



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

Título: MODELO DE DETECCIÓN DE PILAS Y BATERÍAS COMO
RESIDUOS PELIGROSOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

Modalidad: Tesis

Tema propuesto por:

Tolaba Daniel Tomás Simeón

Tutor: Lic. Rodriguez Bilbao Erika Patricia

Docente de la materia: Patricia Elizabeth Romero Rodríguez

Gestión I - 2025
Cochabamba - Bolivia

Contenido

1. INTRODUCCIÓN
2. ANTECEDENTES
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
 - 3.1 Definición del Problema
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO
 - 4.1 Objetivo General
 - 4.2 Objetivos Específicos
5. JUSTIFICACIÓN
6. ALCANCE Y LÍMITES
7. DISEÑO METODOLÓGICO
8. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un modelo de detección automatizada de pilas y baterías como residuos peligrosos utilizando técnicas avanzadas de visión artificial e inteligencia artificial, específicamente mediante redes neuronales convolucionales especializadas en detección de objetos.

Las redes neuronales convolucionales para detección de objetos representan una de las tecnologías más efectivas en el campo de la visión artificial moderna. Estas arquitecturas procesan imágenes completas de manera integral, identificando y localizando múltiples objetos simultáneamente mediante la predicción de cajas delimitadoras y clasificación de categorías. Su capacidad para detectar objetos en entornos complejos y visualmente desordenados las convierte en herramientas ideales para aplicaciones de clasificación automatizada de residuos, donde la precisión y robustez son fundamentales.

La problemática central abordada es la presencia de residuos peligrosos como pilas y baterías mezclados con residuos comunes en Cochabamba, debido a sistemas deficientes de clasificación que no logran identificarlos adecuadamente.

En el contexto actual de Cochabamba, la crisis de gestión de residuos sólidos que se agudizó durante 2024-2025 ha evidenciado graves deficiencias estructurales. La ausencia de una planta industrializadora de basura y la falta de sistemas adecuados de clasificación han generado una emergencia sanitaria y ambiental sin precedentes en la región. Esta situación ha visibilizado particularmente el problema de los residuos peligrosos domésticos, como pilas y baterías, que sin un tratamiento diferenciado terminan en vertederos convencionales donde liberan sustancias tóxicas que contaminan el suelo y las fuentes de agua. Según estimaciones recientes, menos del 5% de las pilas y baterías desechadas son tratadas adecuadamente, mientras que el resto contamina el medio ambiente con metales pesados como mercurio, cadmio, plomo y níquel.

El proyecto surge como respuesta directa a esta problemática local, proponiendo la implementación de un modelo de inteligencia artificial capaz de identificar diferentes tipos de pilas y baterías (AA, AAA, botón, litio, etc.) en entornos de residuos mezclados, incluso cuando estén parcialmente visibles o deteriorados. Esta tecnología representa un primer paso hacia la modernización de los sistemas de gestión de residuos en Cochabamba, y podría posteriormente integrarse en las futuras plantas de clasificación para mejorar la detección y separación de estos elementos nocivos.

2. ANTECEDENTES

En los últimos años, diversas iniciativas han abordado la problemática de los residuos peligrosos mediante tecnologías de detección avanzadas:

En Estados Unidos, la empresa Recycleye desarrolló en 2021 un sistema de visión por computadora que utiliza redes neuronales convolucionales para identificar elementos peligrosos en cintas transportadoras de residuos, incluyendo pilas y baterías. El sistema ha sido implementado en varias plantas de reciclaje, reduciendo la contaminación por metales pesados.

En Bolivia, existen algunas iniciativas de recolección de pilas como los puntos de acopio establecidos por la Fundación Valles en Cochabamba, pero estas operan a pequeña escala y dependen de la separación manual. Hasta la fecha, no se han implementado tecnologías de detección automatizada para identificar pilas y baterías en el flujo de residuos sólidos.

