



Sistema de identificación de residuos sólidos utilizando un sistema asistente para la clasificación de basuras

**Miguel Ángel Flórez Bohórquez¹, Juan Carlos Peña Ríos²
y Jorge Eliecer Gómez Gómez²**

RESUMEN

La investigación se enfocó en disminuir la contaminación ambiental a través de un asistente para la clasificación de residuos sólidos. Con esto se plantearon tres objetivos específicos: analizar las tecnologías a usar, evaluar las distintas alternativas de diseño y desarrollar un sistema asistente de clasificación usando aprendizaje computacional. La metodología se dividió en tres etapas, la creación del prototipo, el diseño del sistema de detección de residuos y el desarrollo del software. La primera etapa se centró en el diseño del hardware y software inicial. En la segunda, se implementaron modelos para la detección y clasificación de residuos. En la tercera etapa, se desarrolló una interfaz para gestionar el sistema. Los resultados mostraron que las tecnologías como la visión artificial son efectivas para la clasificación de residuos. Por otro lado, se evaluaron distintas alternativas de diseño, dando prioridad a precisión y rapidez. Finalmente, se construyó un prototipo

funcional. Esta investigación destaca la importancia de las nuevas tecnologías y la educación ambiental para la gestión de residuos.

Los hallazgos sugieren que la implantación de este tipo de sistemas puede ayudar a reducir los residuos en vertederos y océanos promoviendo una cultura de reciclaje. Para concluir, el sistema auxiliar desarrollado demostró ser una herramienta útil para la reducción de la contaminación ambiental. La unión con las tecnologías avanzadas es un camino necesario para fomentar las prácticas sostenibles y así mismo proteger el medio ambiente. Se recomienda a los futuros investigadores continuar con proyectos similares y programas educativos para aumentar el impacto positivo

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje Automático, Reciclaje, Redes Neuronales, Clasificación de Residuos.

ABSTRACT

The research focused on reducing environmental pollution through an assistant for the classification of solid waste. With this, three specific objectives were raised: analyze the technologies to be used, evaluate the different design alternatives and develop an assistant classification system using computational learning. The methodology was divided into three stages, the creation of the prototype, the design of the waste detection system and the development of the software. The first stage focused on the design of the initial hardware and software. In the second, models were implemented for the detection and classification of waste. In the third stage, an interface was developed to manage the system. The results showed that technologies such as computer vision are effective for waste classification. On the other hand, different design alternatives were evaluated, giving

priority to precision and speed. Finally, a functional prototype was built. This research highlights the importance of new technologies and environmental education for waste management. The findings suggest that the implementation of this type of systems can help reduce waste in landfills and oceans by promoting a culture of recycling. To conclude, the auxiliary system developed proved to be a useful tool for reducing environmental pollution. The union with advanced technologies is a necessary path to promote sustainable practices and protect the environment. Future researchers are recommended to continue with similar projects and educational programs to increase the positive impact.

KEYWORDS Machine Learning, Recycling, Neural Networks, Waste Classification.

1 Pregrado de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Córdoba. Montería – Colombia.
mflorezbohorquez@correo.unicordoba.edu.co

2 Pregrado de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Córdoba. Montería – Colombia
jpenarios@correo.unicordoba.edu.co

3 Ph. D, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Córdoba. Montería – Colombia. jelienergomez@correo.unicordoba.edu.co

Introducción

En la actualidad, es común oír hablar de la preocupación ambiental, que se refiere a cualquier modificación que provoque un desequilibrio en el medio ambiente, teniendo un impacto negativo en aspectos como el agua, el suelo, el clima, entre otros. Esto se debe a un consumo excesivo de productos de limpieza, alimentos, dispositivos electrónicos y otros artículos de uso personal, lo que produce desechos que suelen contaminar el suelo y los océanos.

La necesidad de una educación ambiental que fomente conocimientos, actitudes, comportamientos y hábitos orientados a cambiar la concepción de que la naturaleza es un elemento pasivo y complaciente se reconoce en la sociedad colombiana actual. El reciclaje es crucial para reducir los desechos, evitar el uso de más materias primas y contribuir a una mejora del entorno. El derecho de todos a disfrutar de un entorno saludable está establecido en el Artículo 79 de la Constitución Política de Colombia de 1991 [1].

La sostenibilidad del territorio se ve afectada negativamente por los efectos ambientales negativos, que se ven agravados por un crecimiento urbano no planificado debido al aumento de la población en las últimas décadas. Además, en Latinoamérica, no hay planes ni acceso a la recolección de residuos sólidos [2].

