados y genera reprocesos en los centros de acopio. Además, la mezcla de residuos reciclables con desechos no aprovechables ocasiona contaminación cruzada, lo que dificulta su reutilización y aumenta el volumen de residuos destinados a disposición final.

Por otra parte, el avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de herramientas digitales capaces de contribuir a la solución de diversas problemáticas. En particular, el acceso a dispositivos móviles ha crecido de manera significativa, incluso en poblaciones con recursos limitados, lo que representa una oportunidad para implementar soluciones tecnológicas accesibles que favorezcan la educación y el fortalecimiento de prácticas sostenibles. Desde el campo de la electrónica y el desarrollo tecnológico, es posible integrar herramientas como sensores, procesamiento de imágenes, inteligencia artificial y sistemas de geolocalización para diseñar aplicaciones que respondan a necesidades reales del entorno.

En este contexto, el presente proyecto se orienta al desarrollo de una aplicación móvil destinada a apoyar el proceso de clasificación y aprovechamiento de residuos reciclables, dirigida a la comunidad que abastece los centros de acopio. La propuesta integra técnicas de visión por computadora e inteligencia artificial para el reconocimiento de materiales mediante la cámara del dispositivo móvil, así como funcionalidades de geolocalización que permiten

identificar centros de reciclaje cercanos, facilitando la toma de decisiones por parte de los usuarios. En términos técnicos, la aplicación fue desarrollada para Android con Kotlin y Jetpack Compose; el modelo de clasificación se entrenó en Python mediante PyTorch sobre una arquitectura ResNet-18 y se integró en el dispositivo móvil mediante ExecuTorch.

Desde una perspectiva formativa y tecnológica, este proyecto no solo busca ofrecer una herramienta funcional, sino también promover el aprendizaje autónomo y fortalecer los conocimientos relacionados con el reciclaje, contribuyendo a reducir la brecha existente entre el interés de la comunidad por participar en estas prácticas y su capacidad para realizarlas de manera adecuada. Asimismo, se espera generar un impacto positivo en los ámbitos ambiental, social y económico, mediante el uso de la tecnología como un medio para transformar prácticas cotidianas y fomentar una cultura de aprovechamiento responsable de los residuos.

Finalmente, este trabajo se desarrolla en el marco de la Licenciatura en Electrónica, integrando conocimientos propios del área como el desarrollo de sistemas tecnológicos, la programación y la implementación de soluciones digitales, con un enfoque educativo orientado a responder problemáticas reales del contexto social. De esta manera, se evidencia el potencial de la electrónica como herramienta de transformación y aporte a la sostenibilidad.

El documento se organiza en doce capítulos. Después de esta introducción, el capítulo 2 presenta el planteamiento del problema y la pregunta de investigación; el capítulo 3, los objetivos; el capítulo 4, la justificación; el capítulo 5, los antecedentes y el estado del arte; y el capítulo 6, el marco teórico. El capítulo 7 describe la metodología, mientras que el capítulo 8 documenta el desarrollo de la solución, desde el levantamiento de requerimientos hasta la implementación e integración del modelo, y reúne las evidencias técnicas disponibles sobre su funcionamiento. Por último, el capítulo 9 presenta las conclusiones vinculadas con los objetivos;

el capítulo 10, los trabajos futuros; el capítulo 11, las referencias bibliográficas; y el capítulo 12, los anexos.

2. Planteamiento del problema

2.1 Descripción del problema

En las últimas décadas, el crecimiento acelerado de las ciudades, el aumento del consumo y la transformación de los estilos de vida han generado un incremento considerable en la producción de residuos sólidos. En Colombia, durante 2023 se generaron aproximadamente 32,53 millones de toneladas de residuos sólidos y productos residuales, equivalentes a 624 kilogramos por habitante; de ese total, 11,73 millones de toneladas se acumularon en vertederos controlados y 406.503 toneladas correspondieron a flujos directos hacia el ambiente (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2025). Esta situación ha convertido la gestión de residuos en una de las principales problemáticas ambientales y sociales, especialmente en contextos urbanos como Bogotá, D.C. Para 2024, la capital registró un promedio diario de 6.364,12 tonelada dispuestas y 5.924,14 toneladas aprovechadas dentro del servicio público de aseo, con una tasa sectorial de aprovechamiento del 48,21% (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD], 2025). Estas cifras muestran que, aun cuando existe una actividad significativa de recuperación de materiales, permanece un volumen elevado de residuos que requieren recolección, clasificación y disposición final.

A pesar de la existencia de políticas públicas, programas institucionales y campañas de sensibilización orientadas al reciclaje, persisten dificultades en la correcta clasificación de los residuos desde la fuente. En el ámbito nacional, la tasa de reciclaje y nueva utilización fue del 10,51% en 2023, mientras que la tasa amplia de aprovechamiento alcanzó el 60,68%; esta última incluye, además del reciclaje, la cogeneración de energía y otros aprovechamientos, por lo cual

ambos indicadores no son equivalentes (DANE, 2025). Este proceso, fundamental para el aprovechamiento eficiente de los materiales reciclables, continúa realizándose de manera empírica por una parte de la población, incluyendo recicladores de oficio, ciudadanos y comunidades vinculadas a la cadena de recolección y comercialización de residuos. La dimensión social de la actividad también es considerable: en 2024 el Sistema único de Información registró 76.707 recicladores de oficio vinculados a 997 prestadores en proceso de formalización en el país; de ellos, 32.278 fueron reportados en Bogotá (SSPD, 2025).

Esta problemática fue identificada a partir de una inmersión desarrollada en el Centro de Acopio La 67, ubicado en la calle 67 n.º 19-69, en la localidad de Barrios Unidos, Bogotá. Esta experiencia se extendió durante aproximadamente dos años, entre 2022 y 2024, periodo en el que el autor participó directamente en actividades de recepción, clasificación, separación manual, pesaje, identificación y valoración comercial de materiales reciclables. La permanencia en este contexto permitió observar las dinámicas cotidianas del establecimiento e interactuar, mediante conversaciones informales, con recicladores de oficio, ciudadanos que comercializaban residuos aprovechables, gestores de residuos, acopiadores mayoristas y operadores logísticos.

Durante este proceso se identificaron dificultades para diferenciar materiales visualmente similares, determinar sus posibilidades de aprovechamiento, reconocer los criterios asociados con su calidad y establecer su valor comercial. Asimismo, se observó la entrega de materiales mezclados, contaminados o no aceptados por el centro de acopio, situación que obligaba a los responsables del establecimiento -quienes también desarrollaban las labores operativas- a revisar y clasificar nuevamente los residuos, incrementando el tiempo y el esfuerzo requeridos durante la recepción. Estos hallazgos se utilizaron como evidencia contextual para orientar la definición de

los requerimientos de EcoScan y no como resultados estadísticamente generalizables a la población recicladora de Bogotá.

Adicionalmente, la clasificación incorrecta genera repercusiones económicas directas, ya que el valor comercial de los materiales reciclables depende en gran medida de su estado, limpieza y correcta separación. En el formulario de campo se reportó que la identificación imprecisa podía ocasionar valoraciones inferiores o superiores a las correspondientes al material y al peso, además de retrasos en la compra por la necesidad de reclasificarlo. Aunque no se recopilaron montos de pérdida o variaciones de precio que permitan cuantificar este efecto en el Centro de Acopio La 67, la relevancia económica de la cadena se evidencia en que durante 2024 se reportaron 2.987.271 toneladas aprovechadas en Colombia, de las cuales 2.132.691 toneladas -el 71,39% el total nacional reportado- correspondieron a Bogotá (SSPD,2025). Por tanto, mejorar la clasificación desde la fuente puede contribuir a disminuir reprocesos y a conservar la calidad comercial de los materiales; sin embargo, el efecto monetario específico de la aplicación propuesta en este trabajo de grado -EcoScan- deberá determinarse mediante mediciones posteriores.

2.2 Formulación del problema

A partir de lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede una aplicación móvil que integre tecnologías de visión por computadora para el reconocimiento inteligente de materiales reciclables y sistemas de geolocalización contribuir al mejoramiento de las prácticas de clasificación y aprovechamiento de residuos en la comunidad recicladora y en los ciudadanos que participan en procesos de reciclaje en contextos urbanos?

3. Objetivo general

Diseñar una aplicación móvil que integre tecnologías de visión por computadora para el reconocimiento inteligente de materiales reciclables y funcionalidades de geolocalización de centros de reciclaje, con el fin de facilitar la clasificación y el aprovechamiento adecuado de los residuos por parte de la comunidad recicladora y de los ciudadanos que participan en procesos de reciclaje.

3.1 Objetivos específicos

- Diagnosticar las necesidades técnicas, formativas y tecnológicas de la comunidad recicladora en relación con la clasificación y aprovechamiento de residuos.
- Desarrollar una interfaz accesible e incorporar contenidos interactivos en la aplicación que promuevan el aprendizaje autónomo sobre la correcta clasificación de residuos reciclables.
- Evaluar el impacto del uso de la aplicación en el fortalecimiento de los conocimientos y en la mejora de las prácticas de aprovechamiento de residuos por parte de los usuarios.

4. Justificación

La gestión inadecuada de residuos sólidos no solo representa una problemática ambiental, sino también una limitación social y económica para las comunidades que participan en actividades de reciclaje. En Colombia, durante 2023 se acumularon 11,73 millones de toneladas de residuos y productos residuales en vertederos controlados y se registraron 406.503 toneladas de flujos hacia el ambiente (DANE, 2025). En Bogotá, la actividad involucra una población laboral amplia: la SSPD (2025) reportó 32.278 recicladores de oficio en la ciudad durante el 2024. Estas cifras sustentan la necesidad de fortalecer las capacidades de quienes intervienen en

la recuperación de materiales y de mejorar la eficiencia y calidad de los procesos de aprovechamiento.

En este contexto, la falta de conocimientos técnicos para la clasificación de residuos constituye una barrera que dificulta el aprovechamiento de su potencial económico. La identificación incorrecta puede contaminar materiales recuperables, trasladando tareas de reclasificación a los centros de acopio y afectar su calidad comercial. Esta relación es relevante porque el esquema colombiano reconoce la actividad de aprovechamiento como componente del servicio público de aseo e incorpora la remuneración vía tarifa para los prestadores que cumplen las condiciones normativas (SSPD, 2025). Por ello, apoyar la clasificación desde la fuente no solo tiene una finalidad ambiental, sino que se relaciona con la eficiencia operativa y con la inclusión económica de la población recicladora.

Frente a esta situación, el uso de tecnologías móviles se presenta como una alternativa viable y pertinente. La evidencia empírica indica que las aplicaciones pueden apoyar cambios en las prácticas de reciclaje cuando combinan información, seguimiento y estrategias de intervención: Shan et al. (2021) encontraron que una intervención asistida por una aplicación móvil incrementó la participación en reciclaje y redujo la contaminación de los materiales recolectados. Asimismo, de Wildt y Meijers (2023) mostraron que el uso de una aplicación puede favorecer conductas de reparación cuando disminuye las barreras percibidas y ofrece apoyo oportuno. En la aplicación que se propone en este trabajo de investigación -EcoScan- esta posibilidad se concreta mediante información inmediata, interactiva y contextualizada para orientar decisiones durante la clasificación.

La propuesta integra inteligencia artificial y visión por computadora para reconocer materiales reciclables mediante la cámara del dispositivo. La literatura reciente identifica la

clasificación, la predicción y la optimización de procesos entre las principales aplicaciones de la inteligencia artificial en la gestión de residuos, aunque también advierte desafíos relacionados con la calidad de los datos, la variabilidad de las condiciones reales y la capacidad de generalización de los modelos (Fang et al., 2023). En el campo específico de las aplicaciones móviles, Kunwar (2023) demostró la viabilidad de emplear aprendizaje profundo para clasificar residuos domésticos a partir de imágenes. En consecuencia, EcoScan no sustituye el criterio humano ni garantiza una clasificación infalible; funciona como una herramienta de apoyo cuya utilidad depende de la precisión del modelo y de condiciones como iluminación, encuadre y estado del material.

De igual manera, la incorporación de geolocalización puede optimizar la conexión entre usuarios y centros de reciclaje. Iparraguirre-Villanueva et al. (2023) evidenciaron que una aplicación basada en geolocalización puede contribuir a mejorar indicadores operativos del proceso de reciclaje. En EcoScan, esta funcionalidad complementa el componente educativo al permitir que el usuario, después de indicar el material, localice alternativas cercanas para su entrega y aprovechamiento.

Desde el ámbito académico, este trabajo aporta al desarrollo de soluciones tecnológicas con enfoque social, al integrar programación móvil, procesamiento de imágenes, inteligencia artificial y educación ambiental en respuesta a una necesidad contextual. Su valor no reside únicamente en la construcción de un prototipo, sino en la articulación entre el diagnóstico del centro de acopio, los requerimientos de los usuarios y una solución técnica que puede ser evaluada y perfeccionada.

Finalmente, el proyecto se relaciona de manera directa con metas específicas de la Agenda 2030. La meta 11.6 busca reducir el impacto ambiental per cápita de las ciudades, con

atención particular a la gestión de residuos municipales; por su parte, la meta 12.5 propone disminuir sustancialmente la generación de residuos mediante prevención, reducción, reciclaje y reutilización (Naciones Unidas, s.f.). Al apoyar la clasificación, divulgar alternativas de aprovechamiento y facilitar la localización de centros de reciclaje, la aplicación EcoScan puede contribuir a dichas metas en el ámbito local. Esta contribución debe entenderse como potencial y no como un impacto ya demostrado. Pues su magnitud requerirá una evaluación posterior con usuarios e indicadores de cambio.

5. Antecedentes

5.1 Estado del arte

En los últimos años, el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a la gestión de residuos sólidos y al fortalecimiento de prácticas de reciclaje ha experimentado un crecimiento significativo, especialmente a través del uso de aplicaciones móviles. Estas herramientas han surgido como una alternativa para abordar problemáticas relacionadas con la clasificación, disposición y aprovechamiento de residuos, integrando enfoques educativos, logísticos y tecnológicos que buscan mejorar la eficiencia del sistema de reciclaje.

De manera general, las investigaciones y desarrollos realizados en este campo pueden agruparse en tres enfoques principales: aplicaciones con fines educativos, aplicaciones orientadas a la gestión y logística del reciclaje y aplicaciones que incorporan tecnologías emergentes para la automatización de procesos.

En el ámbito internacional, Iparraguirre-Villanueva et al. (2023) desarrollaron en Perú una aplicación móvil basada en geolocalización para optimizar el proceso de reciclaje. Su principal aporte consiste en demostrar, mediante indicadores operativos, que una plataforma móvil puede mejorar la gestión y los tiempos de respuesta en organizaciones recicladoras. Sin

embargo, la solución se concentra en la coordinación logística y empresarial; no aborda la identificación visual del residuo ni ofrece asistencia al usuario en el momento de clasificarlo. Esta limitación justifica que EcoScan conserve la geolocalización como función complementaria, pero sitúe el reconocimiento del material como núcleo de la interacción.

En el contexto nacional, Gonzales Pascuas (2021) propuso en Bogotá una aplicación orientada a apoyar la enseñanza del reciclaje, especialmente en población infantil. Su aporte radica en organizar contenidos pedagógicos para reconocer categorías generales como plásticos, cartón y papel, lo que confirma el valor formativo de los recursos móviles. No obstante, la clasificación depende de la consulta y de la interacción educativa programada, sin reconocimiento automático de residuos físicos. EcoScan retoma el propósito pedagógico, pero busca extenderlo mediante retroalimentación generada a partir de una imagen capturada por el usuario.

Labrador Acosta (2018) formuló un plan de negocio para una aplicación dirigida a empresas recolectoras de reciclaje, con funciones de registro de usuarios, caracterización y consulta de información. El estudio aporta una perspectiva organizacional y evidencia posibilidades de sistematización de la cadena de aprovechamiento. Su limitación para el presente problema es que la propuesta se orienta al modelo empresarial y a la gestión de información, no a una herramienta funcional de reconocimiento visual ni a la formación contextual de recicladores y ciudadanos.

Rivera Velandia et al. (2021) desarrollaron una aplicación Android para formar sobre el manejo, la separación, el transporte y la disposición de materiales reciclables en Bogotá. Incorporando la geolocalización de empresas recicladoras. Este antecedente es relevante porque integra educación ambiental y conexión territorial entre actores. No obstante, la identificación

del material continúa dependiendo del conocimiento y de la consulta manual del usuario. La aplicación EcoScan se diferencia al articular esas funciones con un modelo de visión por computadora que genera una clasificación automatizada.

Como antecedente tecnológico directamente comparable, Kunwar (2023) desarrolló MWaste, una aplicación que utiliza visión por computadora y aprendizaje profundo para clasificar residuos domésticos en seis categorías. El estudio aporta evidencia de viabilidad técnica y compara arquitecturas neuronales con imágenes de prueba. Sin embargo, su alcance se concentra en la clasificación general y no integra geolocalización, contenidos específicos sobre aprovechamiento ni una caracterización de la población recicladora colombiana. Este trabajo confirma que el reconocimiento móvil es técnicamente posible, pero también muestra la necesidad de contextualizar la solución y ampliar su función educativa y operativa.

El trabajo de campo del presente proyecto complementa los antecedentes al mostrar que los recicladores y proveedores consultados recurren principalmente a criterios empíricos -color, textura, transparencia, flexibilidad o uso previo- y que la diversidad de materiales puede producir dudas y reprocesos. Este hallazgo no se asume como una generalización estadística, debido a que se obtuvo mediante observación y conversaciones informales; se utiliza como evidencia contextual para definir los requerimientos de la aplicación.

En conjunto, los antecedentes evidencian tres líneas dominantes: educación ambiental, gestión y logística, y reconocimiento automatizado. Sus aportes muestran que cada componente es pertinente, pero sus limitaciones revelan una integración todavía insuficiente entre asistencia visual en tiempo real, información educativa contextualizada y localización de centros de reciclaje. Esta brecha fundamenta el desarrollo de la aplicación EcoScan, cuya contribución consiste en articular los tres componentes en una aplicación Android orientada a recicladores de

oficio y ciudadanos. La propuesta no se presenta como la primera aplicación de reconocimiento de residuos, sino como una integración contextualizada para el escenario de los centros de acopio de Bogotá.

Tabla 1. Comparativa de antecedentes relacionados con EcoScan

Autor	Año	Tecnología	Objetivo	Aporte	Limitación
Labrador Acosta	2018	Aplicación móvil/gestión de información	Estructurar un plan de negocio para una aplicación dirigida a empresas recolectoras.	Perspectiva empresarial y sistematización de actores e información.	No integra reconocimiento visual ni validación de una herramienta funcional con la población objetivo.
Gonzales Pascuas	2021	Aplicación móvil educativa	Apoyar la enseñanza del reciclaje en Bogotá.	Organización pedagógica de categorías básicas de residuos.	Enfoque principalmente infantil y sin identificación automática de residuos físicos.
Rivera Velandia et al.	2021	Android y geolocalización	Formar sobre separación y conectar actores del reciclaje en Bogotá.	Integra educación ambiental y ubicación de empresas recicladoras.	La clasificación depende de consulta manual; no incorpora visión por computadora.
Iparraguirre-Villanueva et al.	2023	Aplicación móvil y geolocalización	Optimizar procesos operativos de reciclaje.	Evalúa indicadores de operación y demuestra utilidad logística.	Orientación empresarial; no asiste la clasificación visual desde la fuente.
Kunwar	2023	Aplicación móvil, visión por computadora y deep learning	Clasificar residuos domésticos en seis categorías.	Demuestra viabilidad del reconocimiento móvil y compara modelos neuronales.	Clasificación general; no integra geolocalización ni contextualización para recicladores colombianos.

Nota. Elaboración propia a partir de los estudios revisados.

6. Marco teórico

6.1 Definiciones conceptuales

6.1.1 *Reciclaje*

El reciclaje forma parte de la gestión de residuos y comprende la recuperación y el procesamiento de materiales descartados para reincorporarlos como insumos en nuevos procesos productivos. Su efectividad depende de la separación, la recolección diferenciada, el tratamiento y la existencia de mercados capaces de utilizar los materiales recuperados. En consecuencia, no todo residuo recolectado se convierte automáticamente en materia prima: la contaminación, la mezcla de materiales y las limitaciones técnicas o económicas pueden impedir su aprovechamiento (Kaza et al., 2018).

Cuando los materiales son separados adecuadamente, el reciclaje puede disminuir la cantidad destinada a disposición final y reducir la demanda de materias primas vírgenes. No obstante, sus beneficios dependen del tipo de residuo, de la calidad del material recuperado y de la eficiencia del sistema de gestión. Esta condición resulta central para la aplicación propuesta de EcoScan, pues la aplicación busca apoyar la identificación inicial de materiales como papel, cartón, vidrio, metales y diferentes clases de plástico.