Estos antecedentes demuestran que la aplicación de tecnologías de visión artificial para la detección de residuos peligrosos como pilas y baterías es factible y puede generar resultados positivos significativos, pero aún representa un área de oportunidad en el contexto boliviano.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La gestión inadecuada de residuos peligrosos, específicamente pilas y baterías, en Cochabamba representa un grave problema ambiental y de salud pública durante el período 2024-2025. Actualmente, la mayoría de estos elementos son desechados junto con residuos comunes debido a la falta de sistemas eficientes para su identificación y separación. Se estima que cada habitante de zonas urbanas desecha anualmente alrededor de 10 pilas, lo que implica miles de toneladas de residuos tóxicos que terminan contaminando suelos y aguas.

Causas del problema

Sistemas deficientes de detección de residuos peligrosos.-

Falta de tecnología especializada: Los métodos actuales de clasificación son principalmente manuales y no pueden detectar con precisión pilas y baterías cuando están mezcladas con otros residuos, especialmente cuando están parcialmente ocultas o deterioradas.

Escasa inversión en investigación: El desarrollo de tecnologías para la detección automatizada de residuos peligrosos no recibe financiamiento suficiente, limitando la implementación de soluciones basadas en inteligencia artificial.

Baja concientización ciudadana.-

Desconocimiento sobre el impacto ambiental: Gran parte de la población desconoce los efectos nocivos de desechar pilas y baterías junto con residuos comunes.

Falta de incentivos para la disposición adecuada: No existen mecanismos que motiven a los ciudadanos a separar y depositar correctamente las pilas y baterías en puntos específicos de recolección.

Políticas públicas inadecuadas.-

Ausencia de normativas específicas: No existen regulaciones locales que exijan la separación y tratamiento específico de pilas y baterías.

Infraestructura limitada: Hay pocos puntos de recolección específicos para pilas y baterías, dificultando su disposición adecuada por parte de la ciudadanía.

Efectos del Problema

Contaminación ambiental grave.-

Contaminación de suelos y aguas subterráneas: Las sustancias tóxicas liberadas por pilas y baterías (mercurio, cadmio, plomo) se filtran en el suelo y contaminan las napas freáticas.

Bioacumulación en cadenas tróficas: Los metales pesados se incorporan a las cadenas alimentarias, afectando progresivamente a diversos organismos.

Problemas de salud pública.-

Exposición a sustancias tóxicas: Las comunidades cercanas a vertederos donde se depositan pilas están expuestas a sustancias cancerígenas y neurotóxicas.

Aumento de enfermedades crónicas: Se ha documentado mayor incidencia de enfermedades renales y neurológicas en poblaciones expuestas a metales pesados.

Impacto económico.-

Costos de remediación ambiental: La descontaminación de suelos y aguas afectadas por metales pesados requiere inversiones millonarias.

Costos sanitarios: El tratamiento de enfermedades relacionadas con la exposición a metales pesados representa una carga significativa para el sistema de salud.