Desde hace diez años, se ha estudiado con atención el aumento del consumo y la contaminación porque pueden poner en peligro la sostenibilidad ambiental debido al aumento de la población mundial y los efectos del cambio climático. Uno de los desafíos crecientes en la gestión de los residuos sólidos es el ordenamiento e incidencia en la planificación de los residuos sólidos domiciliarios [3].

La gestión de los residuos sólidos es el proceso de atención y planificación de los residuos sólidos utilizando una variedad de técnicas y tecnologías desde su producción hasta su disposición final para lograr objetivos de desarrollo sostenible, como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la reducción, tratamiento y/o aprovechamiento de los residuos sólidos [4]. Así mismo, la gestión de recursos se enfoca en la reducción de los desechos sólidos y se considera la solución principal hasta el punto de evitar su producción. Sin embargo, el reciclaje, reutilización y recuperación enfocados en una eliminación menos tradicional como la incorporación de la conversión de energía para la generación de este, termina siendo aún más eficiente con respecto a los modelos convencionales en términos ambientales y económicos [5].

En los últimos años, han surgido nuevas tecnologías para la gestión eficiente de los residuos sólidos [6]. La primera tecnología utilizada fue el relleno sanitario, que surgió en la primera parte del siglo XX y se define como una tecnología que confina el desecho en un área determinada para compactarlo y reducir su volumen.

Sin embargo, los procesos se han mejorado en las últimas décadas y la introducción de tecnologías aún más innovadoras, [7] nuevas técnicas de relleno sanitario y conceptos de contenedores de basura inteligentes

ha revolucionado la gestión de residuos. La idea de extraer energía de la basura desechada ha solucionado parte del problema de la falta de energía [8]. Las biorrefinerías y el reprocesamiento biológico han cambiado la forma en que se gestionan los residuos, lo que sugiere que existen nuevas posibilidades para mejorar la eficiencia en la gestión de los residuos sólidos.

Las máquinas inteligentes automatizadas están reemplazando gradualmente a los métodos tradicionales de clasificación de desechos, donde estas máquinas tienen la capacidad de realizar una variedad de tareas y clasificar de manera efectiva toneladas de desechos sólidos. Estas máquinas impulsadas por IA son muy autónomas en comparación con sus programas de visión por computadora y pueden distinguir fácilmente entre una variedad de categorías de desechos sólidos [9]. Además, Podría mejorar el ciclo de recolección de residuos sólidos utilizando sistemas de información geográfica, lo que permitiría una mejor gestión de datos [10].

A través de la protección del medio ambiente, la protección de la salud pública y la reducción de la pobreza, la implementación de un sistema óptimo puede contribuir a múltiples objetivos de desarrollo sostenible, incluida la creación de ciudades inteligentes sostenibles. que ayuda a diferentes enfoques adaptados a los grupos de interés, recopilando su información específica y mejorando significativamente la eficiencia, la precisión y el desempeño de la planificación ambiental y la gestión urbana [11].

Metodología

Los siguientes materiales y procedimientos se necesitaron para crear el software mencionado:

Entorno de Desarrollo de Software: La red neuronal convolucional se implementó utilizando un entorno de desarrollo de software como Python y bibliotecas de aprendizaje automático como Tensor Flow.

Interfaz: Se diseñó una interfaz de usuario donde se pudiera visualizar el resultado de la clasificación del modelo.

Conjunto de Datos: Se requirió un conjunto de datos que contenía imágenes de los 7 tipos de desechos sólidos que usó modelo para el entrenamiento y el testeo del modelo.

Métodos:

La investigación se desarrolló en cinco fases que se describen a continuación:

- Fase de análisis de requerimientos del sistema
- Fase de creación prototipo de dispositivo.
- Fase de diseño.
- Fase de desarrollo.

Fases de la Investigación

Fase I – Análisis de Requerimientos del Sistema

En esta fase se analizaron los requerimientos del sistema de detección de residuos, determinando cuáles eran los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema en primera instancia.