6.1.2 *Economía circular*

La economía circular se entiende como un enfoque sistémico orientado a reducir la extracción de recursos y la generación de residuos mediante estrategias de reducción, reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje. A diferencia del modelo lineal de extraer, producir, consumir y desechar, procura conservar durante más tiempo el valor de los productos, componentes y materiales dentro de los sistemas económicos. Kirchherr et al. (2017), a partir del

análisis de 114 definiciones, advierten que el concepto no debe limitarse a reciclaje, pues implica cambios en los modelos de producción, consumo y gestión de recursos.

Dentro de este enfoque, el reciclaje constituye una estrategia de recuperación de materiales cuando no es posible mantener el producto o componente a un nivel de uso superior. Para el presente proyecto, la economía circular aporta el marco que permite comprender la clasificación de residuos como una actividad previa a su reincorporación en ciclos productivos y como una práctica vinculada con dimensiones ambientales, sociales y económicas.

6.1.3 Clasificación de residuos

La clasificación de residuos consiste en separar los materiales de acuerdo con su origen, composición, características y alternativa de manejo o aprovechamiento. En los sistemas municipales pueden distinguirse residuos orgánicos, reciclables, no aprovechables y residuos que requieren gestión especial; a su vez, los reciclables se organizan en familias como papel y cartón, vidrio, metales y plásticos. La composición y las categorías concretas varían según el contexto, la regulación y la capacidad de tratamiento disponible (Kaza et al., 2018).

La separación desde la fuente favorece la conservación de la calidad de los materiales y reduce la contaminación cruzada. Cuando residuos húmedos, orgánicos o peligrosos se mezclan con materiales potencialmente reciclables, pueden aumentar los costos de selección y disminuir las posibilidades de recuperación. Por ello, la clasificación apoyada por la aplicación EcoScan debe entenderse como una orientación para el usuario y no como sustitución de los criterios técnicos, sanitarios y normativos aplicables a cada residuo.

6.1.4 Tecnología móvil

La tecnología móvil integra dispositivos portátiles, sistemas operativos, aplicaciones, interfaces y sensores que permiten procesar información y ejecutar funciones en contextos de

movilidad. Los teléfonos inteligentes incorporan recursos como cámara, conectividad, almacenamiento, geolocalización y capacidad de cómputo, los cuales pueden articularse mediante componentes de software para responder a diferentes necesidades. En Android, las aplicaciones se estructuran mediante componentes con funciones definitivas y requisitos declarados para su ejecución e interacción con el sistema (Android Developers, 2025).

En el ámbito del reciclaje, el valor de una aplicación no depende únicamente de estar disponible en un teléfono, sino de la calidad de la información, la facilidad de interacción y la adecuación de sus funciones al contexto de uso. Shan et al. (2021) encontraron que una intervención asistida por una aplicación móvil puede apoyar conductas de reciclaje cuando la herramienta se articula con estrategias de seguimiento y cambio conductual. En la aplicación que se sugiere en este trabajo de grado, la cámara, el procesamiento local y la geolocalización se utilizan para proporcionar orientación sobre materiales y puntos de entrega.

6.1.5 Inteligencia artificial y visión por computadora

La inteligencia artificial estudia la construcción de agentes y sistemas capaces de percibir información, razonar o aprender para ejecutar tareas ya alcanzar objetivos dentro de un entorno. El aprendizaje automático y percepción computacional (Russell y Norvig, 2021). En este marco, la visión por computadora estudia métodos para extraer e interpretar información a partir de imágenes y videos, combinando modelos matemáticos, procesamiento de señales y aprendizaje automático (Szeliski, 2022).

EcoScan emplea visión por computadora para procesar imágenes capturadas o seleccionadas en un dispositivo móvil y asignarlas a una de las clases definidas durante el entrenamiento. El modelo aprende regularidades visuales presentes en los datos, como contornos, texturas y configuraciones de color, pero su salida corresponde a una predicción probabilística y

no a una determinación infalible de la composición química del objeto. Su desempeño puede variar por iluminación, fondo ángulo de captura, deterioro del material y diferencias entre los datos de entrenamiento y las condiciones reales.

Por tanto, la aplicación debe presentarse como una herramienta de apoyo para la identificación y el aprendizaje. La literatura sobre visión por computadora señala que la capacidad de generalización depende de la representatividad de los datos y de la evaluación del modelo en condiciones distintas de aquellas utilizadas para entrenarlo (Szeliski, 2022). En consecuencia, no es metodológicamente válido afirmar que la inteligencia artificial reduce errores o mejora conocimientos de los usuarios sin aportar una comparación empírica específica.

6.1.6 Desarrollo de aplicaciones móviles

El desarrollo de aplicaciones móviles comprende la especificación de requerimientos, el diseño de la experiencia e interfaz, la implementación de componentes, la integración de servicios, las pruebas y la distribución o instalación del producto. En Android, una aplicación se organiza mediante componentes que cumplen responsabilidades específicas y se declaran en el archivo de manifiesto, junto con permisos, compatibilidad y requisitos de hardware o sistema (Android Developers, 2025).

En EcoScan, este proceso incluye la construcción de interfaces en Android Studio, la gestión de permisos de cámara, la navegación entre módulos, la consulta de contenidos, el acceso a servicios de mapas y la ejecución local del modelo de reconocimiento.

6.1.7 Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación es un sistema formal con reglas sintácticas y semánticas que permite expresar algoritmos, estructuras de datos y operaciones ejecutables o traducibles por un sistema computacional. La sintaxis determina la forma válida de las expresiones y la

semántica establece su significado y comportamiento. Los lenguajes difieren en sus paradigmas, sistemas de tipos, mecanismos de abstracción y modelos de ejecución, aspectos que influyen en el diseño y mantenimiento del software (Sebesta, 2019).

Para el desarrollo de EcoScan se utilizaron principalmente los lenguajes de programación de Kotlin y Python. Kotlin Se empleó en la construcción de la aplicación móvil para el sistema operativo Android. Este lenguaje, desarrollado por JetBrains, se caracteriza por poseer tipado estático, interoperabilidad con Java y compatibilidad con el desarrollo de aplicaciones Android (JetBrains, 2026). La programación se realizó con Android Studio, utilizado como entorno integrado de desarrollo para escribir, ejecutar, depurar y probar el código de la aplicación.

Las interfaces de usuario se construyeron mediante Jetpack Compose, un conjunto de herramientas declarativo para el desarrollo de interfaces nativas en Android. A diferencia del enfoque tradicional basado en la modificación directa de componentes visuales, Compose permite describir la interfaz a través de funciones composables escritas en Kotlin. Estas funciones se utilizaron para organizar las pantallas, representar sus elementos visuales y gestionar la navegación entre las diferentes secciones de EcoScan (Android Developers, 2026).

Por otra parte, Python se empleó durante la preparación de los datos y el entrenamiento del modelo de reconocimiento de materiales reciclables. Para este proceso se utilizó PyTorch, una biblioteca orientada a la construcción y entrenamiento de modelos de aprendizaje automático y redes neuronales. Mediante esta tecnología se implementó la arquitectura convolucional seleccionada, se organizaron las clases de materiales y se ejecutaron las etapas de entrenamiento y evaluación técnica del modelo (PyTorch, 2026a).

Una vez finalizado el entrenamiento, el modelo se integró en la aplicación Android mediante ExecuTorch, una solución del ecosistema PyTorch destinada a ejecutar procesos de

inferencia en dispositivos móviles y otros equipos con recursos limitados. Esta integración permitió que EcoScan procesara las imágenes y realizara el reconocimiento de materiales directamente en el dispositivo, sin depender de un servidor externo para cada predicción (PyTorch, 2026b). De esta manera, Kotlin y Python cumplieron funciones complementarias: el primero se utilizó para desarrollar la aplicación Android y sus interfaces, mientras que el segundo se empleó para construir y entrenar el componente de inteligencia artificial.

6.1.8 Redes neuronales convolucionales y aprendizaje profundo

Las redes neuronales, un concepto que ha evolucionado desde los años 40, cuando McCulloch y Pitts crearon un primer modelo de neurona que fue posteriormente usado por Rosenblatt para crear el perceptrón, el primer elemento computacional capaz de aprender configurando sus pesos, hasta llegar a las redes neuronales profundas y convolucionales, potenciadas gracias al algoritmo de backpropagation generado en los años 80. Las redes neuronales se han convertido en los últimos años en uno de los principales algoritmos de machine learning, gracias a su aplicabilidad en visión artificial y en la creación de modelos de lenguaje de gran tamaño, ampliamente usados alrededor del mundo. En el caso de clasificación de imágenes, tal como ocurre en nuestro proyecto, las redes neuronales convolucionales (CNN) tienen una gran importancia por tener un diseño específico para el tratamiento de los píxeles de una imagen como entradas a las diferentes capas de la red. Dentro de estas capas, se destacan los filtros o kernels, que son matrices con valores inicialmente aleatorios que se van ajustando de acuerdo con las características de los valores de los píxeles que representan a cada imagen (normalmente valores entre 0 y 255) a medida que la red se entrena en múltiples iteraciones o épocas. Además de los filtros, existen otros elementos como el stride, que representa los espacios que el filtro se mueve sobre la matriz que representa a la imagen para hacer el proceso de

convolución, y el pooling, un mecanismo sencillo que encuentra el máximo valor dentro de la matriz resultado de la convolución, el cual va a representar a una sección de la imagen original y permitiendo una reducción de dimensionalidad. Para comprender un poco mejor estos conceptos, vamos a suponer que una imagen está representada por la siguiente matriz 4×4 de un solo canal, es decir, manejamos solamente un color, sin considerar los tres posibles correspondientes a los componentes RGB (red-green-blue) que normalmente tiene una imagen.

Tabla 2. Representación de valores de píxeles de una imagen de 4×4

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

Nota. Ejemplo didáctico de elaboración propia (2026).

Tabla 3. Filtro o kernel utilizado en el ejemplo de convolución

5	4
7	8

Nota. Ejemplo didáctico de elaboración propia (2026).

El proceso de convolución consiste en superponer el filtro sobre la imagen y luego realizar multiplicaciones entre los números superpuestos para finalmente obtener un escalar que represente cada movimiento del filtro. En este caso usaremos un stride igual a 1, es decir, movemos el filtro una posición a la derecha o hacia abajo hasta cubrir toda la matriz que representa a la imagen. Esto genera los siguientes resultados:

$$(1 \times 5) + (2 \times 4) + (5 \times 7) + (6 \times 8) = 5 + 8 + 35 + 48 = 96$$

$$(2 \times 5) + (3 \times 4) + (6 \times 7) + (7 \times 8) = 10 + 12 + 42 + 56 = 120$$

$$(3 \times 5) + (4 \times 4) + (7 \times 7) + (8 \times 8) = 15 + 16 + 49 + 64 = 144$$

$$(5 \times 5) + (6 \times 4) + (9 \times 7) + (10 \times 8) = 25 + 24 + 63 + 80 = 192$$

$$(6 \times 5) + (7 \times 4) + (10 \times 7) + (11 \times 8) = 30 + 28 + 70 + 88 = 216$$

$$(7 \times 5) + (8 \times 4) + (11 \times 7) + (12 \times 8) = 35 + 32 + 77 + 96 = 240$$

$$(9 \times 5) + (10 \times 4) + (13 \times 7) + (14 \times 8) = 45 + 40 + 91 + 112 = 288$$

$$(10 \times 5) + (11 \times 4) + (14 \times 7) + (15 \times 8) = 50 + 44 + 98 + 120 = 312$$

$$(11 \times 5) + (12 \times 4) + (15 \times 7) + (16 \times 8) = 55 + 48 + 105 + 128 = 336$$

De donde se obtiene la matriz 3x3 mostrada en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultado de la operación de convolución

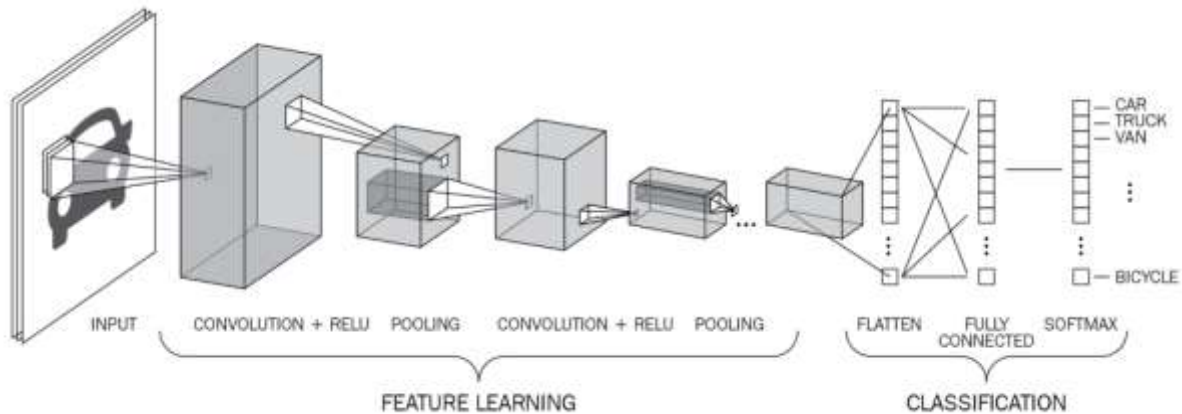
96	120	144
192	216	240
288	312	336

Nota. Resultado de la operación de convolución.

Como se puede observar, el proceso de convolución permite la reducción de la dimensionalidad de la imagen original, lo cual reduce el costo computacional. Finalmente, el proceso de pooling extrae el máximo valor de la matriz de convolución, el cual representará a todo el proceso anterior. Cabe aclarar que el valor de stride o el mecanismo de pooling no tienen que ser siempre los que aquí se mencionan. En algunos casos, valores de stride mayores que 1 funcionan con un mecanismo adicional denominado padding, el cual rellena espacios adicionales de la matriz original con ceros. Por otra parte, el mecanismo de pooling puede ser con el cálculo de la media u otros elementos estadísticos más complejos.

El proceso completo puede resumirse en la Figura 1. Se puede apreciar que puede haber múltiples filtros y múltiples etapas de convolución y pooling. Se tienen, además, múltiples etapas de funciones de activación que pueden ser tipo ReLU, sigmoide, Tanh, entre otras. Estas funciones permiten definir umbrales lineales o probabilísticos que determinan si los pesos de las características deben ser ajustados en nuevas iteraciones o épocas. En la parte final, se tiene la sección de aplanamiento, que convierte el formato matricial de los pesos a un formato vectorial que permite identificar las clases que se pretende identificar (por ejemplo, si se trata de un automóvil, una van, un camión, etc.).

Figura 1. Red neuronal convolucional



Nota. Se compone de múltiples capas convolucionales y de pooling. Adicionalmente, se cuenta con elementos de decisión que pueden variar entre diferentes tipos de función, tales como ReLU, sigmoide y Tanh, entre otras. Tomada de Ayyadevara y Reddy (2024).

Actualmente se cuenta con arquitecturas que han sido preentrenadas sobre una gran cantidad de imágenes, las cuales pueden ser reutilizadas para un modelo específico, como en nuestro caso, en el que se espera clasificar tipos de residuos reciclables. Una de esas arquitecturas es la ResNet-18, que utiliza 18 capas convolucionales y adopta un mecanismo de transmisión de información entre capas para que la información original de la imagen no se pierda en los procesos de backpropagation, ya que este siempre trata de disminuir los valores de los pesos, llevando a que estos puedan llegar a cero en algunos casos. Una vez implementada la red ResNet, se crea una nueva capa específica para las imágenes de nuestro proyecto y se entrena para que haya reconocimiento adecuado. Estos detalles se profundizarán en el capítulo de desarrollo de la solución. Es importante aclarar que la implementación de la red neuronal de nuestro proyecto se soporta en las librerías de PyTorch del lenguaje Python.

Después de las capas convolucionales y de agregación, los mapas de características se reorganizan mediante una operación de aplanamiento o flatten, que transforma el tensor en un vector sin realizar por sí misma la clasificación. Este vector puede alimentar capas lineales o completamente conectadas que generan las salidas asociadas con las clases del problema. Las

funciones de activación introducen no linealidad, mientras que técnicas como Dropout desactivan aleatoriamente elementos del tensor durante el entrenamiento con el propósito de reducir la dependencia excesiva de activaciones particulares; por tanto, Dropout no elimina capas de la arquitectura (PyTorch, s. f.).

Una arquitectura relevante para la clasificación de imágenes es ResNet, cuya principal característica es el uso de conexiones residuales o atajos de identidad. Estas conexiones permiten que la información y los gradientes atraviesen con mayor facilidad redes profundas, lo que favorece su entrenamiento. ResNet-18 corresponde a una variante de 18 capas y constituye una alternativa de menor complejidad computacional a versiones más profundas (He et al., 2016).

En EcoScan se utilizó ResNet-18 con pesos preentrenados en ImageNet como base para aplicar transferencia de aprendizaje. La salida de 512 características que alimentaba el clasificador original se conectó, mediante PyTorch, a una capa lineal de 128 unidades (`nn.Linear(model.fc.in_features, 128)`), seguida de una activación ReLU y una capa Dropout con probabilidad de 0,2. Posteriormente, una segunda capa lineal redujo la representación a 12 salidas y se aplicó una función sigmoide para obtener una puntuación por clase. Las clases consideradas fueron papel, cartón, PET, vidrio, PE-HD, PVC, PE-LD, PP, PS, metal, plástico en general y otras resinas. En consecuencia, la capa lineal no debe denominarse flattening: el aplanamiento es una transformación previa de la representación, mientras que `nn.Linear` realiza una transformación lineal aprendida.

La selección de esta arquitectura permite aprovechar representaciones visuales aprendidas previamente y ajustar el clasificador al dominio de materiales reciclables. No obstante, el desempeño final depende de la calidad y diversidad de las imágenes, de la correspondencia entre las condiciones de entrenamiento y uso y del procedimiento de evaluación

aplicado. La configuración detallada del entrenamiento, la integración del modelo y sus resultados técnicos se desarrollan en el capítulo correspondiente al desarrollo de la solución.

7. Metodología

El presente capítulo describe el procedimiento seguido para comprender la problemática, identificar las necesidades de la población vinculada al reciclaje y orientar la construcción y validación técnica de la aplicación EcoScan. En consecuencia, se presentan el enfoque y el tipo de investigación, el contexto y los participantes, las técnicas utilizadas para recolectar información, el procedimiento general y la estrategia de análisis. La descripción detallada del producto tecnológico, sus componentes y sus etapas de construcción se desarrolla de manera independiente en el capítulo 8.

7.1 Enfoque de la investigación

El presente proyecto se desarrolla bajo un enfoque de investigación aplicada, orientado a la solución de una problemática real identificada en el contexto urbano relacionada con la clasificación y el aprovechamiento de residuos reciclables. Este enfoque se caracteriza por la búsqueda de soluciones concretas a situaciones específicas mediante la implementación de herramientas tecnológicas que respondan a necesidades previamente diagnosticadas. Según Hernández y Mendoza (2018), la investigación aplicada tiene como finalidad utilizar el conocimiento científico para resolver problemas prácticos presentes en un contexto determinado.

La problemática abordada se centra en las dificultades que presentan tanto recicladores de oficio como ciudadanos para identificar y clasificar correctamente los materiales reciclables, situación que afecta directamente la eficiencia de los procesos de aprovechamiento de residuos. Como respuesta a esta necesidad, este trabajo de grado propone el diseño y desarrollo de una aplicación móvil que integra tecnologías de reconocimiento de imágenes y geolocalización, con

el propósito de brindar una herramienta de apoyo en la toma de decisiones durante el proceso de clasificación.

Adicionalmente, la investigación adopta un enfoque mixto, en el cual se combinan elementos de carácter cualitativo y cuantitativo. El componente cualitativo se evidencia en la fase de diagnóstico, donde se analizan las prácticas, percepciones y dificultades de los usuarios mediante observación directa y recolección de información en campo. Este enfoque permite comprender el contexto en el que se desarrolla la problemática y orientar el diseño de la solución de acuerdo con las necesidades reales de la población.

El componente cuantitativo se circunscribe a la validación técnica del producto y del modelo de reconocimiento mediante indicadores verificables. La evaluación del impacto sobre los conocimientos y las prácticas de los usuarios constituye una fase diferente, sustentada en la participación de usuarios, la aplicación de instrumentos y la comparación de resultados.

Esta delimitación diferencia la descripción del producto, la verificación de su funcionamiento y la evaluación de sus efectos. En consecuencia, la metodología documenta el diagnóstico y el procedimiento seguido, mientras que el capítulo 8 presenta la construcción de la solución tecnológica.

7.2 Tipo de investigación

El presente proyecto se enmarca en una investigación de tipo descriptivo y tecnológico, debido a que busca, por una parte, caracterizar una problemática existente relacionada con la clasificación de residuos reciclables y, por otra, diseñar e implementar una solución basada en herramientas tecnológicas.