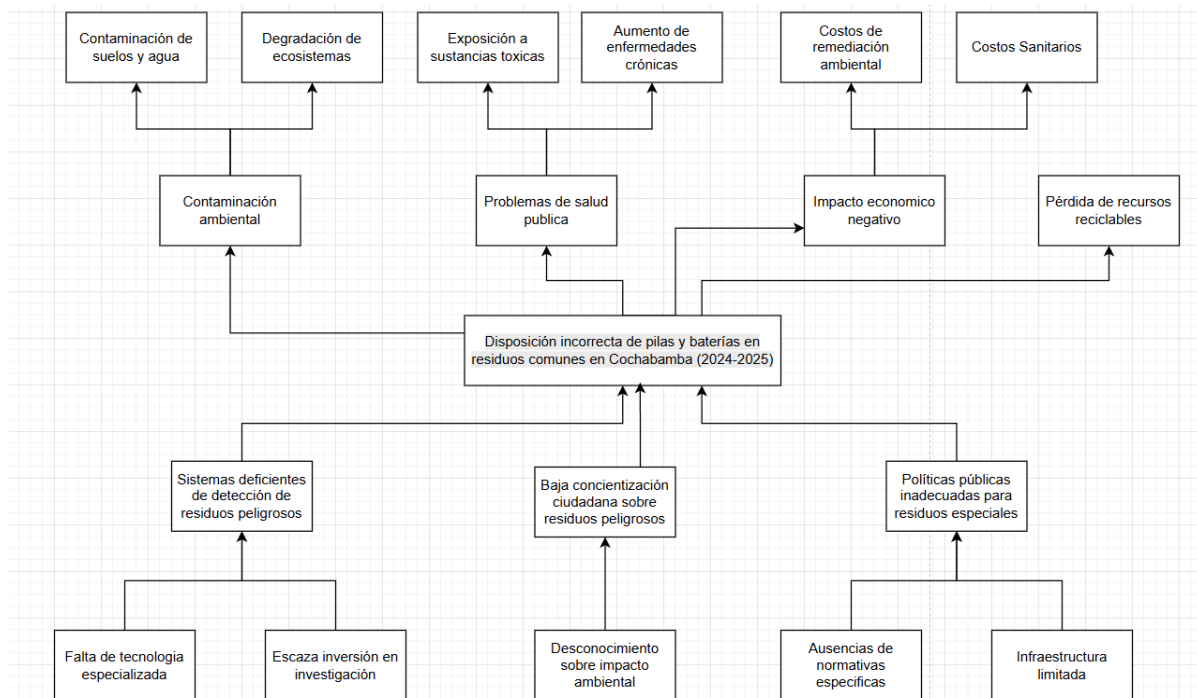


Figura 1. Árbol de problemas que muestra las causas, el problema central y los efectos de la gestión inadecuada de pilas y baterías en Cochabamba.

Pregunta de investigación:

¿En qué medida un modelo de inteligencia artificial puede mejorar la detección y clasificación de pilas y baterías en residuos mixtos comparado con los métodos manuales actuales?

Hipótesis:

El modelo de inteligencia artificial mejorará significativamente la detección y clasificación de pilas y baterías en residuos mixtos, alcanzando una precisión superior al 85% y reduciendo los falsos negativos en al menos un 60% comparado con los métodos manuales actuales.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de detección automatizada de pilas y baterías en residuos sólidos urbanos mediante técnicas de visión artificial y aprendizaje profundo, que permita identificar y clasificar estos residuos peligrosos para facilitar su separación y tratamiento adecuado en la gestión de desechos de la ciudad de Cochabamba.

4.2 Objetivos Específicos

1. Realizar una revisión de la información sobre técnicas de visión artificial para la clasificación.
2. Diseñar la arquitectura del modelo de reconocimiento basado en aprendizaje profundo.
3. Implementar el modelo de detección basado en técnicas de aprendizaje profundo.
4. Evaluar el rendimiento del modelo mediante métricas.

5. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto se justifica desde diversas perspectivas:

Metodológico: El proyecto propone la aplicación de técnicas avanzadas de visión artificial e inteligencia artificial, específicamente redes neuronales convolucionales para detección de objetos, adaptándolas al contexto específico de la identificación de residuos peligrosos. Esta metodología implica el desarrollo de protocolos específicos para la recolección y etiquetado de datos, evaluación comparativa de diferentes arquitecturas de redes neuronales, optimización de hiperparámetros y evaluación del desempeño que podrían servir como referencia para futuros proyectos de detección automatizada de otros tipos de residuos. La flexibilidad metodológica permite explorar y comparar diferentes enfoques arquitectónicos para seleccionar la solución más efectiva, estableciendo un protocolo de evaluación riguroso que podría ser replicable y escalable para abordar otros desafíos en la gestión de

residuos, estableciendo un precedente para la investigación aplicada en el campo de la inteligencia artificial en Bolivia.