Tabla 1. Requerimientos Funcionales del Sistema

Requerimiento	Descripción del Requerimiento	Prioridad
RF 01	La aplicación debe permitir visualizar mediante un led el punto exacto donde colocar el residuo.	Alta
RF 02	La aplicación debe notificar con la luz verde o roja la detección del residuo Nacional.	Alta
RF 03	La aplicación debe contar con una interfaz rápida y eficiente en la identificación y clasificación de residuos sólidos, para evitar retrasos en el proceso	Alta
RF 04	El dispositivo debe ser capaz de clasificar con precisión los diferentes tipos de residuos sólidos	Alta
RF 05	El dispositivo debe ser capaz de clasificar una amplia gama de residuos sólidos, incluyendo plásticos, vidrios, metales, papel y cartón, entre otros	Media
RF 06	El dispositivo debe ser capaz de procesar los datos de los sensores y ejecutar el modelo de aprendizaje automático lo suficientemente rápido para mantenerse al día con el ritmo de la producción	Alta
RF 07	El dispositivo debe ser confiable y capaz de funcionar de manera constante durante largos períodos de tiempo.	Media

Fuente: autores del proyecto (2024)

Fase II - Creación del Prototipo de dispositivo

Durante esta fase, se investigaron las diversas categorías de puntos ecológicos que están disponibles en la actualidad, así como el diseño de su estructura, los colores y la forma de las tapas, esto con el objetivo de desarrollar un mecanismo que permita el diseño del prototipo de un punto ecológico de manera más sencilla. También se diseñó una interfaz gráfica para el uso de los usuarios finales.



Figura 1. Prototipo Interfaz Gráfica.
Fuente: autores del proyecto (2024)

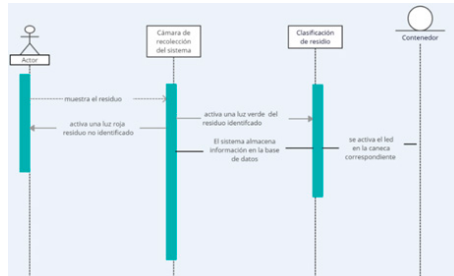


Figura 2. Diagrama de Secuencia.
Fuente: autores del proyecto (2024)

Fase IV - Desarrollo

La recolección y limpieza de datos, la implementación y prueba de un prototipo funcional son parte del desarrollo del sistema asistente de clasificación de basuras. La combinación de hardware y software, así como algoritmos de aprendizaje automático, permite la clasificación eficiente y precisa de desechos sólidos, contribuyendo a la disminución del índice de contaminación.

Un diagrama arquitectónico describe la interacción entre los componentes del sistema, incluidos el hardware y el software. Para comprender cómo se integran las diversas partes del sistema para funcionar como una unidad cohesiva.

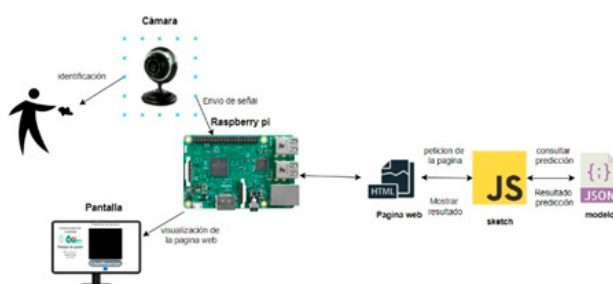


Figura 3. Diseño Arquitectónico.
Fuente: autores del proyecto (2024)

Descripción los pasos necesarios para realizar las funciones del sistema:

- Identificar el residuo utilizando la cámara.
- Envío, Visualización y Petición.
- Envío de datos de la cámara a la Raspberry.
- Visualización en la pantalla.
- Petición de la página web al servidor web.
- Proceso de verificación en el modelo sobre el residuo identificado por la cámara.
- Envío de la respuesta del servidor en formato HTML a la página web.

El conjunto de datos utilizado para crear el sistema asistente de clasificación de basuras es una parte esencial del entrenamiento y la validación del modelo de clasificación. Este conjunto de datos contiene 8329 imágenes de residuos sólidos clasificadas en siete categorías: basureros, cartón, metal, orgánicos, papel, plástico y vidrio.

Tabla 1. Descripción de DataSet.

DataSet	Descripción
Nombre	Dataset Basuras
Propósito	Entrenar un modelo de red neuronal artificial para la clasificación de residuos sólidos.
Contenido	8329 imágenes en formato JPG.
Clases	Basura, Cartón, Metal, Orgánico, Papel, Plástico, Vidrio.
Distribución de Imágenes	Basura: 830 Cartón: 885 Metal: 972 Orgánico: 539 Papel: 1456 Plástico: 1316 Vidrio: 2331
Formato y Resolución	JPG, 200x200 píxeles
Fuente	Bases de datos públicas como TrashNet y Kaggle.
Curación de Datos	Preprocesamiento para eliminar imágenes duplicadas y pixeladas.
Ajustes Realizados	Redimensionado a 256x256 píxeles, conversión a escala de grises.
Limitaciones	Posibles sesgos debido a la procedencia limitada de las imágenes.
Posibles Extensiones	Aumentar el número de imágenes por clase para mejorar la robustez del modelo.