Desde la perspectiva descriptiva, la investigación se orienta a identificar, analizar y documentar las prácticas actuales de clasificación de residuos desarrolladas por la comunidad

recicladora y por los ciudadanos que participan en estos procesos. Este tipo de investigación permite reconocer las condiciones en las que se desarrolla la actividad, las dificultades que enfrentan los usuarios y los factores que inciden en la incorrecta clasificación de los materiales. Mediante la observación directa y la recolección de información en campo, se construye una comprensión detallada de la problemática, aspecto fundamental para el diseño de una solución pertinente y contextualizada.

En este sentido, la investigación descriptiva no pretende modificar inicialmente la realidad observada, sino comprenderla y analizarla en profundidad. Esto implica examinar cómo los usuarios identifican los materiales reciclables, qué criterios emplean para clasificarlos y cuáles son los errores más frecuentes durante este proceso. Dicho análisis permite establecer una base sólida para la construcción de la propuesta tecnológica. Según Hernández y Mendoza (2018), la investigación descriptiva tiene como propósito especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades o fenómenos que sean sometidos a análisis, permitiendo obtener una visión detallada de la realidad estudiada.

Por otra parte, el proyecto se clasifica como una investigación tecnológica, ya que contempla el desarrollo de un producto funcional destinado a responder a una necesidad específica del entorno. En este caso, se plantea el diseño e implementación de una aplicación móvil que integra tecnologías como la inteligencia artificial, la visión por computadora y la geolocalización para mejorar las prácticas de clasificación de residuos.

La investigación tecnológica se caracteriza por la aplicación de conocimientos científicos y técnicos para la creación de soluciones innovadoras. En esta investigación, ello se evidencia en la integración de diferentes componentes tecnológicos, tales como el desarrollo de software para dispositivos móviles, el procesamiento de imágenes mediante algoritmos de reconocimiento y la

interacción entre el usuario y el sistema a través de una interfaz digital. Según Bunge (2004), la investigación científica y tecnológica se fundamenta en la aplicación sistemática del método científico para la construcción de soluciones y conocimientos orientados a la comprensión y transformación de la realidad.

Asimismo, este tipo de investigación implica un proceso iterativo de diseño, desarrollo, prueba y validación, en el cual la solución es evaluada de manera continua para garantizar su funcionalidad y pertinencia. A diferencia de investigaciones puramente teóricas, la investigación tecnológica requiere la construcción de un prototipo o producto final que pueda ser utilizado en un contexto real. De acuerdo con Bunge (2004), el conocimiento derivado de la ciencia aplicada y del desarrollo tecnológico debe orientarse a la solución de problemas concretos y verificables.

7.3 Contexto y participantes

El trabajo de campo se realizó en el Centro de Acopio de La 67, ubicado en la calle 67 n.º 19-69, localidad de Barrios Unidos, Bogotá. Como antecedente del diagnóstico, el autor realizó una inmersión aproximada de dos años, entre 2022 y 2024, durante la cual participó directamente en actividades de recepción, separación manual, pesaje, identificación y valoración comercial de materiales reciclables. Esta permanencia permitió comprender las dinámicas operativas del establecimiento y reconocer dificultades asociadas con la clasificación, los reprocesos y la determinación del valor de los materiales.

Dentro de este proceso, la observación diagnóstica se concentró en abril y mayo, periodo en el que se efectuaron aproximadamente 15 a 20 visitas, con una duración estimada de tres a cinco horas cada una. La observación se enfocó en las prácticas cotidianas de los tres trabajadores del establecimiento y se complementó con conversaciones informales sostenidas con aproximadamente 30 a 40 personas que acudían al centro, principalmente recicladores de

oficio y habitantes de calle, así como ciudadanos que realizaban actividades de reciclaje por conciencia ambiental o para obtener ingresos complementarios. También se interactuó con gestores de residuos, acopiadores mayoristas y operadores logísticos vinculados con la cadena de aprovechamiento.

Debido a que no se aplicó un procedimiento formal de muestreo ni instrumentos estructurados, las personas mencionadas no constituyen una muestra estadísticamente representativa. Se consideran participantes de una aproximación diagnóstica de carácter contextual, por lo que las apreciaciones derivadas de la observación no deben generalizarse a la población recicladora de Bogotá.

7.4 Técnicas e instrumentos

La información se obtuvo mediante observación directa, participación en algunas actividades de clasificación, conversaciones informales, notas de campo y registros fotográficos autorizados. Estas técnicas permitieron reconocer dificultades de identificación y separación de materiales, reprocesos en el centro de acopio y necesidades de formación y apoyo tecnológico. El carácter participante de la observación se relacionó con la intervención directa del autor en labores de recepción, clasificación, separación, pesaje e identificación de residuos durante su permanencia en el establecimiento.

No se aplicaron encuestas ni entrevistas estructuradas y no se conservaron respuestas individuales; por ello, los hallazgos se utilizaron para orientar los requerimientos de la solución y no para establecer frecuencias, asociaciones o generalizaciones sobre la población recicladora de Bogotá.

Durante la experiencia se estimó que aproximadamente entre el 75 % y el 80 % de las personas que abastecían el centro disponían de teléfono celular o de algún dispositivo móvil.

Esta cifra corresponde a una apreciación contextual surgida de la observación prolongada y no a una medición censal o muestral. Su utilidad metodológica consistió en identificar la viabilidad inicial de una herramienta móvil como alternativa de apoyo para el reconocimiento y la clasificación de materiales.

7.5 Procedimiento

El procedimiento se desarrolló en tres momentos generales. En el primero se realizó el diagnóstico contextual mediante la permanencia y las visitas al centro de acopio y la identificación de necesidades. En el segundo se tradujeron esas necesidades en requerimientos y se desarrolló la solución tecnológica mediante fases de análisis, diseño, implementación e integración. En el tercero se efectuó la validación técnica del prototipo mediante pruebas funcionales en dispositivos físicos y emuladores y la evaluación del modelo de reconocimiento. Las actividades específicas del segundo momento se presentan en el capítulo 8.

7.5.1 Diagnóstico y levantamiento de requerimientos

La primera fase partió de la observación del proceso de recepción y clasificación en el Centro de Acopio La 67. Se identificaron dificultades para diferenciar materiales visualmente similares, desconocimiento sobre la posibilidad real de aprovechamiento, reprocesos ocasionados por materiales mal separados y necesidad de consultar información sobre clasificación, valor aproximado y lugares de entrega. Estas necesidades se tradujeron en requerimientos funcionales relacionados con reconocimiento por cámara, consulta de contenidos, cuestionarios y acceso a puntos de reciclaje.

7.5.2 Análisis de la solución

En la fase de análisis se delimitaron los actores, las funciones principales y las interacciones esperadas. Se definieron los flujos de consulta, escaneo, presentación de

predicciones, acceso a información educativa, resolución de cuestionarios y consulta de centros de acopio. Asimismo, se analizaron los componentes necesarios para integrar el desarrollo Android, el modelo de reconocimiento y los servicios externos de mapas.

7.5.3 Diseño

La fase de diseño comprendió la definición de la arquitectura lógica, la estructura de clases, los casos de uso, el mapa de navegación y la organización visual de las interfaces. También se establecieron las categorías de materiales, la secuencia de interacción entre pantallas y la forma en que el resultado del modelo debía conectarse con los contenidos informativos de la aplicación. Los diagramas y recursos visuales correspondientes se presentan en el capítulo 8.

7.5.4 Implementación e integración

La aplicación Android se implementó principalmente en Kotlin mediante Android Studio y Jetpack Compose. El modelo de reconocimiento fue entrenado en Python con PyTorch e integrado en el dispositivo mediante ExecuTorch. La integración permitió capturar imágenes con la cámara, ejecutar la inferencia localmente y devolver las puntuaciones de clasificación a la interfaz de la aplicación. La descripción técnica del producto y de sus componentes se desarrolla en el capítulo 8.

7.5.5 Pruebas

La fase de pruebas se orientó a comprobar el funcionamiento de los flujos principales, la navegación, los permisos de cámara, la ejecución del modelo, la presentación de predicciones y el acceso a servicios de geolocalización. Los casos de prueba se definieron a partir de sus condiciones iniciales, el procedimiento de ejecución, el resultado esperado, el resultado obtenido, el estado de cumplimiento y las incidencias identificadas durante el funcionamiento del prototipo.

7.5.6 Despliegue o validación

La última fase correspondió a la validación técnica del prototipo mediante su ejecución en emuladores y dispositivos móviles. Este alcance permitió comprobar la integración de los componentes principales de EcoScan en un entorno Android y se diferenció de un despliegue público o de una evaluación de impacto con usuarios.

7.6 Estrategia de análisis de la información

La información cualitativa obtenida mediante observación, participación y conversaciones informales se organizó de manera descriptiva en categorías relacionadas con: identificación y separación de materiales; errores frecuentes de clasificación; reprocesos en el centro de acopio; criterios de calidad y valoración comercial; necesidades formativas; y oportunidades de apoyo tecnológico. Estas categorías se utilizaron para priorizar los requerimientos de EcoScan, sin asignarles frecuencias poblacionales ni realizar inferencias estadísticas.

La información técnica se analizó de manera independiente a partir del funcionamiento de la aplicación y del modelo. En el componente de software, la unidad de análisis correspondió a cada caso de prueba y a su estado de cumplimiento. En el componente de aprendizaje automático, el análisis se vinculó con las métricas de desempeño y la matriz de confusión generadas durante la experimentación. Esta estrategia permitió diferenciar la verificación técnica del producto de la valoración de sus efectos sobre los usuarios.

8. Desarrollo de la solución

8.1 Introducción al desarrollo

El desarrollo de EcoScan se organizó como un proceso incremental orientado por las necesidades identificadas en el Centro de Acopio de La 67. La secuencia comenzó con el

levantamiento y la priorización de requerimientos; continuó con el análisis de las funcionalidades y actores del sistema; avanzó hacia el diseño de la arquitectura, la navegación y las interfaces; y culminó con la implementación de la aplicación Android, el entrenamiento e integración del modelo de reconocimiento y la ejecución de pruebas técnicas. Esta organización permitió relacionar las decisiones de desarrollo con los objetivos específicos del proyecto y conservar evidencia de los productos obtenidos en cada fase.

El primer objetivo específico orientó el diagnóstico y la definición de requerimientos. El segundo se concretó en el diseño e implementación de las interfaces, los contenidos educativos y las funcionalidades de reconocimiento y geolocalización. El tercer objetivo se relacionó con la validación técnica del prototipo y con la evaluación de su aporte a los conocimientos y las prácticas de los usuarios. Estos dos alcances se diferenciaron metodológicamente, debido a que las pruebas de funcionamiento del producto no equivalen a una medición de impacto. La Tabla 5 presenta la correspondencia entre los objetivos específicos, las actividades desarrolladas y el alcance de la evidencia obtenida.

Tabla 5. Correspondencia entre objetivos específicos y actividades de desarrollo

Objetivo	Actividades	Evidencias	Estado
1. Diagnosticar necesidades técnicas, formativas y tecnológicas.	Visitas al centro; observación directa; conversaciones informales; priorización de necesidades.	Descripción del contexto; necesidades identificadas; requerimientos iniciales.	Cumplimiento contextual; sin generalización estadística.
2. Desarrollar una interfaz accesible y contenidos interactivos.	Análisis, diseño de navegación e interfaces; desarrollo Android; guía, cuestionarios, geolocalización e IA.	Diagramas; pantallas; versión EcoScan v10; modelo integrado.	Respaldado por evidencias de desarrollo y pruebas técnicas.
3. Evaluar el impacto en conocimientos y prácticas.	Pruebas funcionales y medición técnica del modelo.	35 pruebas; 27 aprobadas inicialmente; 8 errores corregidos; exactitud aproximada del 75%.	Cumplimiento parcial: falta evaluación de impacto con usuarios.

Nota. Elaboración propia

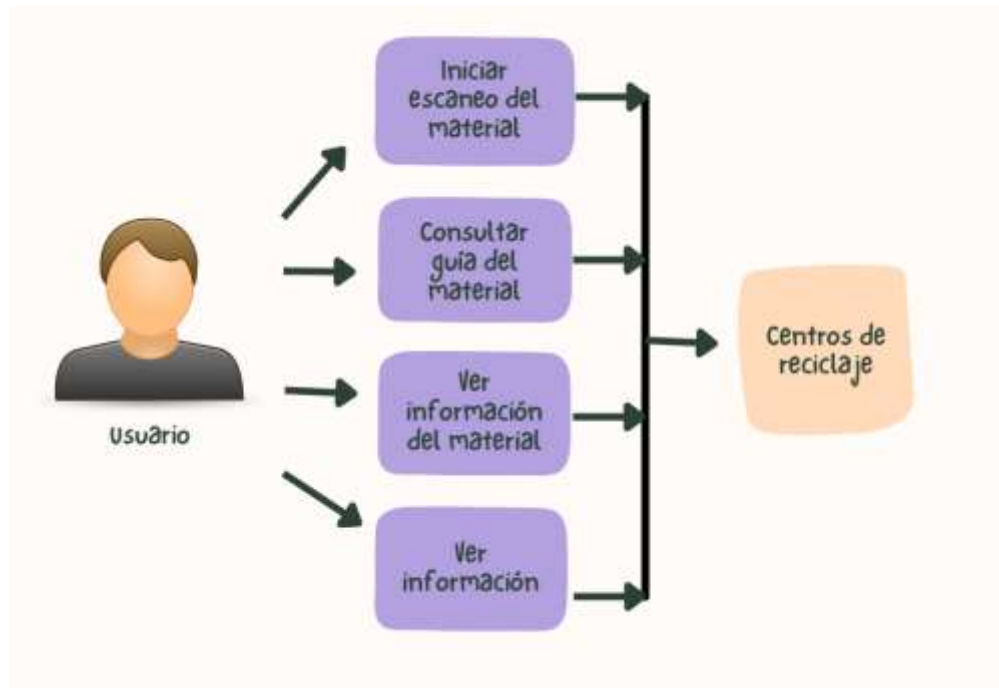
8.2 Análisis y levantamiento de requerimientos

El análisis de la solución se fundamentó en las necesidades identificadas durante la inmersión y la observación desarrolladas en el Centro de Acopio La 67. Los principales problemas se relacionaron con la dificultad para diferenciar materiales visualmente similares, la entrega de residuos no aprovechables, los reprocesos derivados de una separación inadecuada y el desconocimiento de criterios de clasificación, valoración comercial y disposición final.

A partir de estas necesidades se definieron como funciones centrales el reconocimiento de materiales mediante la cámara, la consulta de información sobre categorías de residuos, el acceso a cuestionarios educativos, la localización de centros de acopio y la presentación de alternativas para materiales de difícil aprovechamiento. De manera complementaria, se establecieron flujos de navegación que permitieran regresar al menú principal y conectar el resultado del reconocimiento con la información específica del material.

El actor principal del sistema es el usuario de la aplicación, quien puede iniciar el escaneo, consultar la guía de materiales, acceder a la información educativa, resolver cuestionarios y consultar puntos de reciclaje. El diagrama de casos de uso sintetiza estas interacciones y representa el alcance funcional definido durante la fase de análisis.

Figura 2. Diagrama de casos de uso de la aplicación EcoScan



Nota. Elaboración propia (2026).

8.3 Diseño de la solución

8.3.1 Diseño de clases y componentes

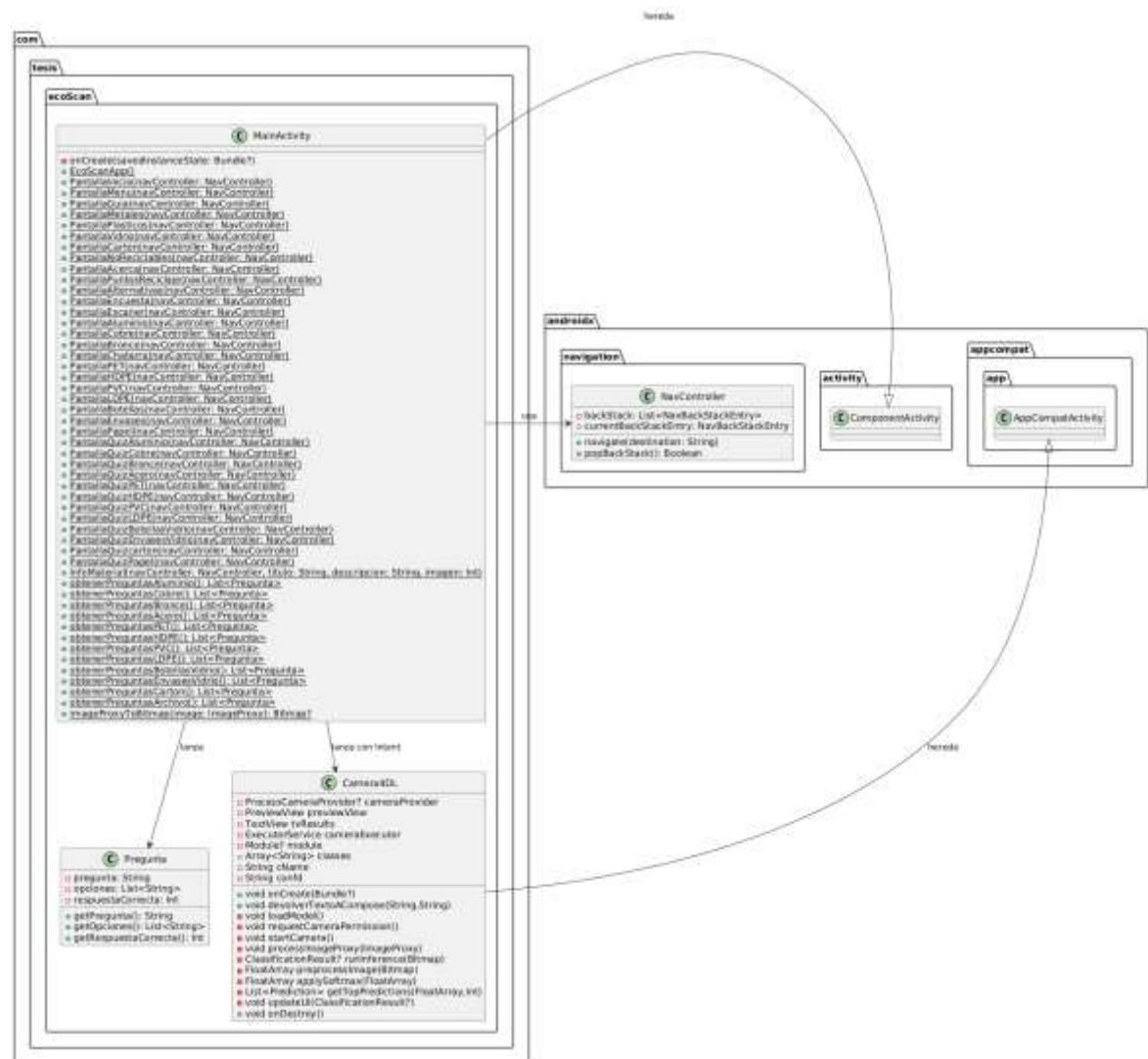
La aplicación se estructuró a partir de MainActivity, Camera4DL, Pregunta y los componentes proporcionados por AndroidX. MainActivity hereda de ComponentActivity y concentra las funciones composables utilizadas para construir las pantallas. La navegación declarativa se gestiona mediante NavController, que mantiene la ruta activa y la pila de destinos para permitir el desplazamiento hacia adelante y hacia atrás entre las interfaces.

MainActivity reúne las funciones correspondientes al inicio, el menú, la guía, las categorías de materiales, los cuestionarios, los puntos de reciclaje, las alternativas, la encuesta y las pantallas informativas. Estas funciones se representan como operaciones de la clase porque Jetpack Compose construye la interfaz mediante funciones anotadas con @Composable dentro

de una actividad, en lugar de emplear una actividad y un archivo XML independientes para cada pantalla.

La clase Camera4DL hereda de AppCompatActivity y encapsula el acceso a la cámara y la ejecución del modelo de reconocimiento. Entre sus operaciones se encuentran loadModel(), startCamera(), processImageProxy(), runInference() y devolverTextoACompose(). MainActivity inicia este componente mediante un Intent y recibe el resultado de la predicción para presentarlo en la interfaz declarativa. Por su parte, Pregunta representa cada elemento del cuestionario mediante el enunciado, la lista de opciones y la respuesta correcta.