Teórico: La investigación contribuirá al conocimiento en el campo de la aplicación de inteligencia artificial para la gestión ambiental, explorando las capacidades y limitaciones de diferentes arquitecturas de redes neuronales convolucionales en la identificación de objetos pequeños y de formas variadas como las pilas y baterías en entornos complejos y visualmente desordenados. Los resultados obtenidos podrían generar nuevos conocimientos sobre la efectividad comparativa de diferentes arquitecturas y configuraciones para la detección de objetos específicos, expandiendo así el conocimiento teórico sobre visión artificial aplicada a problemas ambientales y proporcionando evidencia empírica sobre la viabilidad de estas tecnologías en contextos de países en desarrollo. El estudio aportará al campo académico mediante la documentación sistemática de metodologías de entrenamiento, técnicas de optimización y estrategias de evaluación específicamente adaptadas para la detección de residuos peligrosos.

Social: El desarrollo de este proyecto tiene un impacto social significativo, ya que aborda directamente un problema de salud pública y bienestar comunitario. La contaminación por pilas y baterías afecta principalmente a comunidades vulnerables que habitan cerca de vertederos y fuentes de agua contaminadas. La implementación de un sistema de detección eficiente contribuiría a reducir la exposición de estas poblaciones a sustancias tóxicas, mejorando su calidad de vida y reduciendo la incidencia de enfermedades asociadas a metales pesados. Además, el proyecto fomenta la concientización sobre la importancia de la disposición adecuada de residuos peligrosos, potencialmente generando cambios positivos en comportamientos ciudadanos relacionados con el manejo de desechos. Esta tecnología también podría generar nuevas oportunidades laborales en el sector de gestión de residuos, combinando sostenibilidad ambiental con desarrollo económico de Cochabamba, estableciendo las bases tecnológicas para la modernización del sistema de gestión de residuos en la región.

6. ALCANCE Y LÍMITES

Este proyecto se enfocará en la creación de un modelo de inteligencia artificial basado en redes neuronales convolucionales para detección de objetos. Su función principal será detectar y clasificar los tipos más comunes de pilas y baterías que se usan en los hogares. Los tipos específicos que cubrirá el proyecto son:

Pilas alcalinas en tamaños AA, AAA, C, D y de 9V.

Pilas de botón y de tipo moneda en diferentes dimensiones.

Baterías de litio utilizadas en dispositivos electrónicos.

Para entrenar el modelo, se elaborará una base de datos con imágenes de pilas y baterías en diversas condiciones:

Estado: Nuevas, usadas, oxidadas, parcialmente visibles, dañadas o deformadas.

Entorno: Aisladas (la pila sola), mezcladas con residuos orgánicos, mezcladas con residuos plásticos, mezcladas con otros tipos de residuos, y parcialmente cubiertas por otros materiales.

El desarrollo incluirá la evaluación comparativa de diferentes arquitecturas de redes neuronales convolucionales (incluyendo YOLO, R-CNN, SSD, entre otras) para seleccionar la más apropiada según criterios de precisión, velocidad de procesamiento y robustez en la detección de pilas y baterías.

El entrenamiento y la optimización del modelo se realizarán buscando la mayor exactitud posible en la detección. Se pondrá especial atención en reducir al mínimo los errores de "falso negativo", es decir, las pilas que no sean detectadas.

El rendimiento del modelo se evaluará exhaustivamente utilizando indicadores estándar de detección de objetos (precisión, recall, F1-score, mAP). Esto incluirá pruebas con imágenes que imiten situaciones reales de clasificación de residuos.

Finalmente, se elaborará una documentación detallada de todo el proceso de desarrollo, la comparación de arquitecturas evaluadas, la estructura final del modelo seleccionado y sugerencias para su implementación práctica.

Límites

El proyecto se enfocará únicamente en el desarrollo del modelo de detección, no en su implementación en un sistema físico de clasificación de residuos.

No se incluirá la detección de baterías industriales, baterías de vehículos o pilas recargables especiales que no son comunes en el flujo de residuos domésticos.

No se desarrollará una aplicación o interfaz para usuarios finales, sino que se entregará el modelo entrenado con su documentación técnica correspondiente.