Fuente: autores del proyecto (2024)

Resultados

Raspberry Pi como una plataforma para el aprendizaje automático de algoritmos: reconocimiento de imágenes y datos financieros en streaming. Este documento examina el aspecto teórico del aprendizaje automático, así como ejemplos de aprendizaje automático y una introducción teórica a las redes [13].

La investigación se relaciona con modelos actuales ya que se centra en las librerías de cálculo numérico básicas para crear modelos predictivos, como TensorFlow, una librería de código abierto de alto rendimiento para el cálculo numérico. Se creó para desarrollar modelos de Deep Learning, análisis de datos y a su vez dispositivos como Raspberry pi 3.

El algoritmo utilizado fue CNN, una red neuronal convolucional que se ha posicionado como una de las mejores en visión por computadora debido a su robusta arquitectura. Es una red neuronal muy grande con muchos parámetros.

Una matriz de correlación es una herramienta para comparar los coeficientes de correlación entre diversas clases presentes en un conjunto de datos.

El uso de esta herramienta permite visualizar el grado de correlación entre varias variables. Las variables que tienen altos grados de correlación se pueden encontrar utilizando la matriz de correlación. Además, permi-

Class	Basura	Cartón	Metal	Organico	Papel	Plastico	Vidrio
Basura	112	2	1	1	3	5	2
Cartón	2	127	0	1	2	1	1
Metal	0	1	141	0	0	1	6
Organico	0	1	0	77	0	1	2
Papel	0	0	2	0	218	2	0
Plastico	1	1	1	0	0	191	9
Vidrio	0	0	5	4	0	15	329

Figura 4. Matriz de Confusión.
Fuente: autores del proyecto (2024)

CLASS	ACCURACY
Basura	0.89
Cartón	0.95
Metal	0.95
Organico	0.95
Papel	0.98
Plastico	0.94
Vidrio	0.93

Figura 5. Precisión por Clase.
Fuente: autores del proyecto (2024)

ten disminuir la cantidad de características que podemos tener en un conjunto de datos [14], [15], [16], [17]. La clase de papel tiene la mayor precisión con un 98,6 % (Figura 5) después de procesar la matriz de confusión, lo que demuestra una clara diferencia en esta categoría. La clase Basura tiene la precisión más baja con un 89,6% (Figura 5), lo que indica que será más difícil clasificarla.

Se han encontrado errores de clasificación entre el vidrio y el metal y entre el plástico y el vidrio, lo que indica una similitud en sus características que dificulta el modelo.

En la mayoría de las clases como se muestra en la Figura 5, el modelo clasificador tiene un buen desempeño general.

El sistema asistente de clasificación de basuras ha demostrado ser un proyecto complejo que involucra la recolección, limpieza de datos, la implementación y prueba del prototipo. Según los resultados arrojados por el modelo, aunque el sistema satisface la mayoría de los requerimientos funcionales, hay áreas de mejora en la optimización de la interfaz de usuario y la robustez del modelo en diferentes condiciones.

Conclusiones

Considerando que la preservación del medio ambiente es un desafío, se pueden utilizar varios métodos. La implementación de una estrategia única para abordar los desechos reciclables es uno de ellos. Estos desechos se recolectan con el fin de utilizarlos posteriormente, lo que reduce la cantidad de desechos que acaban en los vertederos, crea nuevas oportunidades laborales y permite su reintegración como materias primas en el sistema de producción.

De esta manera, el objetivo de esta investigación es ayudar a la comunidad estudiantil de la Universidad de Córdoba al promover el cuidado del medio ambiente utilizando tecnologías modernas.

Como resultado, esta propuesta se centra en la creación de tecnologías que mejoren la eficiencia de los procesos de reciclaje y la protección ambiental. No obstante, estos avances no tendrán sentido si no se toman medidas en la fuente de los desechos (los productores). Es esencial adoptar medidas responsables que reduzcan la cantidad de desechos producidos y los clasifiquen adecuadamente para optimizar y simplificar la gestión de desechos y mejorar la capacidad de reciclaje de las instalaciones de tratamiento. Solo de esta manera podremos tener un control sobre el consumo de recursos naturales y, en última instancia, reducir el efecto en el medio ambiente.