Figura 3. Diagrama de clases y dependencias principales de EcoScan



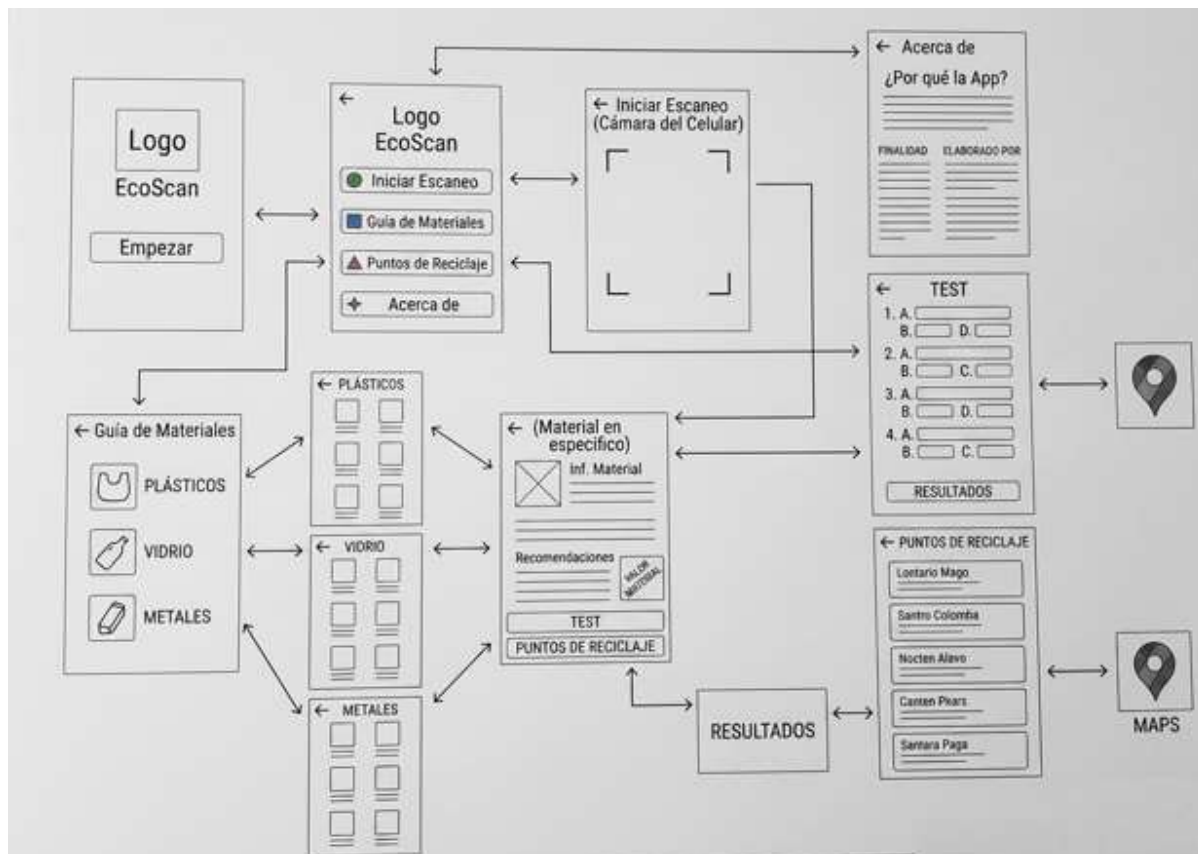
Nota. Elaboración propia a partir de la estructura implementada en Kotlin y AndroidX (2026).

8.3.2 Diseño de la navegabilidad

La navegación se organizó alrededor del menú principal. Desde la pantalla de bienvenida se accede a las funciones de escaneo, guía de materiales, puntos de reciclaje, alternativas de aprovechamiento, información acerca de EcoScan y encuesta final. La guía conduce a las categorías y subcategorías de residuos; cada material dispone de información específica, acceso al cuestionario y enlace a los puntos de reciclaje.

El flujo de escaneo activa la cámara, ejecuta el reconocimiento y presenta las categorías con mayor puntuación. A partir del resultado, el usuario puede consultar la ficha educativa del material y continuar hacia el cuestionario o hacia los centros de acopio. La representación de navegabilidad muestra las rutas principales, los retornos entre pantallas y la conexión con servicios externos como Google Maps.

Figura 4. Mapa de navegación de la aplicación EcoScan



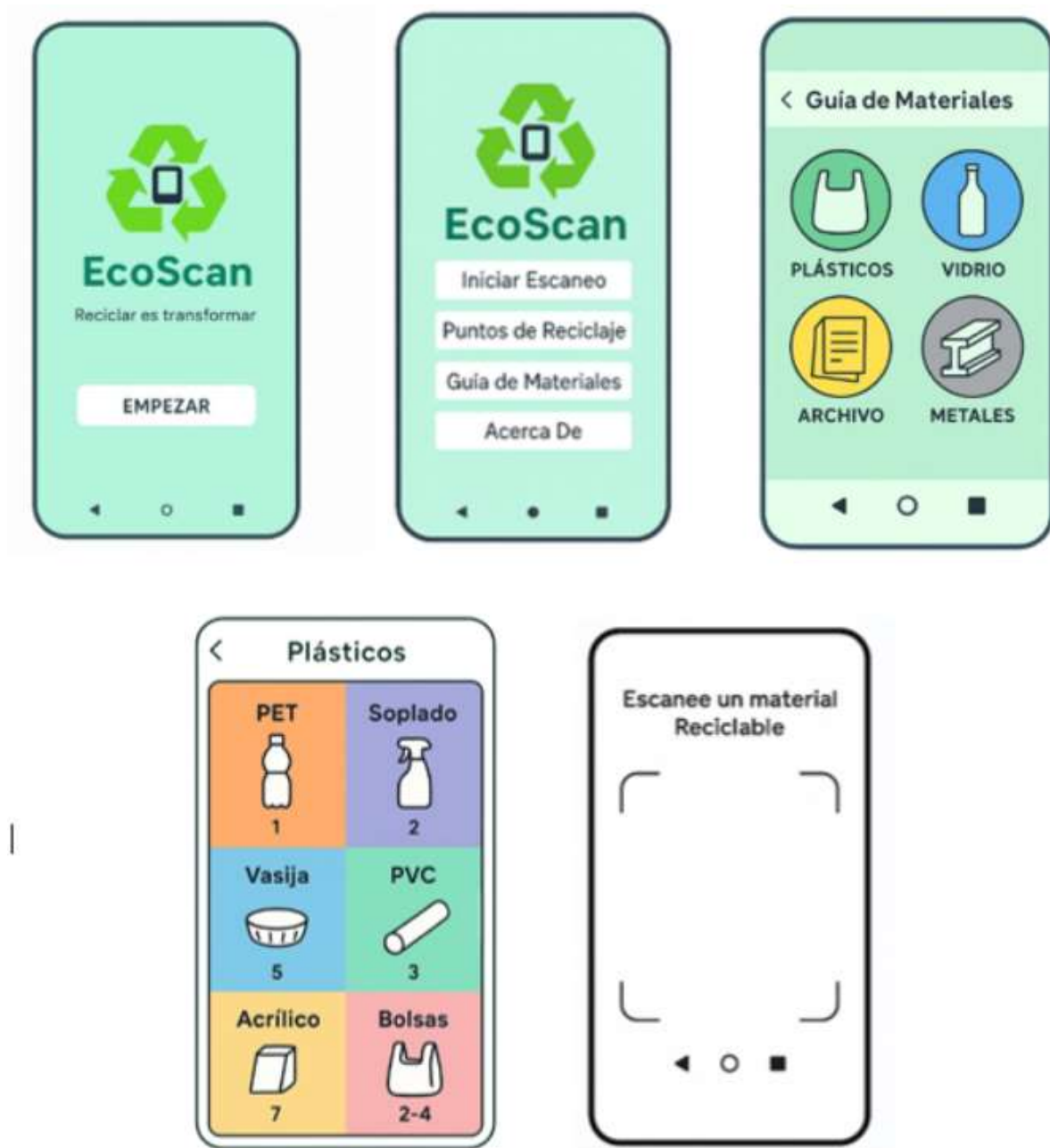
Nota. Elaboración propia (2026). El mapa representa las rutas principales y la conexión con Google Maps.

8.3.3 Diseño inicial de las interfaces

Antes de la implementación se elaboró un prototipo visual para definir la distribución de las funciones y la relación entre pantallas. El diseño organizó el acceso a la cámara, la guía por categorías, las fichas de materiales, los cuestionarios y los centros de reciclaje. Esta

representación sirvió como referencia para construir las interfaces definitivas en Jetpack Compose y conservar una navegación coherente entre los módulos.

Figura 5. Prototipo inicial y relaciones entre las interfaces de EcoScan



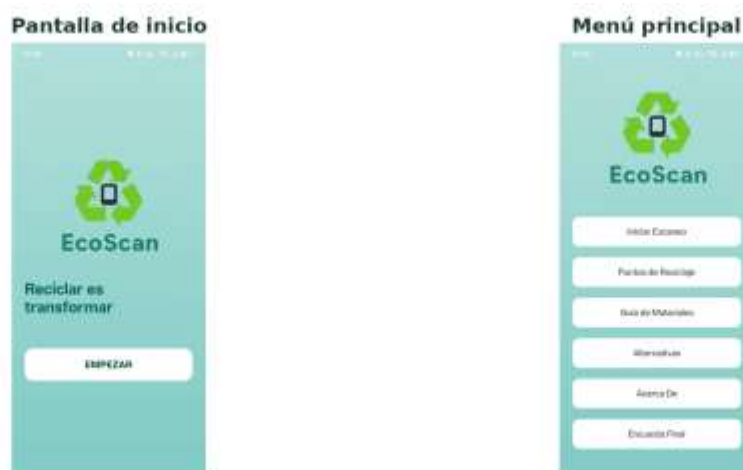
Nota. Elaboración propia (2026).

8.4 Implementación de la aplicación Android

La aplicación fue programada en Kotlin mediante Android Studio. Las interfaces se desarrollaron con Jetpack Compose, lo que permitió construir pantallas declarativas mediante componentes reutilizables y mantener la mayor parte de la navegación dentro de MainActivity. La función de reconocimiento se implementó de manera independiente en Camera4DL para integrar CameraX, el procesamiento de la imagen y la ejecución del modelo.

La pantalla de inicio presenta la identidad de EcoScan y conduce al menú principal. Este menú concentra las funciones de escaneo, puntos de reciclaje, guía de materiales, alternativas, información acerca de la aplicación y encuesta final. Su organización funciona como punto central de distribución y permite regresar desde los módulos secundarios.

Figura 6. Pantalla de inicio y menú principal de EcoScan

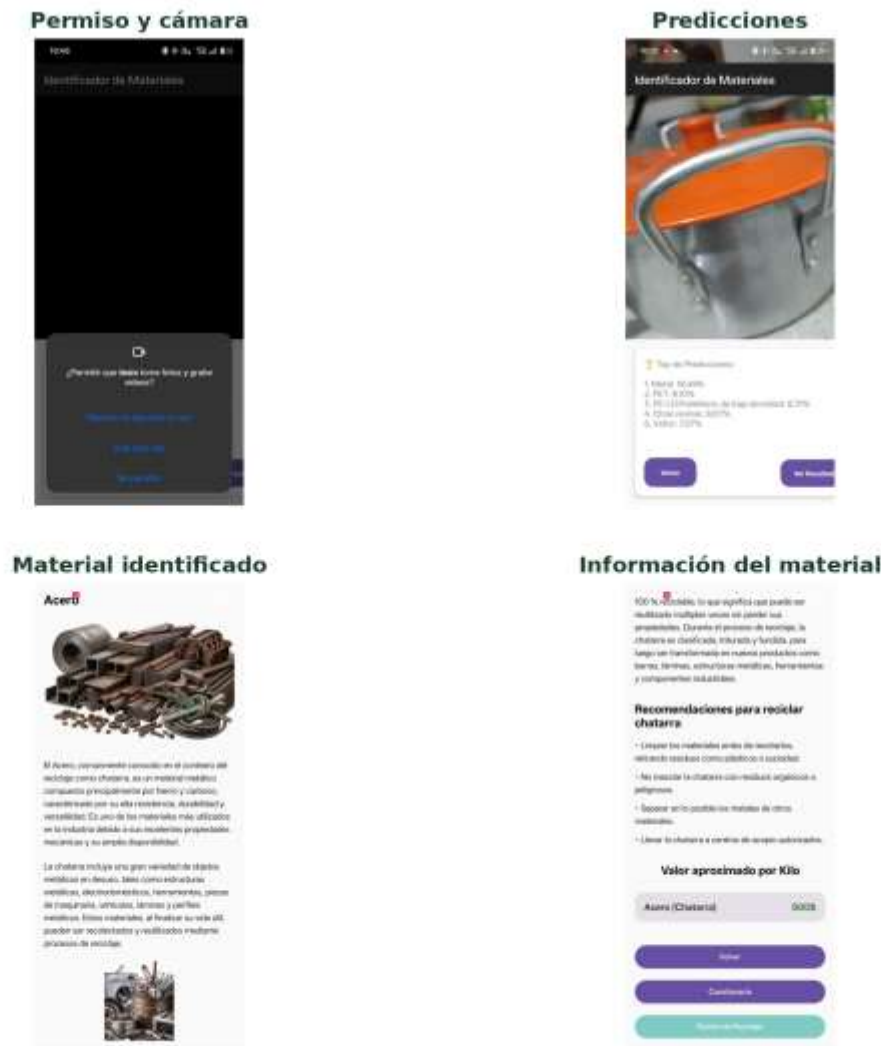


Nota. Capturas de la versión implementada de EcoScan. Elaboración propia (2026).

La interfaz de escaneo solicita el permiso de cámara, captura la imagen y presenta las categorías con mayor puntuación generadas por el modelo. El botón de consulta conecta este resultado con la ficha del material identificado, donde se integran una descripción, recomendaciones de aprovechamiento, valor aproximado y accesos al cuestionario y a los puntos

de reciclaje. Las demás fichas conservan la misma organización para ofrecer una interacción uniforme.

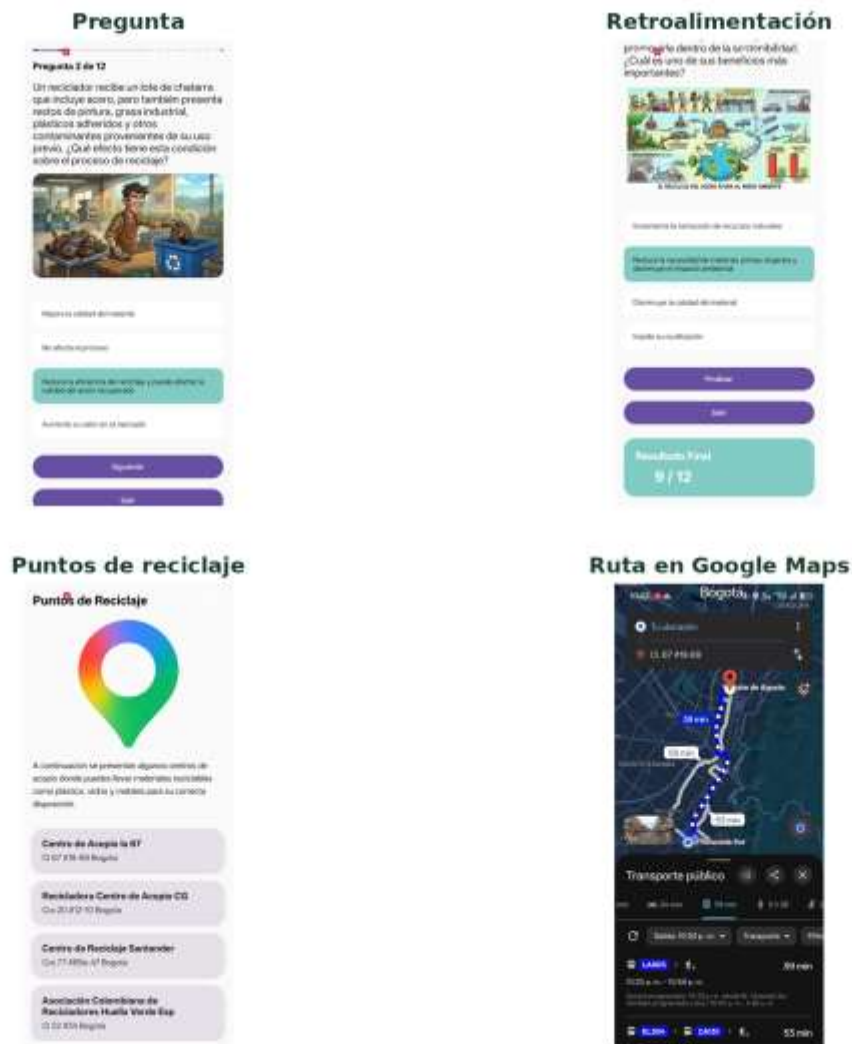
Figura 7. Flujo de escaneo e información del material identificado



Nota. Capturas de la versión implementada de EcoScan. Elaboración propia (2026).

El cuestionario presenta doce situaciones relacionadas con la clasificación y el aprovechamiento del material. Cada pregunta incorpora cuatro opciones y retroalimentación inmediata mediante cambios de color para señalar la respuesta seleccionada y la opción correcta. La sección de puntos de reciclaje presenta centros de acopio y enlaza cada ubicación con Google Maps para visualizar la ruta desde el dispositivo.

Figura 8. Cuestionario educativo y consulta de puntos de reciclaje



Nota. Capturas de la versión implementada de EcoScan y de su integración con Google Maps.

Elaboración propia (2026).

Las funciones complementarias amplían el alcance informativo de la aplicación. Alternativas presenta opciones de aprovechamiento para residuos de difícil reciclaje; Acerca de contextualiza la finalidad de EcoScan; y Encuesta final enlaza un formulario destinado a recopilar la percepción del usuario sobre la navegación, la utilidad y la experiencia de uso.

Figura 9. Interfaces complementarias de EcoScan



Nota. Capturas de la versión implementada de EcoScan. Elaboración propia (2026).

8.5 Desarrollo e integración del modelo de reconocimiento

8.5.1 Caracterización y ciclo de vida de los datos

El conjunto de imágenes se organizó en doce clases: papel, cartón, PET, vidrio, PE-HD, PVC, PE-LD, PP, PS, metal, plástico en general y otras resinas. Parte de las imágenes se recolectó en centros de acopio de Bogotá y otra parte se obtuvo de Plastic Classification Dataset y Labeled Image Dataset for Multi-Class Waste Material Classification, disponibles en Kaggle. La organización por carpetas permitió asociar cada imagen con la clase utilizada durante el entrenamiento.

Las imágenes disponibles se distribuyeron en 80 % para entrenamiento y 20 % para validación. La cantidad de ejemplos no fue homogénea entre las clases; en el caso de PVC se dispuso de veinte imágenes para entrenamiento. El ciclo de vida comprendió la recolección, la organización por categorías, la división del conjunto, el entrenamiento y la validación del modelo, la conversión al formato móvil y su integración en Android.

Figura 10. Ciclo de vida de los datos y del modelo en EcoScan



Nota. Elaboración propia a partir del procedimiento de entrenamiento e integración (2026).

Algunas de las imágenes usadas fueron recolectadas en centros de acopio de material reciclable de la ciudad de Bogotá y otras fueron tomadas del Plastic Classification Dataset, disponible en <https://www.kaggle.com/datasets/hallrod/plastic-classification-dataset>, y del Labeled Image Dataset for Multi-Class Waste Material Classification, disponible en <https://www.kaggle.com/datasets/adithyachalla/waste-classification>.

Algunos ejemplos de estas imágenes utilizadas para entrenar el modelo se muestran en la Figura 11.

Figura 11. Cuatro clases de materiales identificables con el modelo de machine learning, de un total de doce



a) Poliestireno (PS)



b) Polietileno (PET)



c) Metal



c) Plástico (general)

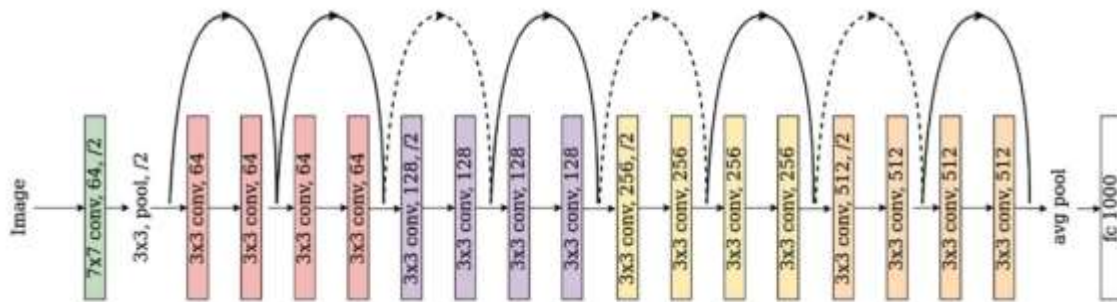
Nota. Las imágenes son ejemplos de las muestras utilizadas para entrenar el modelo.