Las pruebas del modelo se realizarán con imágenes estáticas y en entornos controlados, no en tiempo real o en condiciones dinámicas de cintas transportadoras.

El proyecto no abordará aspectos logísticos, administrativos o regulatorios relacionados con la gestión posterior de las pilas y baterías una vez detectadas.

La evaluación se limitará a la comparación con métodos manuales de detección, no se incluirán comparaciones con otros sistemas automatizados comerciales existentes.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de este proyecto, se adoptará una metodología estructurada en fases secuenciales, combinando elementos de metodologías ágiles con los procesos específicos requeridos para el desarrollo de modelos de inteligencia artificial y la investigación científica necesaria para la modalidad de tesis.

El proyecto se desarrollará a través de cinco fases principales bien definidas. La primera fase, que abarcará tres semanas, se centrará en la investigación exhaustiva y planificación del proyecto. Durante este período se realizará una revisión exhaustiva de literatura científica sobre técnicas de visión artificial aplicadas a la detección de objetos, con especial énfasis en redes neuronales convolucionales y sus aplicaciones en identificación de residuos específicos. También se recopilará información detallada sobre las características físicas de diferentes tipos de pilas y baterías, analizando trabajos previos sobre detección de objetos en entornos desordenados y metodologías de entrenamiento utilizadas en problemas similares. Esta fase incluirá la identificación de requisitos técnicos, la definición de métricas de éxito, la evaluación comparativa de diferentes arquitecturas de redes neuronales (incluyendo YOLO, R-CNN, SSD, entre otras) y la selección de herramientas de desarrollo como Python, OpenCV, PyTorch o TensorFlow. Se establecerán los criterios de selección para la arquitectura final del modelo basados en precisión, velocidad de procesamiento y capacidad de generalización.

La segunda fase, de cuatro semanas, se dedicará a la recopilación y preparación sistemática de datos. En esta etapa se realizará la recolección sistemática de imágenes de pilas y baterías en diferentes condiciones y entornos, incluyendo la captura de imágenes controladas de pilas mezcladas con otros residuos en condiciones que simulen escenarios reales de clasificación. Se procederá con el etiquetado manual de las imágenes, definiendo las cajas delimitadoras (bounding boxes) y categorías correspondientes utilizando herramientas especializadas como LabelImg o VGG Image Annotator. El conjunto de datos se dividirá siguiendo la distribución estándar: 70% para entrenamiento, 15% para validación y 15% para prueba. Además, se aplicarán técnicas de aumento de datos (data augmentation) mediante transformaciones como rotación, zoom, cambios de iluminación, ruido y distorsiones para mejorar la robustez del modelo y su capacidad de generalización ante diferentes condiciones de iluminación y orientación.

La tercera fase, que se extenderá por cinco semanas, abordará el diseño, implementación y entrenamiento del modelo de detección. Se realizará la selección definitiva de la arquitectura de red neuronal convolucional más apropiada basada en la investigación previa y las características específicas del problema. Se implementará la arquitectura seleccionada adaptada específicamente para la detección de pilas y baterías, configurando los hiperparámetros iniciales y las capas de procesamiento. El entrenamiento comenzará utilizando transfer learning con pesos pre-entrenados en datasets grandes como COCO o ImageNet, monitoreando continuamente las métricas de entrenamiento y validación durante el proceso. Se realizarán ajustes iterativos de hiperparámetros basados en el rendimiento observado en el conjunto de validación, incluyendo optimización de la tasa de aprendizaje, batch size, número de épocas y técnicas de regularización. Esta fase culminará con el entrenamiento final del modelo optimizado y la validación de su convergencia.