En consecuencia, se implementó la creación de un punto ecológico automatizado, para lo cual se llevaron a cabo varios cursos de capacitación con el fin de enseñar al sistema a distinguir entre varios tipos de desechos. Posteriormente, se realizaron varias pruebas de verificación para verificar que el sistema era capaz de reconocer los desechos y así por facilitar la clasificación en los contenedores correspondientes de acuerdo con el color designado para su disposición.

Referencias

- [1] Consejo Superior de la Judicatura, Sala Administrativa Centro de Documentación Judicial (Cendoj). Título de la colección: ISSN: Editado por: Normatividad 5 2344-8997. Corte Constitucional Consejo Superior de la Judicatura Sala Administrativa – Cendoj.
- [2] Naciones Unidas. (2018). Naciones Unidas. From: <https://news.un.org/es/story/2018/10/144356>
- [3] Urbina-Reynaldo, M. O., & Zúñiga-Igarza, L. M. (2016). Metodología para el ordenamiento de los residuos sólidos domiciliarios. Ciencia en su PC, (1), 15-29.
- [4] UNICEN. (s.f.). www.fio.unicen.edu.ar/usuario/esantall/q37.0/Clase%206%20-Residuos/GESTION%20INTEGRAL%20DE%20RESIDUOS.pdf
- [5] Jueru Huang, Dmitry D. Koroteev, (2021) Artificial intelligence for planning of energy and waste management, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 47, 2021, 101426, ISSN 2213-1388, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101426>.
- [6] M. Schnell, T. Horst, P. Quicker (2020) Thermal treatment of sewage sludge in Germany: a review J. Environ. Manag., 263 (2020), p. 110367, 10.1016/j.jenvman.2020.110367

- [7] S. Xiao, H. Dong, Y. Geng, X. Tian, C. Liu, H. Li (2020) Policy impacts on municipal solid waste management in shanghai: a system dynamics model análisis J. Clean. Prod., 262, p. 121366
- [8] G. Anirban, Mukherjee, Uddesh Ramesh Wanjari, Rituraj Chakraborty, Kaviyarasi Renu, Balachandar Vellingiri, Alex George, Sundara Rajan C.R., Abilash Valsala Gopalakrishnan, (2021) A review on modern and smart technologies for efficient waste disposal and management, Journal of Environmental Management, Volumen 297 , 113347, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113347>.
- [9] Wirtz, BW, Weyerer, JC, Geyer, C., (2019). "La inteligencia artificial y el sector público: aplicaciones y desafíos". En t. Publicación J. Administración. 42, 596–615.
- [10] S Bindhya , V. Balachandar , S. Sudha , S. Mohana Devi , K. Kandasamy , K. Sasikala (2010) Evaluación del riesgo citogenético ocupacional, entre trabajadores de gasolineras Toro. Reinar. contacto Toxicol. , 85 (2) , págs. 121 - 124 , 10.1007/s00128-010-0068-z
- [11] Kan Hua Yu, Yue Zhang, Danni Li, Carlos Enrique Montenegro-Marin, Priyan Malarvizhi Kumar. (2021). Environmental planning based on reduce, reuse, recycle and recover using artificial intelligence, Environmental Impact Assessment Review, Volume 86, 106492, ISSN 0195-9255, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925520306132>
- [12] Zapata, C y Garcés, G. (2013). Generación Del Diagrama De Secuencias De Uml 2.1.1 Desde Esquemas Preconceptuales (Generation Of Uml 2.1.1 Sequence Diagram From Pre-Conceptual Schemes).
- [13] Rodríguez González, M. J. (2018). Raspberry pi como plataforma de algoritmos de Machine Learning: reconocimiento de imágenes y datos financieros en streaming. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- [14] C. Wang, J. Du, and X. Fan, "High-dimensional correlation matrix estimation for general continuous data with Bagging technique," Mach. Learn., vol. 111, pp. 2905–2927, Mar. 2022.
- [15] Gómez, J., Riaño, V. H., & Ramirez-Gonzalez, G. (2023). Traffic classification in IP networks through Machine Learning techniques in final systems. IEEE Access, 11, 44932-44940.
- [16] Morelo, R. C., Flórez, J. A., & Gómez, J. E. G. (2023). Diseases and pests identification system in watermelon cultivation. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2(42), 93-104.

- [17] Bolanos, A. A. O., Rojas, J. S., Gómez, J. G., & González, G. R. (2023). Methodology based on MLOps (Machine Learning Operations) for management support in data science projects. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(41), 87-103.