8.5.2 Arquitectura implementada

El modelo de aprendizaje automático utiliza la arquitectura de red neuronal convolucional ResNet-18, como la que se muestra en la Figura 12. Esta arquitectura, entrenada por defecto para 1.000 clases de imágenes, se caracteriza por utilizar módulos residuales que permiten propagar los pesos obtenidos en capas previas mediante el proceso de backpropagation a capas posteriores, con el fin de evitar que se pierda la información original de cada imagen

durante el proceso de entrenamiento. También permite que se disminuya el overfitting, ya que las capas se pueden activar o desactivar aleatoriamente, permitiendo que las características generadas por los filtros dentro del proceso de convolución no se adecúen solamente a parámetros específicos de cada imagen, sino que capturen posibles variaciones dentro de los patrones.

Figura 12. Arquitectura ResNet-18 compuesta por 18 capas neuronales

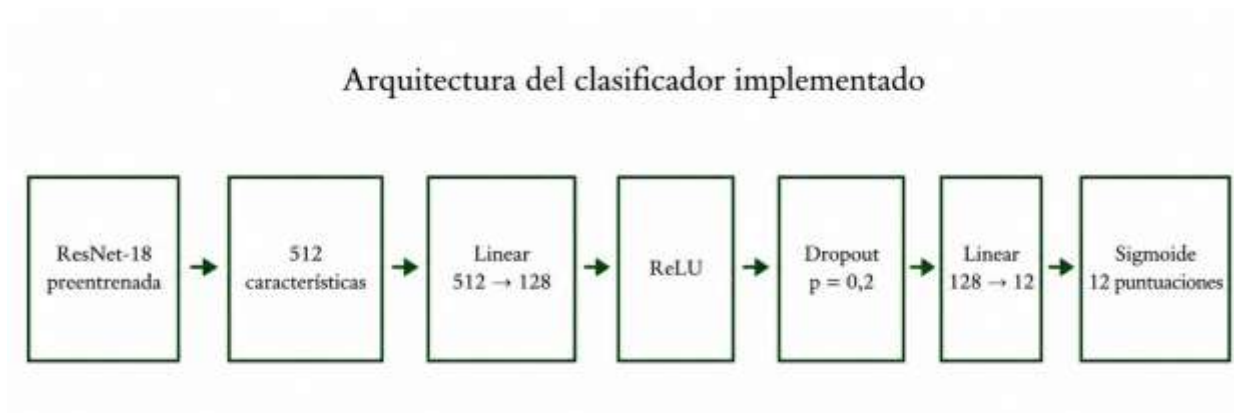


Nota. Tomada de Ayyadevara y Reddy (2024).

El modelo se construyó en Python con PyTorch a partir de ResNet-18 con pesos preentrenados en ImageNet. Esta arquitectura se utilizó como extractor de características y se adaptó al dominio de residuos mediante transferencia de aprendizaje. La representación de 512 características que alimentaba el clasificador original se conectó a una capa lineal de 128 unidades mediante `nn.Linear(model.fc.in_features, 128)`.

Después de la primera transformación lineal se aplicaron una activación ReLU y una capa Dropout con probabilidad de 0,2. Una segunda capa lineal transformó las 128 unidades en doce salidas y la función sigmoide produjo una puntuación para cada clase. La operación `nn.Linear` corresponde a una transformación lineal aprendida y se diferencia del aplanamiento que ResNet realiza antes del clasificador.

Figura 13. Representación de la arquitectura del clasificador implementado



Nota. Elaboración a partir de la implementación realizada en PyTorch (2026).

A la arquitectura ResNet-18 le adicionamos en este proyecto una capa adicional de flattening, que se encarga de llevar la salida de 512 dimensiones a una escala que refleja las doce clases incluidas en este trabajo (papel, cartón, PET, vidrio, PE-HD, PVC, PE-LD, PP, PS, metal, plástico en general y otras resinas). Este proceso es implementado usando las librerías de PyTorch, tal como se muestra de manera resumida en la Figura 14. Observe cómo, con la línea de código `nn.Linear(model.fc.in_features, 128)`, se implementa una nueva capa full-connected (flattening) después de la última capa de pooling para reducir la dimensión a 128. Posteriormente, y después de una capa de activación ReLU y el proceso de Dropout que quita algunas capas con probabilidad de 0,2, aplicamos una nueva capa para reducir la dimensión al número de clases manejado en este proyecto. Finalmente, usamos una capa de activación sigmoide para identificar la probabilidad de que la imagen pertenezca a una clase específica.

Figura 14. Creación del modelo basado en ResNet-18 en PyTorch

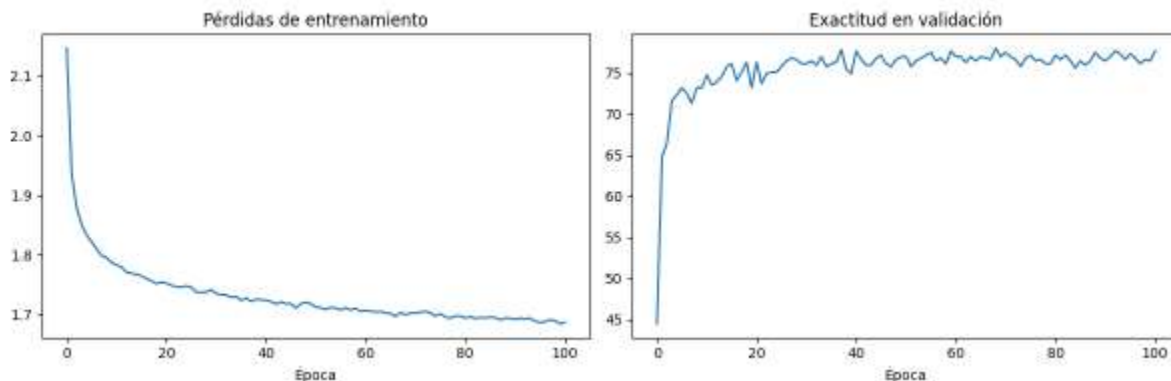
```
num_classes = len(train_dataset.classes)
def get_model():
    model = models.resnet18(pretrained=True)
    for param in model.parameters():
        param.requires_grad = False
    model.avgpool = nn.AdaptiveAvgPool2d(output_size=(1,1))
    model.fc = nn.Sequential(nn.Flatten(),
                             nn.Linear(model.fc.in_features, 128),
                             nn.ReLU(),
                             nn.Dropout(0.2),
                             nn.Linear(128, num_classes),
                             nn.Sigmoid())
    loss_fn = nn.CrossEntropyLoss()#BCELoss()
    optimizer = torch.optim.Adam(model.parameters(),lr= 1e-3)
    return model.to(device), loss_fn, optimizer
```

Nota. La variable num_classes depende del número de carpetas creadas que contienen imágenes de diferentes materiales.

8.5.3 Entrenamiento y evaluación técnica del modelo

Las imágenes utilizadas para el proceso de entrenamiento fueron organizadas en carpetas de acuerdo con las clases incluidas. De las imágenes disponibles, el 80 % fue usado en el proceso de entrenamiento y el 20 % en el proceso de prueba, lográndose porcentajes de exactitud del orden del 75 % con cien épocas de entrenamiento, tal como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Pérdidas en el entrenamiento de la red neuronal convolucional y exactitud en el proceso de validación



Nota. A la izquierda se presentan las pérdidas de entrenamiento y, a la derecha, la exactitud de la validación aplicada al 20 % de las imágenes disponibles. Se utilizaron cien épocas de entrenamiento.

Aunque la Figura 15 muestra en detalle la evolución de la exactitud a través de las épocas, la Tabla 6 muestra las épocas en las que ocurrieron los cambios más importantes. Se puede notar que el máximo valor se logra en el rango de épocas 60-70 y luego se mantiene estable, lo cual podría atribuirse a la baja capacidad de predicción de ciertos materiales de los cuales no se obtuvieron suficientes imágenes para el entrenamiento, tal como se muestra en el análisis de las matrices de confusión que se describen más adelante.

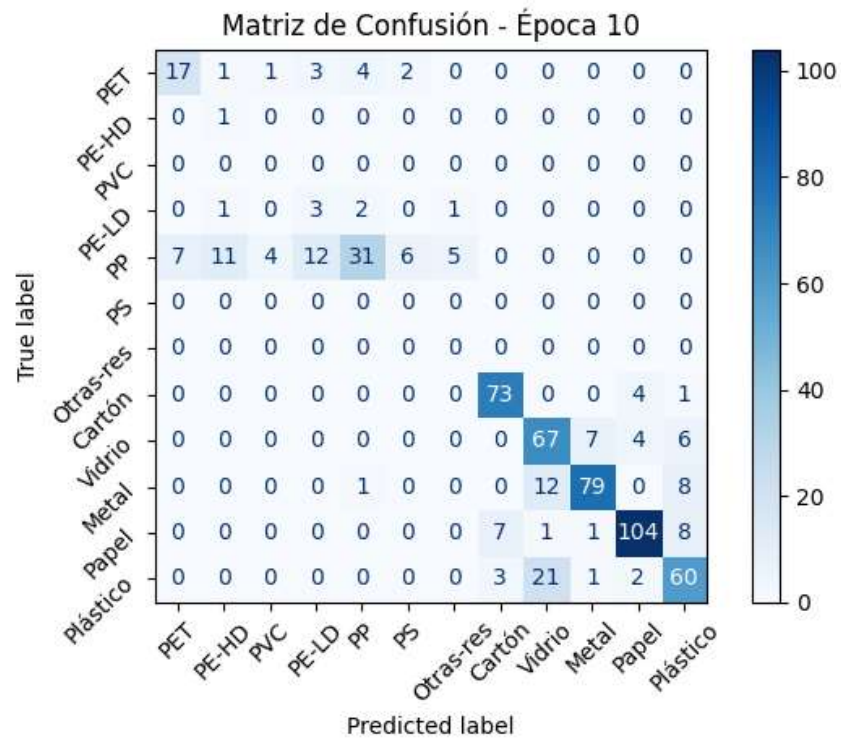
Tabla 6. Evolución de la exactitud del modelo a través de las épocas de entrenamiento

Rango	Precisión mínima	Precisión máxima	Promedio
1-10	44,50 %	73,20 %	66,33 %
1-10	44,50 %	73,20 %	66,33 %
11-20	73,20 %	76,29 %	74,56 %
21-30	73,71 %	76,80 %	75,59 %
31-40	74,91 %	77,84 %	76,12 %
41-50	74,91 %	77,66 %	76,48 %
51-60	75,77 %	77,66 %	76,76 %
61-70	76,29 %	78,01 %	76,96 %
71-80	75,77 %	77,49 %	76,69 %
81-90	75,60 %	77,49 %	76,54 %
91-100	76,12 %	77,66 %	76,74 %

Nota. Datos suministrados en el documento de desarrollo metodológico del modelo.

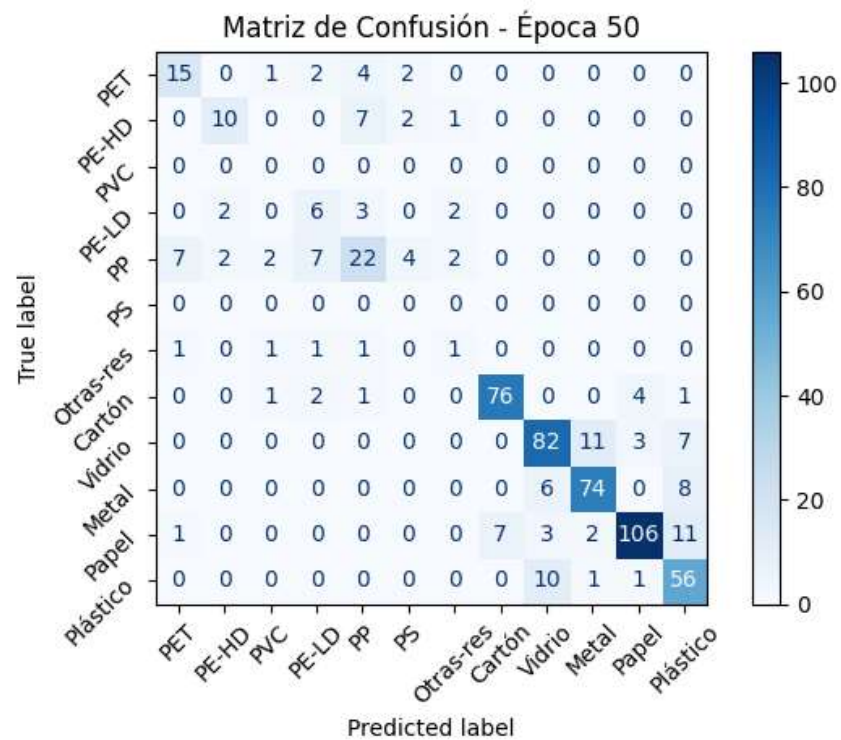
Adicionalmente, para ilustrar con más detalle el proceso de clasificación a través de las épocas de entrenamiento, se generaron matrices de confusión en las épocas 10, 50 y 100, las cuales se muestran en las Figuras 16, 17 y 18, respectivamente. Se puede apreciar cómo evoluciona el número de verdaderos positivos y cómo para algunas clases los resultados son mejores que otros, lo cual puede ser atribuido a la baja calidad de las imágenes en los casos de PE-LD, PE-HD, PVC o PS, al parecido que tienen los logos de estos tipos de materiales o a la misma dimensión del dataset, ya que, en algunos casos, como el de PVC, solo se logró obtener veinte imágenes para entrenamiento.

Figura 16. Matriz de confusión en la época 10



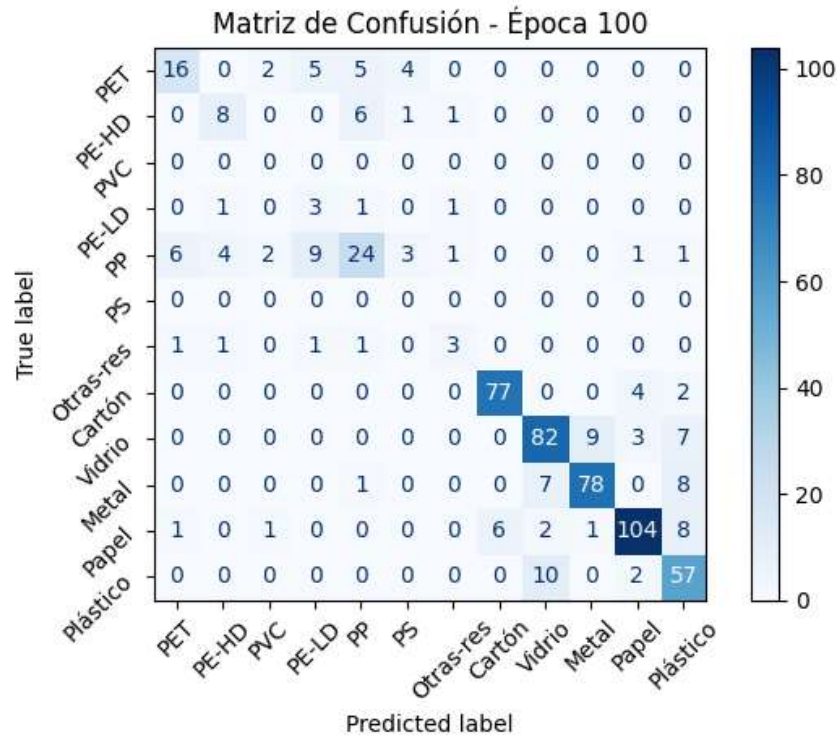
Nota. Se observa un gran número de falsos positivos para PP.

Figura 17. Matriz de confusión en la época 50



Nota. Se observa una mejora en las clases de la parte superior.

Figura 18. Matriz de confusión en la época 100



Nota. Se observa buenos resultados para las clases inferiores: cartón, vidrio, metal, papel y plástico.

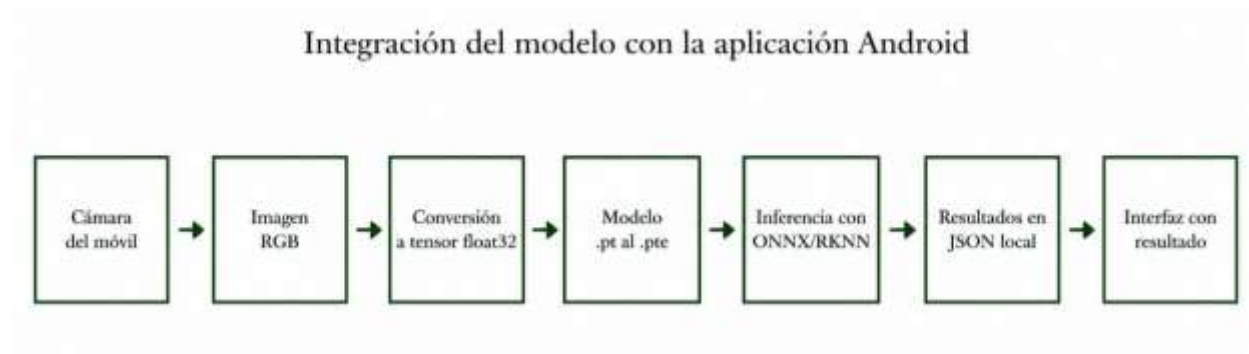
8.5.4 Conversión e integración del modelo en Android

El entrenamiento se ejecutó durante cien épocas con el conjunto organizado por clases. El proceso generó un modelo almacenado inicialmente como model.pth. Para su ejecución en dispositivos móviles, el modelo se convirtió al formato de ExecuTorch mediante XnnpackPartitioner, con lo que se obtuvo el archivo model.pte. Este archivo se incorporó en la ruta app/src/main/assets del proyecto Android.

Durante la inferencia, CameraX proporciona la imagen capturada y Camera4DL la transforma al formato requerido por el modelo. El método loadModel() carga model.pte, mientras que runInference(Bitmap) ejecuta la clasificación y devuelve las puntuaciones

correspondientes a las doce clases. El resultado se comunica con MainActivity para su presentación en las interfaces desarrolladas con Jetpack Compose.

Figura 19. Integración entre el modelo de reconocimiento y la aplicación Android



Nota. Elaboración propia a partir de la implementación con CameraX, ExecuTorch y Jetpack Compose (2026).

El modelo creado, al cual se le asignó el nombre «model.pth», fue convertido a una versión liviana que pudiera funcionar en dispositivos móviles utilizando la función `XnnpackPartitioner` del paquete `executorch.backends.xnnpack.partition.xnnpack_partitioner`. El archivo generado, al cual se le llamó «model.pt», es guardado en la carpeta `.../app/src/main/assets` del proyecto Android. La función que hace el llamado al modelo desde la aplicación Android se muestra en la Figura 20.

Figura 20. Función para llamar al modelo de reconocimiento de materiales reciclables desde el dispositivo Android

```
private fun loadModel() {
    lifecycleScope.launch(Dispatchers.IO) {
        try {
            // Load .pte model from assets
            val modelFile = File(filesDir, "model.pte")
            assets.open("model.pte").use { inputStream ->
                modelFile.outputStream().use { outputStream ->
                    inputStream.copyTo(outputStream)
                }
            }

            module = Module.load(modelFile.absolutePath)

            withContext(Dispatchers.Main) {
                Toast.makeText(this@MainActivity, "Model loaded successfully", Toast.LENGTH_SHORT).show()
                startCamera()
            }
        } catch (e: Exception) {
            withContext(Dispatchers.Main) {
                Toast.makeText(this@MainActivity, "Failed to load model: ${e.message}", Toast.LENGTH_LONG).show()
            }
            e.printStackTrace()
        }
    }
}
```

Nota. Fragmento de la implementación suministrada para la carga local del modelo.

El resultado del proceso de clasificación se puede observar en la Figura 21. Una vez el material es identificado, el usuario puede ver información relacionada con este en términos de valor en el mercado de reciclaje, puntos de acopio, posibilidad de ser reciclado o no, entre otras opciones. Para mayor detalle, véase la sección de descripción de interfaces de usuario del presente documento.

Figura 21. Reconocimiento de materiales en la aplicación Android



Nota. Evidencia de reconocimiento suministrada en el documento de desarrollo metodológico.

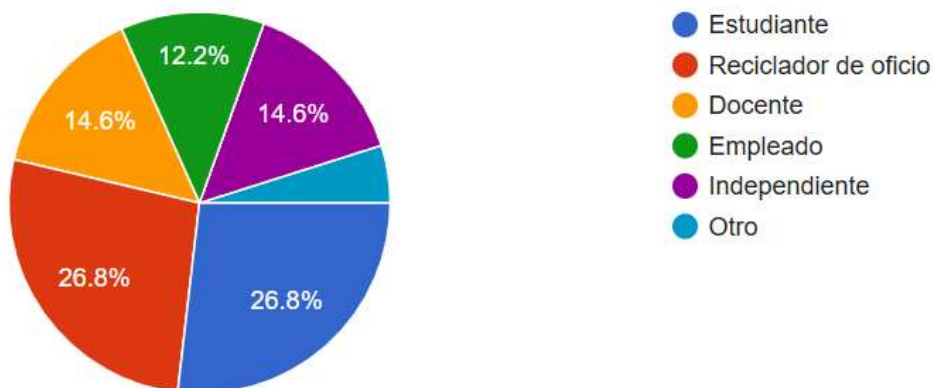
La ejecución local del modelo permite realizar el reconocimiento directamente en el dispositivo, sin depender de una consulta remota durante la inferencia. La integración conecta la captura de la cámara, el procesamiento de la imagen, la generación de puntuaciones y la consulta de contenidos sobre el material dentro de un mismo flujo funcional.