Durante la cuarta fase, de tres semanas, Durante la cuarta fase se llevará a cabo la evaluación y validación exhaustiva del modelo desarrollado. Esto incluirá el cálculo detallado de métricas estándar de detección de objetos como precisión (precision), recall, F1-score, mAP (mean Average Precision) y IoU (Intersection over Union) utilizando el conjunto de datos de prueba. Se realizará un análisis minucioso de falsos positivos y falsos negativos, identificando patrones en los errores del modelo y las condiciones que presentan mayor dificultad para la detección. Se ejecutará una evaluación comparativa con métodos

tradicionales de detección manual para validar la mejora propuesta en la hipótesis. En esta fase también se realizarán pruebas de robustez del modelo ante diferentes condiciones de iluminación, ángulos de captura y niveles de oclusión, además de identificar las limitaciones y casos de fallo típicos del modelo desarrollado.

La fase final se dedicará a la documentación completa y presentación de resultados. Se elaborará una documentación técnica detallada de la arquitectura seleccionada, hiperparámetros utilizados, proceso de entrenamiento completo y configuraciones óptimas encontradas. Se redactará la memoria de tesis con todos los componentes académicos requeridos, incluyendo el análisis estadístico de resultados, comparación con trabajos relacionados y discusión de las implicaciones de los hallazgos. Se desarrollarán recomendaciones específicas para la implementación práctica del modelo en sistemas reales de gestión de residuos y se preparará el material necesario para la presentación final y defensa de tesis.

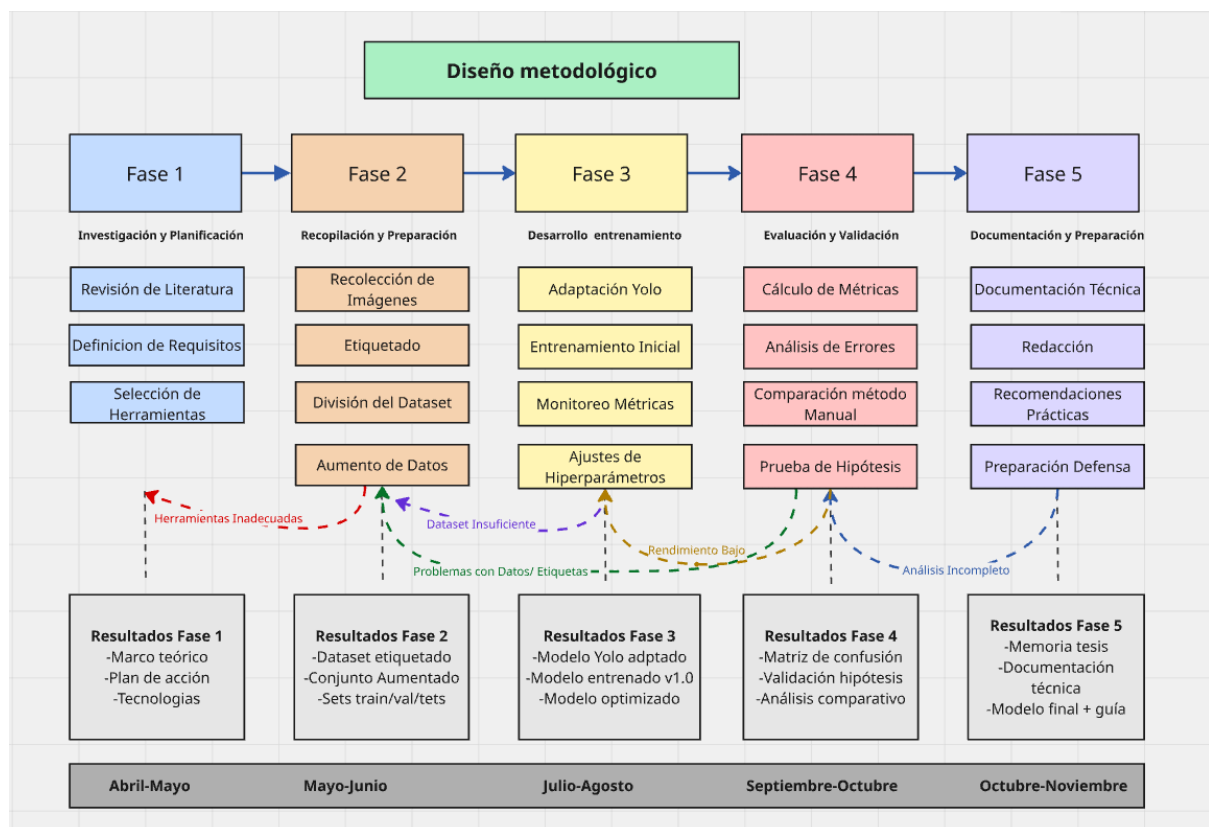


Figura 2. Diseño metodológico.