9. Resultados

Este capítulo presenta los resultados del cuestionario aplicado mediante Google Forms a usuarios que interactuaron con EcoScan, con el propósito de conocer su percepción sobre el funcionamiento, la utilidad y el posible aporte de la aplicación como herramienta de apoyo para la clasificación de materiales. La base reúne 41 participantes; en las preguntas 7 y 15 se registraron 40 respuestas, por lo que los porcentajes se interpretan con el total válido de cada ítem. Los hallazgos son de carácter descriptivo y expresan la valoración y el autorreporte de los participantes; por tanto, permiten analizar la aceptación y la utilidad percibida de la aplicación, pero no establecer por sí solos un efecto causal sobre los conocimientos o las prácticas de reciclaje.

9.1 Caracterización de los participantes y antecedentes de reciclaje

Figura 22. Ocupación de los participantes
Pregunta 1. ¿Cuál es su ocupación?



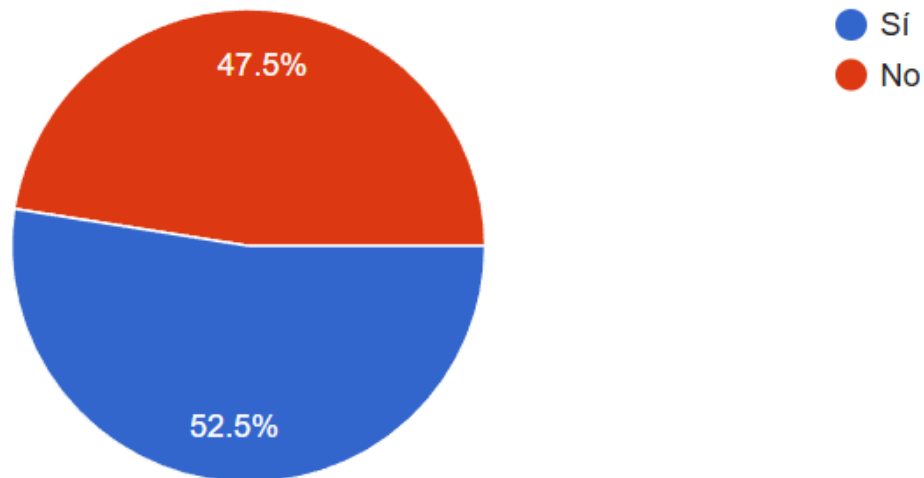
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

La distribución de la muestra evidencia una participación equilibrada entre usuarios potenciales del ámbito educativo y usuarios con experiencia directa en actividades de reciclaje. La presencia significativa de recicladores de oficio resulta especialmente relevante, ya que este grupo representa uno de los principales beneficiarios de la aplicación EcoScan. Asimismo, la participación de estudiantes y docentes permite valorar el potencial de la aplicación como

herramienta de apoyo para procesos de educación ambiental y fortalecimiento de competencias relacionadas con la clasificación de residuos.

En términos generales, estos resultados indican que la evaluación de la aplicación no se limitó a un único tipo de usuario, sino que incorporó percepciones provenientes de distintos contextos, lo que aporta mayor validez a la valoración de su utilidad, facilidad de uso y aplicabilidad tanto en escenarios educativos como en actividades de reciclaje.

Figura 23. Información previa sobre reciclaje
Pregunta 2. ¿Había recibido información sobre reciclaje antes de utilizar la aplicación?



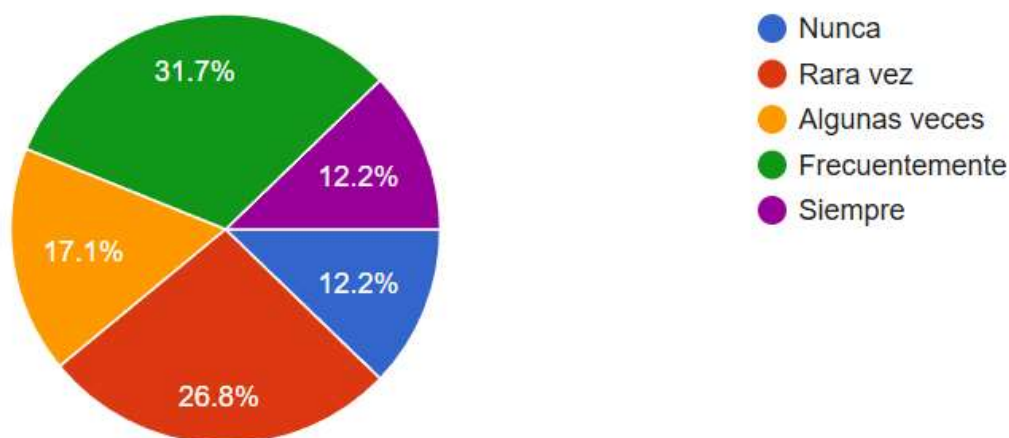
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los datos evidencian una distribución relativamente equilibrada entre personas con conocimientos previos sobre reciclaje y aquellas que no habían tenido acceso a información relacionada con esta temática. Aunque la mayoría de los participantes indicó haber recibido algún tipo de información, la diferencia porcentual entre ambos grupos es de apenas 7,4 puntos porcentuales, lo que sugiere que la muestra estuvo conformada por usuarios con niveles de conocimiento diversos.

Este resultado es especialmente relevante para la investigación, ya que permite evaluar la aplicación EcoScan en un contexto heterogéneo. La presencia de un número considerable de participantes sin formación previa en reciclaje posibilita analizar la capacidad de la aplicación para transmitir información, orientar el proceso de clasificación de materiales y fortalecer competencias ambientales en usuarios con escasos conocimientos iniciales.

Asimismo, el hecho de que casi la mitad de los encuestados no hubiera recibido información previa sobre reciclaje pone de manifiesto la necesidad de desarrollar herramientas tecnológicas que faciliten el acceso a contenidos educativos relacionados con la gestión de residuos. En este sentido, EcoScan puede desempeñar un papel importante como recurso de apoyo para promover el aprendizaje sobre la identificación de materiales reciclables y la correcta disposición de los residuos.

Figura 24. *Frecuencia de realización de actividades relacionadas con el reciclaje*
Pregunta 3. ¿Con qué frecuencia realiza actividades relacionadas con el reciclaje?



Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

La distribución de las respuestas evidencia que existe una participación moderada en actividades de reciclaje dentro de la población encuestada. Aunque el grupo más representativo corresponde a quienes reciclan frecuentemente, también se observa una proporción considerable

de personas que realizan estas actividades rara vez o nunca. En conjunto, el 39,0% de los participantes presenta una baja frecuencia de participación en actividades de reciclaje (rara vez o nunca), mientras que el 43,9% manifestó reciclar frecuentemente o siempre.

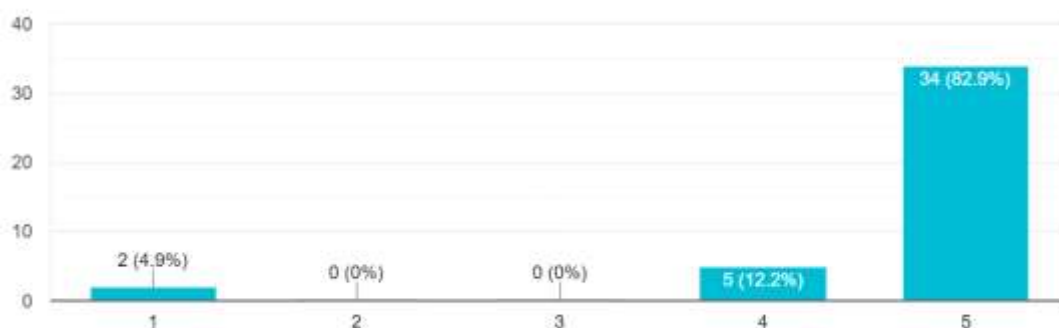
Este resultado sugiere que la muestra incluye tanto personas con hábitos consolidados de reciclaje como usuarios con una participación limitada en prácticas de separación y aprovechamiento de residuos. Esta heterogeneidad es relevante para la investigación, ya que permite evaluar el potencial de EcoScan para atender las necesidades de diferentes tipos de usuarios, desde aquellos que ya cuentan con experiencia en procesos de reciclaje hasta quienes requieren orientación y acompañamiento para mejorar sus prácticas.

Asimismo, la presencia de un porcentaje importante de participantes que reciclan con poca frecuencia evidencia la necesidad de fortalecer estrategias de educación ambiental y de acceso a herramientas que faciliten la identificación y clasificación de materiales reciclables. En este contexto, la aplicación puede contribuir a incrementar la participación ciudadana en actividades de reciclaje, proporcionando información clara, reconocimiento de materiales y acceso a centros de reciclaje cercanos.

9.2 Percepción del funcionamiento, la organización y el diseño de EcoScan

Tabla 7. *Facilidad para comprender el funcionamiento de EcoScan*

Pregunta 4. ¿Qué tan fácil le resultó comprender el funcionamiento de la aplicación EcoScan?



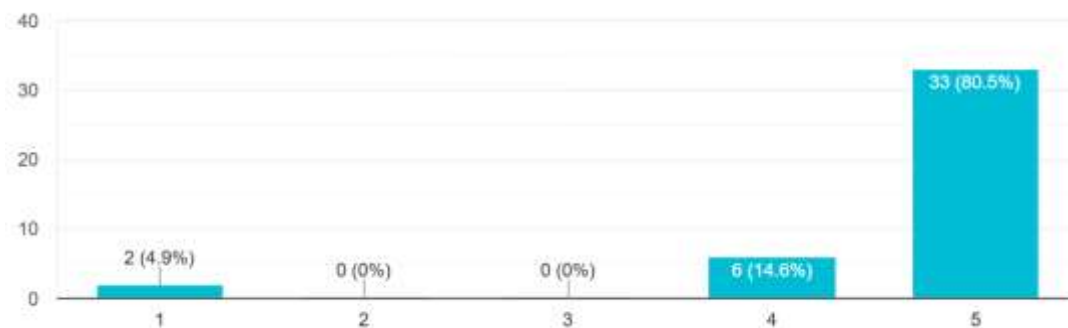
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran una valoración altamente positiva respecto a la facilidad para comprender el funcionamiento de la aplicación EcoScan. La concentración de las respuestas en las categorías 4 y 5 (95,1%) evidencia que la mayoría de los usuarios percibió la aplicación como una herramienta fácil de entender y utilizar desde el primer contacto. Este resultado sugiere que la estructura general de la interfaz, la organización de las funciones y la presentación de la información favorecieron una interacción intuitiva, reduciendo las dificultades asociadas al aprendizaje del funcionamiento de la aplicación.

Desde la perspectiva de la experiencia de usuario, la facilidad de comprensión constituye un factor fundamental para la aceptación de herramientas tecnológicas, especialmente cuando están dirigidas a poblaciones con distintos niveles de alfabetización digital. En este caso, la participación de recicladores, estudiantes, docentes y otros usuarios permite inferir que EcoScan presenta una curva de aprendizaje reducida, facilitando su utilización sin requerir procesos extensos de capacitación.

Además, la ausencia de calificaciones bajas indica que ningún participante consideró que el funcionamiento de la aplicación fuera difícil o muy difícil de comprender, lo que fortalece la percepción de accesibilidad y usabilidad del sistema. Este aspecto es particularmente importante para el cumplimiento del objetivo de la investigación, ya que una aplicación destinada a apoyar la clasificación de materiales reciclables debe ser comprensible para usuarios con diferentes perfiles y niveles de experiencia.

Tabla 8. Organización de los menús y las opciones de la aplicación
Pregunta 5. ¿Qué tan organizada le pareció la distribución de los menús y opciones dentro de la aplicación?

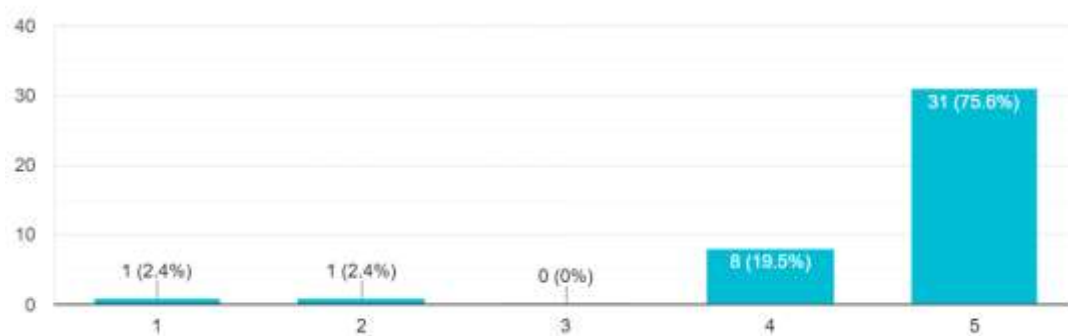


Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran una valoración muy positiva sobre la organización de los menús y opciones de la aplicación EcoScan. De los 41 participantes, 33 personas (80,5%) otorgaron la calificación máxima de 5, mientras que 6 participantes (14,6%) calificaron con 4 y 2 personas (4,9%) con 1. No se registraron respuestas en las calificaciones 2 o 3.

La mayoría de los participantes consideró que la distribución de los menús y opciones facilita la navegación dentro de la aplicación. La alta concentración de respuestas en las calificaciones 4 y 5 (95,1%) sugiere que EcoScan presenta una estructura clara y organizada, permitiendo acceder fácilmente a sus funciones principales. Aunque un pequeño grupo calificó con 1, en términos generales los resultados reflejan una percepción favorable sobre la organización y accesibilidad de la interfaz.

Tabla 9. Claridad de la información sobre materiales reciclables
Pregunta 6. ¿Qué tan clara le pareció la información presentada sobre los materiales reciclables?



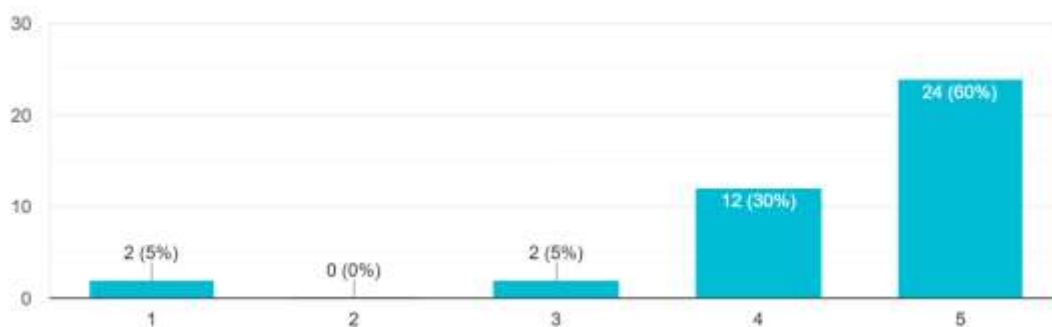
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran que la información presentada sobre los materiales reciclables fue valorada positivamente por la mayoría de los participantes. De los 41 encuestados, 31 personas (75,6%) otorgaron la calificación máxima de 5, 8 participantes (19,5%) calificaron con 4, 1 persona (2,4%) con 2 y 1 persona (2,4%) con 1. No se registraron respuestas

en la calificación 3, lo que indica que la percepción general sobre la claridad de la información fue favorable.

La distribución de las respuestas muestra que el 95,1% de los participantes calificó este aspecto con 4 o 5, lo que sugiere que la información presentada en EcoScan fue clara y fácil de comprender para la mayoría de los usuarios. Aunque dos participantes otorgaron calificaciones bajas, estos casos representan un porcentaje reducido de la muestra, por lo que, en términos generales, los resultados indican que la aplicación comunica adecuadamente la información necesaria para apoyar la identificación y clasificación de los materiales reciclables.

Tabla 10. Valoración del diseño visual de la aplicación
Pregunta 7. ¿Qué tan agradable le pareció el diseño visual de la aplicación?



Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran una valoración positiva sobre el diseño visual de la aplicación EcoScan. De los 40 participantes que respondieron esta pregunta, 24 personas (60,0%) otorgaron la calificación máxima de 5, 12 participantes (30,0%) calificaron con 4, 2 personas (5,0%) con 3 y 2 personas (5,0%) con 1. No se registraron respuestas en la calificación 2, lo que indica que la percepción general del diseño fue favorable.

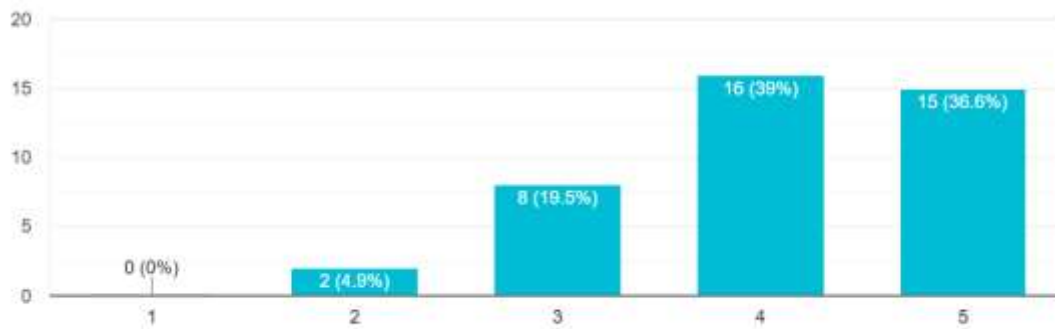
La distribución de las respuestas muestra que el 90,0% de los participantes calificó el diseño visual con 4 o 5, lo que sugiere que la apariencia de EcoScan fue bien recibida por la mayoría de los usuarios. Aunque un pequeño grupo otorgó calificaciones bajas, estos casos

representan una proporción reducida de la muestra. En general, los resultados indican que el diseño visual de la aplicación resulta atractivo y contribuye a una experiencia de uso positiva.

9.3 Valoración de las funciones principales de la aplicación

Tabla 11. *Efectividad percibida del sistema de reconocimiento de materiales*

Pregunta 8. ¿Qué tan efectivo fue el sistema de reconocimiento de materiales al identificar correctamente los residuos escaneados?



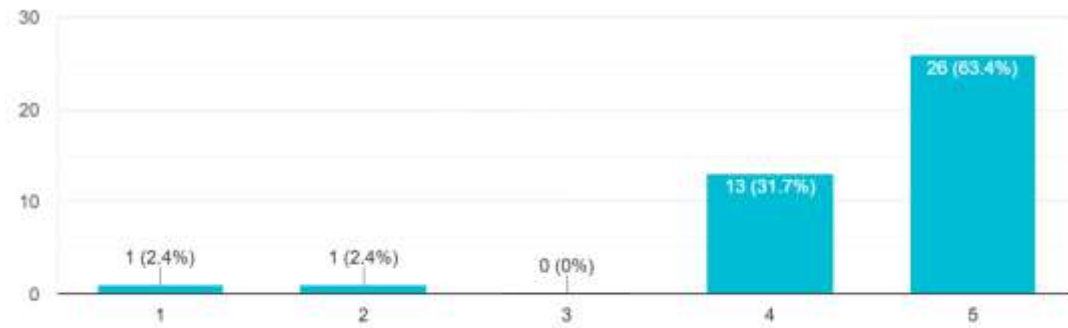
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran que la percepción de los participantes sobre la efectividad del sistema de reconocimiento de materiales fue mayoritariamente positiva. De los 41 encuestados, 16 personas (39,0%) calificaron este aspecto con 4, 15 personas (36,6%) con 5, 8 participantes (19,5%) con 3 y 2 personas (4,9%) con 2. No se registraron respuestas en la calificación 1, lo que indica que la mayoría de los usuarios consideró que el sistema logró identificar correctamente los residuos escaneados.

La distribución de las respuestas evidencia que el 75,6% de los participantes calificó el sistema con 4 o 5, lo que sugiere que el reconocimiento de materiales fue efectivo para la mayoría de los usuarios. Sin embargo, las respuestas obtenidas en las calificaciones 2 y 3 muestran que algunos participantes experimentaron dificultades en el proceso de identificación, lo que indica que aún existen aspectos por mejorar en cuanto a la precisión y funcionamiento del sistema de reconocimiento.

Tabla 12. *Unidad de la información presentada después del escaneo*

Pregunta 9. ¿La información mostrada después del escaneo fue útil para comprender las características del material?

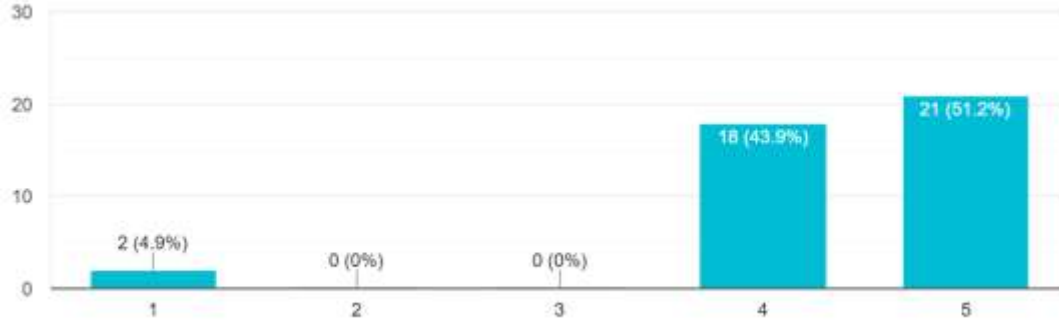


Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran que la información presentada después del escaneo fue considerada útil por la mayoría de los participantes. De los 41 encuestados, 26 personas (63,4%) otorgaron la calificación máxima de 5, 13 participantes (31,7%) calificaron con 4, 1 persona (2,4%) con 2 y 1 persona (2,4%) con 1. No se registraron respuestas en la calificación 3, lo que evidencia una percepción favorable sobre la utilidad de la información proporcionada por la aplicación.

La distribución de las respuestas muestra que la gran mayoría de los participantes consideró que la información presentada después del escaneo les permitió comprender mejor las características de los materiales reciclables. En conjunto, el 95,1% calificó este aspecto con 4 o 5, lo que sugiere que la aplicación proporciona información clara y útil para apoyar el proceso de identificación y clasificación de residuos. Estos resultados evidencian que EcoScan cumple una función informativa importante, favoreciendo el aprendizaje y fortaleciendo el conocimiento de los usuarios sobre los materiales reciclables.

Tabla 13. *Utilidad y facilidad de uso de la localización de centros de reciclaje*
Pregunta 10. ¿La función para localizar centros de reciclaje cercanos fue útil y fácil de utilizar?

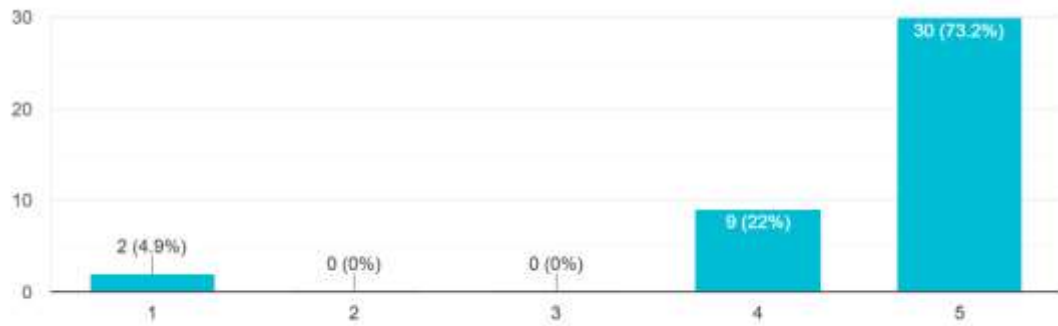


Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran que la función para localizar centros de reciclaje cercanos fue valorada de manera positiva por la mayoría de los participantes. De los 41 encuestados, 21 personas (51,2%) otorgaron la calificación máxima de 5, 18 participantes (43,9%) calificaron con 4 y 2 personas (4,9%) con 1. No se registraron respuestas en las calificaciones 2 o 3, lo que evidencia una percepción favorable sobre la utilidad y facilidad de uso de esta función.

La distribución de las respuestas muestra que el 95,1% de los participantes calificó este aspecto con 4 o 5, lo que sugiere que la función de localización de centros de reciclaje fue considerada útil y fácil de utilizar. Estos resultados indican que esta herramienta representa un apoyo importante para los usuarios, ya que facilita el acceso a información sobre puntos de reciclaje cercanos y promueve una adecuada disposición de los materiales reciclables.

Tabla 14. *Aporte de la guía de materiales al aprendizaje de la clasificación de residuos*
Pregunta 11. ¿La guía de materiales reciclables facilitó el aprendizaje sobre la correcta clasificación de residuos?



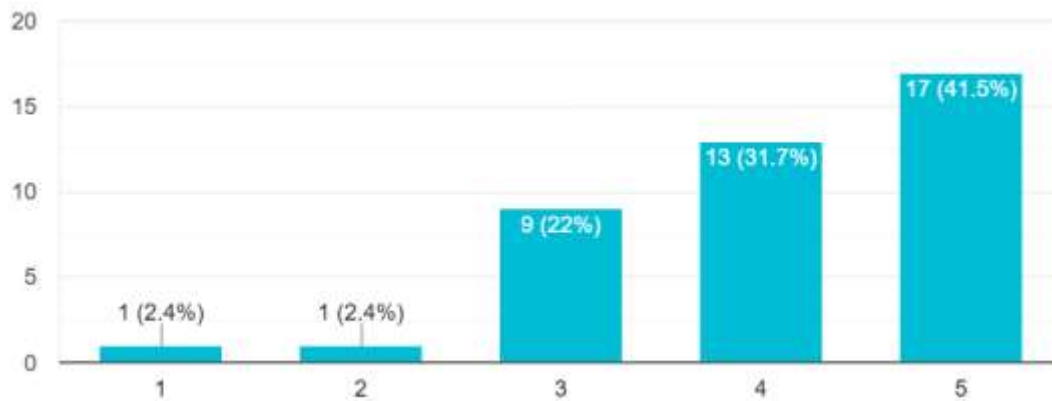
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran que la guía de materiales reciclables fue valorada de manera positiva por la mayoría de los participantes. De los 41 encuestados, 30 personas (73,2%) otorgaron la calificación máxima de 5, 9 participantes (22,0%) calificaron con 4 y 2 personas (4,9%) con 1. No se registraron respuestas en las calificaciones 2 o 3, lo que evidencia una percepción favorable sobre el aporte de la guía al aprendizaje de la clasificación de residuos.

La distribución de las respuestas muestra que el 95,2% de los participantes calificó este aspecto con 4 o 5, lo que sugiere que la guía de materiales reciclables facilitó el aprendizaje sobre la correcta clasificación de los residuos. Estos resultados indican que esta sección de EcoScan cumplió una función educativa importante, ya que proporcionó información útil para comprender las características de los materiales y fortalecer los conocimientos relacionados con la separación adecuada de los residuos reciclables.

Tabla 15. *Unidad de la sección: Otras alternativas*

Pregunta 12. ¿La sección “Otras alternativas” permitió conocer nuevas estrategias para el aprovechamiento de residuos?



Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

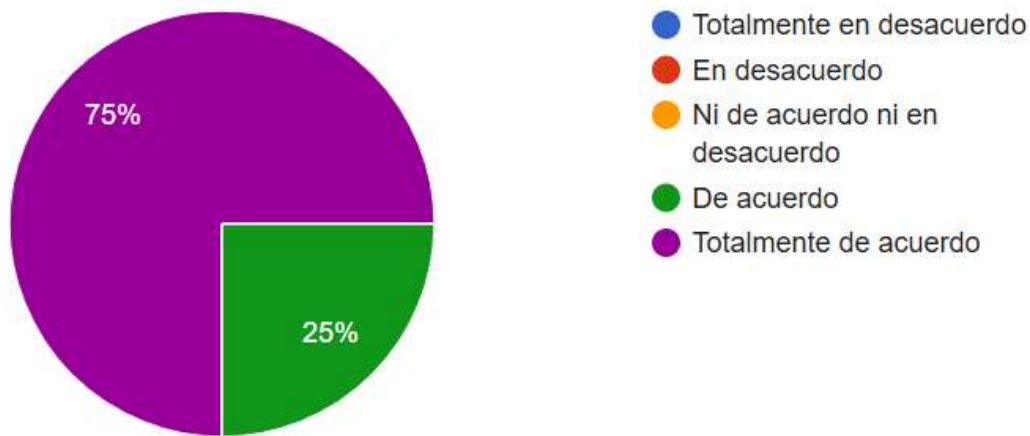
Los resultados obtenidos muestran una percepción mayoritariamente favorable sobre la utilidad de la sección “Otras alternativas”. De los 41 participantes, 17 personas (41,5%) otorgaron la calificación máxima de 5, 13 participantes (31,7%) calificaron con 4, 9 personas (22,0%) con 3, 1 persona (2,4%) con 2 y 1 persona (2,4%) con 1. Estos resultados indican que la valoración de esta sección fue positiva, aunque con una mayor dispersión en las respuestas en comparación con las preguntas anteriores.

La distribución de las respuestas muestra que el 73,2% de los participantes calificó este aspecto con 4 o 5, lo que sugiere que la sección contribuyó al conocimiento de nuevas estrategias para el aprovechamiento de residuos. Sin embargo, el 22,0% otorgó una calificación intermedia y el 4,8% una calificación baja, lo que indica que el impacto percibido de esta sección fue menos uniforme que el observado en otras funciones de la aplicación. En conjunto, los resultados evidencian una valoración positiva, aunque con un margen de mejora en el contenido o la forma de presentación de esta funcionalidad.

9.4 Utilidad educativa e impacto percibido

Figura 25. Aporte de los cuestionarios al fortalecimiento de conocimientos

Pregunta 13. ¿Los cuestionarios incluidos en la aplicación reforzaron sus conocimientos sobre reciclaje?



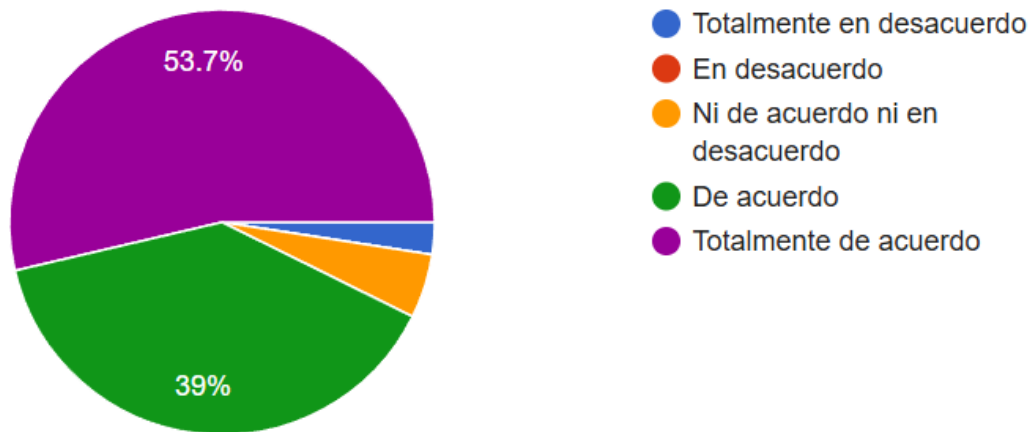
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados obtenidos muestran una valoración altamente positiva sobre el aporte de los cuestionarios al aprendizaje sobre reciclaje. De los 41 participantes, 31 personas (75,6%) manifestaron estar totalmente de acuerdo con que los cuestionarios reforzaron sus conocimientos, mientras que 10 participantes (24,4%) indicaron estar de acuerdo. No se registraron respuestas en las categorías ni de acuerdo ni en desacuerdo, en desacuerdo o totalmente en desacuerdo, lo que evidencia una percepción completamente favorable sobre esta funcionalidad.

La distribución de las respuestas muestra que el 100% de los participantes estuvo de acuerdo o totalmente de acuerdo con la afirmación planteada, lo que indica que los cuestionarios fueron percibidos como un recurso útil para reforzar los conocimientos adquiridos durante el uso de la aplicación. Estos resultados evidencian que esta funcionalidad cumple un papel importante dentro del componente educativo de EcoScan, al contribuir al fortalecimiento del aprendizaje sobre reciclaje y clasificación de residuos.

Figura 26. *Mejora percibida en la identificación de materiales reciclables*

Pregunta 14. ¿Después de utilizar la aplicación, considera que mejoró su capacidad para identificar materiales reciclables?

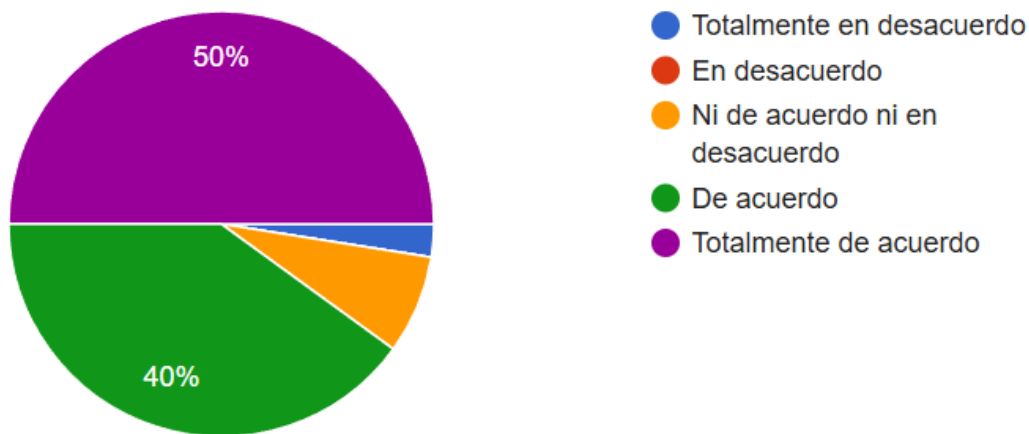


Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados evidencian una percepción ampliamente favorable respecto al efecto de EcoScan sobre la capacidad para identificar materiales reciclables. La mayoría de los participantes expresó una valoración positiva, ya que 22 personas (53,7%) estuvieron totalmente de acuerdo y 16 (39,0%) de acuerdo con la afirmación planteada. En contraste, 2 participantes (4,9%) mantuvieron una postura neutral y 1 persona (2,4%) manifestó estar totalmente en desacuerdo.

En conjunto, el 92,7% de los encuestados consideró que la aplicación mejoró su capacidad para identificar materiales reciclables, lo que representa uno de los resultados más consistentes de la evaluación. La baja proporción de respuestas neutrales y negativas sugiere que la aplicación no solo proporcionó información, sino que también favoreció el desarrollo de habilidades relacionadas con el reconocimiento de materiales, aspecto que está directamente vinculado con el objetivo educativo y funcional de EcoScan.

Figura 27. *Capacidad percibida para clasificar correctamente los residuos reciclables*
Preguntas 15. ¿Después de utilizar la aplicación, considera que puede clasificar correctamente los residuos reciclables?



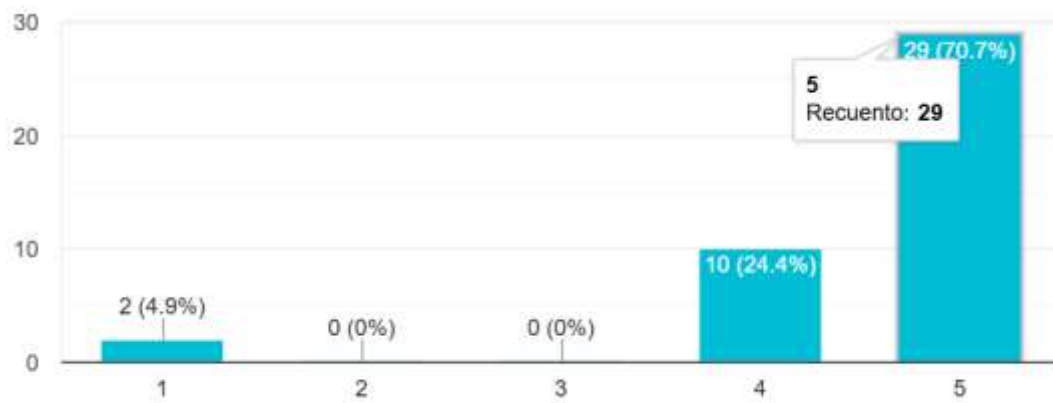
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

La percepción de los participantes sobre su capacidad para clasificar correctamente los residuos reciclables fue predominantemente positiva. De las 40 respuestas registradas, 20 participantes (50,0%) indicaron estar totalmente de acuerdo con la afirmación, 16 (40,0%) manifestaron estar de acuerdo, 3 (7,5%) respondieron ni de acuerdo ni en desacuerdo y 1 (2,5%) estuvo totalmente en desacuerdo. No se registraron respuestas en la categoría en desacuerdo.

Estos resultados muestran que 9 de cada 10 participantes (90,0%) consideran que, después de utilizar EcoScan, tienen la capacidad de clasificar correctamente los residuos reciclables. La baja presencia de respuestas neutrales y negativas sugiere que la aplicación generó una percepción favorable sobre el aprendizaje adquirido, fortaleciendo la confianza de los usuarios en la identificación y clasificación de los materiales reciclables.

Tabla 16. Contribución percibida de EcoScan a las prácticas comunitarias de reciclaje

Pregunta 16. ¿Considera que una aplicación como EcoScan puede contribuir a mejorar las prácticas de reciclaje en su comunidad?



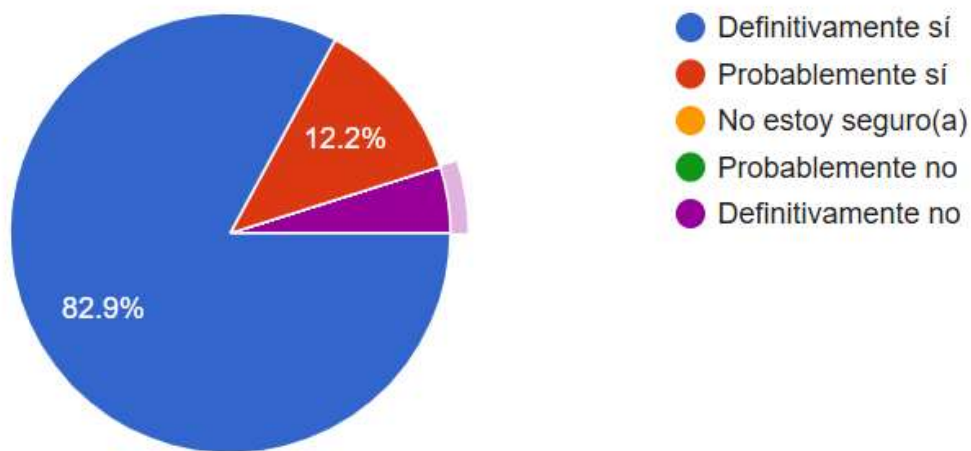
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados evidencian una percepción ampliamente favorable sobre el potencial de EcoScan para contribuir al mejoramiento de las prácticas de reciclaje en la comunidad. De los 41 participantes, 29 personas (70,7%) otorgaron la calificación máxima de 5, 10 participantes (24,4%) calificaron con 4 y 2 personas (4,9%) con 1. No se registraron respuestas en las calificaciones 2 y 3, lo que refleja una tendencia claramente positiva en la valoración de esta función.

El predominio de las calificaciones altas indica que los participantes reconocen el valor de una herramienta tecnológica como EcoScan para fortalecer las prácticas de reciclaje a nivel comunitario. En conjunto, el 95,1% de los encuestados calificó este aspecto con 4 o 5, lo que sugiere que la aplicación es percibida como un recurso con potencial para apoyar la educación ambiental, facilitar la clasificación de residuos y promover una mayor participación en actividades relacionadas con el reciclaje.

Figura 28. *Intención de recomendar la aplicación EcoScan*

Pregunta 17. ¿Recomendaría la aplicación EcoScan a otras personas interesadas en el reciclaje?



Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

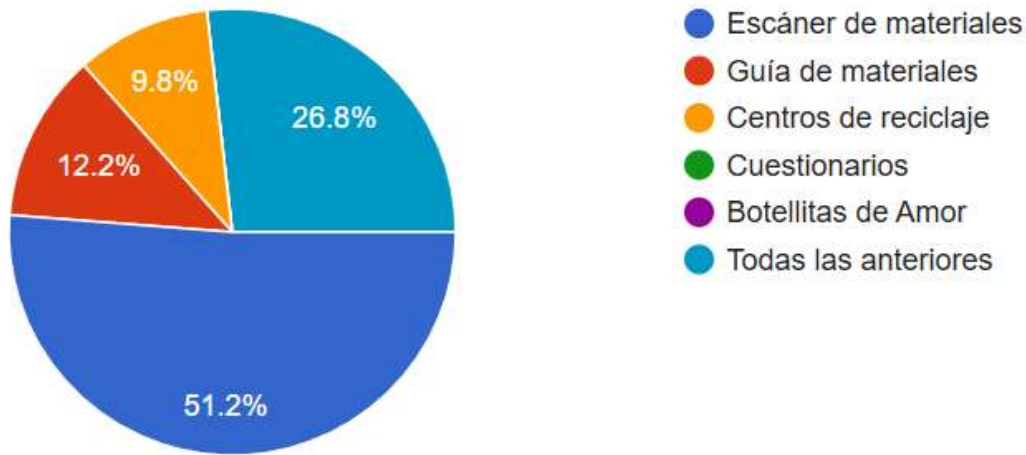
La intención de recomendación de EcoScan fue altamente favorable entre los participantes. De los 41 encuestados, 34 personas (82,9%) respondieron “Definitivamente sí”, 5 participantes (12,2%) seleccionaron “Probablemente sí” y 2 personas (4,9%) indicaron “Definitivamente no”. No se registraron respuestas en las categorías “No estoy seguro(a)” y “Probablemente no”.