Tabla 0.1: Cronograma de actividades

Nro. Objetivo Específico	Actividades	Fecha inicio	Fecha Fin	Recursos Necesarios	Resultados a obtener
1	Revisión exhaustiva de literatura	28 de Abril/2025	15 de Mayo/2025	Bases de datos académicas, literatura especializada	Estado del arte documentado
1	Análisis de arquitecturas CNN	16 de Mayo/2025	30 de Mayo/2025	Papers científicos, documentación técnica	Comparativo de arquitecturas
1	Selección de metodología	1 de Jun/2025	15 de Jun/2025	Herramientas de análisis	Marco teórico establecido
2	Recopilación de imágenes de pilas	16 de Jun/2025	25 de Jun/2025	Cámaras, pilas diversas, iluminación	Base de datos de imágenes inicial

2	Recopilación en residuos mixtos	1 de Jul/2025	15 de Jul/2025	Simulación de residuos, cámaras	Imágenes en contexto real
2	Etiquetado y anotación	16 de Jul/2025	31 de Jul/2025	LabelImg, VGG Image Annotator	Dataset etiquetado
2	Selección de arquitectura final	1 de Ago/2025	10 de Ago/2025	Análisis comparativo	Arquitectura definida
3	Configuración del entorno	11 de Ago/2025	20 de Ago/2025	PyTorch/Tensor Flow, CUDA, GPU	Entorno de desarrollo listo
3	Implementación del modelo	21 de Ago/2025	10 de Sep/2025	Framework seleccionado, GPU	Modelo base implementado
3	Entrenamiento inicial	11 de Sep/2025	25 de Sep/2025	GPU, dataset de entrenamiento	Modelo entrenado v1.0
3	Optimización de hiperparámetros	26 de Sep/2025	10 de Oct/2025	GPU, datos de validación	Modelo optimizado
4	Evaluación con conjunto de prueba	11 de Oct/2025	20 de Oct/2025	Métricas de evaluación	Resultados de precisión
4	Comparación con método manual	21 de Oct/2025	31 de Oct/2025	Muestra de control	Análisis comparativo

4	Análisis de resultados	1 de Nov/2025	10 de Nov/2025	Herramientas estadísticas	Validación de hipótesis
-	Redacción de documentación técnica	11 de Nov/2025	25 de Nov/2025	Herramientas de documentación	Documentación completa
-	Preparación de defensa	26 de Nov/2025	15 de Dic/2025	Presentaciones, visualizaciones	Materiales para defensa

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Greenuso. (n.d.). *La inteligencia artificial revoluciona el tratamiento de residuos*. Blog Greenuso. Recuperado de <https://blog.greenuso.com/es/inteligencia-artificial-residuos/>
2. Martín Moreno, M. (2021). *Aplicación de tecnologías avanzadas en la gestión de residuos* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. Recuperado de https://oa.upm.es/72295/1/TFG_MARINA_MARTIN_MORENO.pdf
3. Recycleye. (n.d.). *Recycleye Stories: Using AI and robotics for waste management*. Recuperado de <https://recycleye.com/recycleye-stories/>
4. [Mejora la gestión de residuos con YOLO11 AI | Ultralytics](#)
5. Universidad EAN. (n.d.). *Inteligencia artificial en la gestión de residuos sólidos urbanos*. Recuperado de <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/5f2270b4-f10d-421d-bd36-2d602b02176c/content>