Los resultados muestran que el 95,1% de los participantes manifestó una disposición positiva para recomendar la aplicación, lo que refleja un alto nivel de aceptación y satisfacción con la experiencia de uso. La predominancia de la opción “Definitivamente sí” sugiere que los usuarios perciben a EcoScan como una herramienta útil y con potencial para ser utilizada por otras personas interesadas en el reciclaje y la correcta clasificación de residuos.

9.5 Funciones destacadas y oportunidades de mejora

Figura 29. Funciones de EcoScan consideradas más útiles

Pregunta 18. ¿Cuál de las siguientes funciones de la aplicación le pareció más útil?



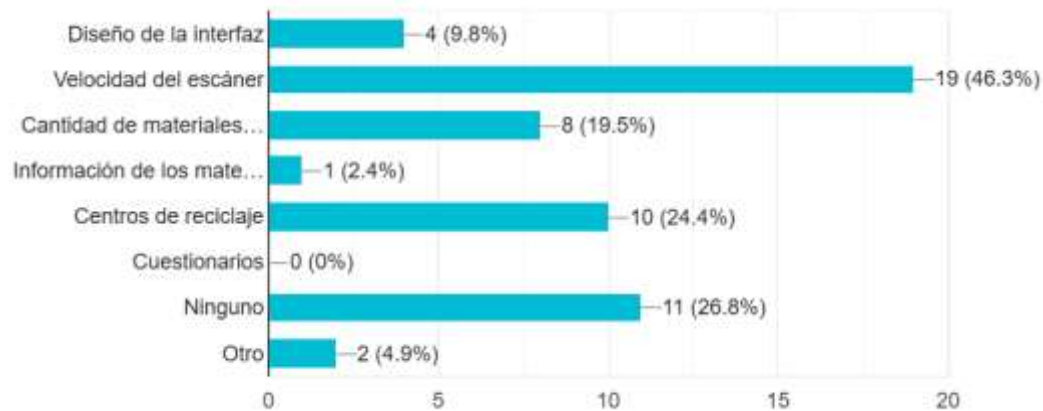
Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados muestran que el escáner de materiales fue la función más valorada por los participantes. De los 41 encuestados, 21 personas (51,2%) seleccionaron esta opción como la más útil, seguida por “Todas las anteriores”, elegida por 11 participantes (26,8%). En menor proporción, 5 personas (12,2%) señalaron la guía de materiales y 4 participantes (9,8%) los centros de reciclaje. Las opciones cuestionarios y Botellitas de Amor no registraron respuestas.

La predominancia del escáner de materiales indica que esta funcionalidad representa el principal valor percibido de EcoScan, ya que ofrece una solución directa para la identificación de residuos reciclables. Además, el porcentaje de participantes que eligió “Todas las anteriores” sugiere que una parte importante de la muestra percibe la aplicación como un conjunto de herramientas complementarias, donde las diferentes funciones contribuyen de manera integrada al proceso de aprendizaje y clasificación de residuos.

Tabla 17. Aspectos propuestos para mejorar futuras versiones de EcoScan

Pregunta 19. ¿Qué aspecto considera que debería mejorarse en futuras versiones de EcoScan?



Nota. Resultados del cuestionario de percepción aplicado mediante Google Forms.

Los resultados muestran que la velocidad del escáner fue el aspecto que los participantes identificaron con mayor frecuencia como una oportunidad de mejora. De los 41 encuestados, 19 personas (46,3%) señalaron esta opción, seguida por ninguno con 11 respuestas (26,8%) y centros de reciclaje con 10 respuestas (24,4%). En menor proporción, 4 participantes (9,8%) consideraron que debía mejorarse el diseño de la interfaz, 2 personas (4,9%) seleccionaron otro y 1 participante (2,4%) mencionó la información de los materiales. La opción cuestionarios no registró respuestas.

La distribución de las respuestas indica que el rendimiento del escáner constituye la principal prioridad de mejora para los usuarios, ya que fue la opción seleccionada por casi la mitad de los participantes. Además, el porcentaje de personas que indicó que no realizaría ninguna mejora sugiere un nivel de satisfacción general con la aplicación. En conjunto, estos resultados orientan las futuras mejoras de EcoScan hacia la optimización del sistema de reconocimiento y la actualización de la información relacionada con los centros de reciclaje, aspectos que podrían fortalecer la experiencia de uso y la utilidad práctica de la aplicación.

Pregunta 20. ¿Qué fue lo que más le gustó de la aplicación?

Las respuestas abiertas evidencian que el aspecto más valorado por los participantes fue el escáner de materiales, mencionado de forma recurrente en los comentarios. Los usuarios destacaron especialmente la posibilidad de identificar diferentes tipos de plásticos y otros residuos mediante la cámara, así como la utilidad del reconocimiento automático para facilitar el proceso de clasificación. En segundo lugar, se identificó una valoración positiva hacia la facilidad de uso de la aplicación, resaltando que la interfaz es intuitiva, de fácil acceso y comprensible para personas con distintos niveles de conocimiento sobre reciclaje.

Asimismo, una parte importante de los participantes destacó el valor educativo de la aplicación, haciendo énfasis en la información suministrada sobre los materiales reciclables y en el aprendizaje que genera durante su uso. También se mencionaron otros elementos como la integración con Google Maps para ubicar centros de reciclaje, los cuestionarios, la sección de Botellitas de Amor y el diseño general de la interfaz. En conjunto, las respuestas muestran que los usuarios perciben a EcoScan como una herramienta práctica, innovadora y educativa, siendo el escáner de materiales la funcionalidad que aporta el mayor valor diferencial dentro de la aplicación.

Pregunta 21. ¿Qué sugerencias realizaría para mejorar la aplicación?

Las respuestas de los participantes muestran que la principal sugerencia de mejora está relacionada con el sistema de reconocimiento de materiales. La mayoría de los comentarios se enfocó en aumentar la precisión del escáner, mejorar la velocidad de reconocimiento y ampliar su capacidad para identificar una mayor variedad de materiales, incluyendo residuos no reciclables. Este aspecto fue el más recurrente entre las respuestas, lo que indica que los usuarios consideran que el escáner representa la funcionalidad con mayor potencial de mejora.

En segundo lugar, varios participantes sugirieron realizar ajustes en el diseño visual y la interfaz, proponiendo una presentación más llamativa, mejor organización del texto, uso de colores y una navegación más dinámica. También se identificaron comentarios relacionados con la ampliación de los centros de reciclaje disponibles, la incorporación de videos, animaciones y contenido educativo adicional, así como nuevas ideas para el aprovechamiento de residuos. Cabe resaltar que un grupo importante de participantes manifestó que no realizaría cambios significativos, lo que refleja una percepción favorable sobre el estado actual de la aplicación.

Pregunta 22. Comentarios adicionales

Los comentarios adicionales evidencian una percepción ampliamente positiva sobre la aplicación EcoScan. La mayoría de los participantes destacó su utilidad práctica para el reciclaje, su aporte al aprendizaje sobre la clasificación de materiales y el potencial que tiene como herramienta de apoyo para recicladores y personas interesadas en el cuidado del medio ambiente. También fueron frecuentes las expresiones de reconocimiento hacia el proyecto, calificándolo como una iniciativa innovadora y con posibilidades de seguir creciendo.

El análisis de las respuestas muestra que varios participantes consideran que la aplicación puede tener un impacto más amplio si continúa desarrollándose e implementándose en diferentes contextos, como centros de acopio o programas relacionados con la gestión de residuos. Asimismo, algunos comentarios resaltan que EcoScan les permitió conocer información que desconocían sobre el reciclaje, lo que refuerza su componente educativo. Aunque algunos participantes indicaron que no tenían comentarios adicionales, el predominio de opiniones favorables sugiere un alto nivel de aceptación y una valoración positiva del potencial de la aplicación para contribuir a las prácticas de reciclaje.

10. Conclusiones

El proyecto permitió cumplir el objetivo general mediante el diseño, la implementación y la evaluación de EcoScan, una aplicación móvil para dispositivos Android que integra el reconocimiento de materiales reciclables y la consulta de centros de reciclaje. La solución articula la captura de imágenes, la inferencia local del modelo, la presentación de información educativa, los cuestionarios y los servicios de geolocalización. En conjunto, los resultados técnicos y la valoración de los usuarios respaldan la pertinencia de la aplicación como herramienta de apoyo para la clasificación y el aprovechamiento adecuado de los residuos.

En relación con el primer objetivo específico, la aproximación diagnóstica desarrollada en el Centro de Acopio La 67 permitió identificar necesidades técnicas, formativas y tecnológicas vinculadas con la clasificación de materiales. La observación de las actividades de recepción y separación evidenció dificultades para diferenciar residuos visualmente similares, incertidumbre sobre su aprovechamiento y reprocesos ocasionados por una separación inadecuada. Estos hallazgos orientaron la definición y priorización de los requerimientos funcionales de EcoScan. Debido al carácter contextual de la observación y a la ausencia de un muestreo estadístico, las conclusiones del diagnóstico se circunscriben al escenario estudiado.

Respecto al segundo objetivo específico, se desarrolló una interfaz mediante Kotlin y Jetpack Compose que reúne contenidos sobre categorías de materiales, recomendaciones de aprovechamiento, cuestionarios educativos, alternativas para residuos de difícil manejo y consulta de puntos de reciclaje. La evaluación con usuarios mostró una percepción favorable de la facilidad de uso, la organización de los menús, la claridad de la información y el diseño visual. Asimismo, la guía de materiales y los cuestionarios fueron valorados como recursos útiles para reforzar el aprendizaje, lo que respalda el componente educativo de la aplicación. Estos

resultados demuestran la facilidad de uso percibida, aunque no sustituyen una evaluación específica de accesibilidad basada en criterios normalizados.

El componente de inteligencia artificial se implementó a partir de ResNet-18 con pesos preentrenados en ImageNet y una adaptación del clasificador para doce categorías de materiales. El modelo fue entrenado en Python con PyTorch, convertido al formato model.pte e integrado en Android mediante ExecuTorch, lo que permitió ejecutar la inferencia directamente en el dispositivo. El escáner de materiales fue identificado por los participantes como la funcionalidad más útil de EcoScan, confirmando que el reconocimiento de residuos constituye su principal aporte percibido. Sin embargo, las valoraciones intermedias registradas y las respuestas abiertas señalan que la velocidad y la precisión del reconocimiento todavía requieren fortalecimiento.

En cuanto al tercer objetivo específico, la encuesta aplicada a los usuarios evidenció una alta aceptación de EcoScan y una percepción positiva de su contribución al fortalecimiento de conocimientos relacionados con el reciclaje. El 92,7 % de los participantes consideró que mejoró su capacidad para identificar materiales reciclables, el 90,0 % manifestó que podía clasificarlos correctamente después de utilizar la aplicación y el 100 % estuvo de acuerdo o totalmente de acuerdo con que los cuestionarios reforzaron sus conocimientos. Estos resultados respaldan la utilidad educativa percibida de EcoScan y su capacidad para orientar la identificación y clasificación de residuos.

El análisis de las preguntas abiertas permitió establecer que las principales oportunidades de mejora se concentran en ampliar la base de materiales reconocidos, optimizar la velocidad y la precisión del escáner, fortalecer algunos componentes del diseño visual e incorporar contenidos complementarios. Estas observaciones ofrecen una orientación concreta para futuras versiones y muestran que los participantes reconocen un potencial de crecimiento en la aplicación.

Los resultados de uso deben interpretarse como percepciones posteriores a la interacción con EcoScan, debido a que la evaluación no incluyó una medición previa, un grupo de comparación ni seguimiento de las prácticas de reciclaje. Por ello, permiten concluir que existe aceptación, utilidad y fortalecimiento percibido de los conocimientos, pero no atribuir un cambio causal exclusivamente al uso de la aplicación. A esta limitación se suman el carácter contextual del diagnóstico y la distribución desigual de imágenes entre las doce clases del modelo. Dentro de este alcance, EcoScan se consolida como una solución tecnológica funcional y con potencial educativo, capaz de apoyar la identificación de materiales reciclables y de promover decisiones más informadas sobre su aprovechamiento.

11. Trabajos futuros

La evolución de EcoScan puede orientarse, en primer lugar, al fortalecimiento del conjunto de datos empleado para el reconocimiento. La incorporación de un mayor número de imágenes por categoría permitiría reducir el desequilibrio identificado, especialmente en la clase PVC, y representar con mayor amplitud las variaciones de iluminación, perspectiva, tamaño, color, fondo y estado físico de los residuos. Este proceso también podría incluir nuevas categorías que no forman parte de las doce clases actuales, como residuos electrónicos, textiles, orgánicos y materiales de manejo especial.

Una segunda línea corresponde a la evaluación experimental del modelo con un conjunto de prueba independiente de los datos utilizados durante el entrenamiento y la validación. El análisis conjunto de Accuracy, Precision, Recall, F1-score, Log Loss y matriz de confusión permitiría establecer el desempeño global y por clase, identificar los materiales que presentan mayores dificultades de reconocimiento y examinar la existencia de posibles señales de

sobreajuste. La comparación entre versiones del modelo ofrecería, además, una base objetiva para seleccionar futuras arquitecturas o estrategias de ajuste.

En el componente de software, las siguientes versiones pueden ampliar las pruebas funcionales en diferentes dispositivos Android, tamaños de pantalla y versiones del sistema operativo. La verificación de los permisos de cámara, la navegación, la inferencia local, el consumo de memoria, el tiempo de respuesta y la integración con Google Maps permitiría caracterizar con mayor precisión el funcionamiento de la aplicación en condiciones diversas. La documentación técnica y el control de versiones del código y de los modelos favorecerían la trazabilidad de los cambios y la reproducibilidad del desarrollo.

La validación con usuarios constituye otra línea de continuidad. Un estudio con participantes definidos, instrumentos previamente establecidos y criterios de accesibilidad permitiría valorar la comprensión de los contenidos, la facilidad de navegación y la interacción con el reconocimiento de materiales. Asimismo, un diseño de evaluación que compare conocimientos y prácticas antes y después del uso de EcoScan permitiría determinar si la aplicación produce cambios atribuibles a su utilización, diferenciando estos resultados de la simple disponibilidad de cuestionarios o encuestas dentro del producto.

Desde el componente educativo, EcoScan puede incorporar recursos complementarios como videos breves, infografías, animaciones, retos y mecanismos de retroalimentación progresiva. Estas funcionalidades podrían adaptarse a los errores más frecuentes identificados durante la clasificación y vincularse con rutas de aprendizaje por tipo de material. Su inclusión requeriría una evaluación pedagógica que permitiera establecer su pertinencia y su contribución efectiva al aprendizaje autónomo.

Por último, el módulo de geolocalización puede evolucionar hacia una cobertura más amplia y una caracterización actualizada de los centros de acopio. La incorporación de horarios de atención, materiales recibidos, condiciones de entrega, datos de contacto y rutas de acceso permitiría ofrecer información operativa más completa. Con estas ampliaciones, EcoScan podría avanzar desde un prototipo funcional de reconocimiento y consulta hacia una herramienta integral de apoyo a la clasificación, la educación ambiental y la disposición responsable de residuos.

12. Referencias

Android Developers. (2025). *Application fundamentals*.

<https://developer.android.com/guide/components/fundamentals>

Android Developers. (2026). *Jetpack Compose UI app development toolkit*.

<https://developer.android.com/compose>

Bunge, M. (2004). *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía*. Siglo XXI Editores.

Challa, A. (s. f.). *Labeled image dataset for multi-class waste material classification* [Conjunto de datos]. Kaggle.

<https://www.kaggle.com/datasets/adithyachalla/waste-classification>

de Wildt, K. K., & Meijers, M. H. C. (2023). Time spent on separating waste is never wasted: Fostering people's recycling behavior through the use of a mobile application. *Computers in Human Behavior*, 139, artículo 107541.

<https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107541>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2025). *Cuenta Ambiental y Económica de Flujos de Materiales de Residuos Sólidos (CAEFM-RS), 2022–2023p: Boletín técnico*.

<https://www.dane.gov.co/files/operaciones/CAEFM-RS/bol-CAEFMRS-2023pr.pdf>

Fang, B., Yu, J., Chen, Z., Osman, A. I., Farghali, M., Ihara, I., Hamza, E. H., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2023). Artificial intelligence for waste management in smart cities: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 1959–1989.

<https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3>

González Pascuas, I. D. (2021). *Aplicación móvil para apoyar la enseñanza sobre el reciclaje en Bogotá* [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional Universidad Distrital.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28129/GonzalezPascuasIvanDanielo2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hallrod. (s. f.). *Plastic classification dataset* [Conjunto de datos]. Kaggle.

<https://www.kaggle.com/datasets/hallrod/plastic-classification-dataset>

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. En *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 770–778). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

Iparraguirre-Villanueva, O., Tuesta-Pereda, L., Tapia-Chávez, E., & Cabanillas-Carbonell, M. (2023). Improving environmental sustainability: A geolocation-based mobile application to optimize the recycling process. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 17(23), 32–48. <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i23.44417>

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

Kunwar, S. (2023). MWaste: An app that uses deep learning to manage household waste. *Clean Technologies and Recycling*, 3(3), 119–133. <https://doi.org/10.3934/ctr.2023008>

Labrador Acosta, L. M. (2018). *Plan de negocio para el desarrollo de una aplicación móvil dirigida a las empresas recolectoras de reciclaje* [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/34426d11-ceff-46d3-8fa5-07c99d2b3bcb>

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

Naciones Unidas. (s. f.-a). *Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns*. <https://sdgs.un.org/goals/goal12>

Naciones Unidas. (s. f.-b). *SDG indicators metadata repository: Goal 11, target 11.6*. <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/?Goal=11>

PyTorch. (s. f.). *Dropout*. PyTorch Documentation. Recuperado el 2 de agosto de 2026, de <https://docs.pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.Dropout.html>

PyTorch. (2026a). *ExecuTorch*. <https://pytorch.org/executorch/>

PyTorch. (2026b). *PyTorch documentation*.
<https://docs.pytorch.org/docs/stable/index.html>

Rivera Velandia, D. M., Ricardo Lara, J. A., Neme Prada, D., & Romero Florez, I. R. (2021). *Aplicación móvil para Android para formar sobre el manejo, separación, transporte y disposición de materiales reciclables e integrar los actores principales en el proceso de reciclaje en la ciudad de Bogotá* [Trabajo de grado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Institucional Universidad Antonio Nariño. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5756>

Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408.
<https://doi.org/10.1037/h0042519>

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533–536.
<https://doi.org/10.1038/323533a0>

Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4.^a ed.). Pearson.

Sebesta, R. W. (2019). *Concepts of programming languages* (12.^a ed.). Pearson.

Shan, X., Ang, W. L., & Yang, E.-H. (2021). Mobile app-aided risks, attitudes, norms, abilities and self-regulation (RANAS) approach for recycling behavioral change in Singapore. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, artículo 105049.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105049>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2025). *Informe sectorial de la actividad de aprovechamiento 2024*.
<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/2025-12/Informe-sectorial-de-la-actividad-de-aprovechamiento-2024.pdf>

Szeliski, R. (2022). *Computer vision: Algorithms and applications* (2.^a ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9>

13. Anexos

Anexo A. Base de datos de los resultados de valoración de la aplicación EcoScan

Archivo en formato Excel que contiene las respuestas obtenidas mediante el cuestionario aplicado para evaluar la percepción de los usuarios sobre el funcionamiento, la utilidad y el impacto de EcoScan como herramienta de apoyo para la clasificación de materiales reciclables.

Disponible en: https://drive.google.com/drive/folders/1GhBaJmY0aDrrlIeX4_-21wp025EMwAYQ

Anexo B. Video demostrativo del funcionamiento y la navegabilidad de EcoScan

Material audiovisual que presenta el funcionamiento general de la aplicación, la navegación entre sus diferentes interfaces y la interacción con sus principales funcionalidades.

Disponible en:

<https://drive.google.com/drive/folders/1T7qNdq3N42SwGINWgABcTWmxob0jm9Ci>