

Punto ecológico automatizado para separación y clasificación de residuos a través de una neurona artificial

Automated ecological spot for separation and classification of waste through an artificial neuron

Michael Guevara¹,
Samir Castaño²,
Pedro Guevara³,
Dilson Contreras⁴

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo la creación de un Punto Ecológico automatizado para separar y clasificar los residuos; con el propósito de fomentar una cultura ambiental en la comunidad académica de la Universidad de Córdoba.

El proyecto se desarrolló utilizando la librería ML5.JS; la cual proporciona modelos y algoritmos de aprendizaje; que permiten crear sistemas inteligentes de aprendizaje máquina para reconocer objetos (Shiffman, 2019). Se desarrolló un sistema de reconocimiento de objetos, a través del algoritmo K-Nearest Neighbor para separar y clasificar los residuos.

En la construcción del Punto Ecológico, se utilizaron diferentes dispositivos electrónicos como: Raspberry pi, servomotores, placa Arduino, cámara web, pantalla LCD, entre otros. Finalmente se logró la interacción de todos estos dispositivos para que el sistema de reconocimiento clasifique residuos como plástico, bolsas de mecatos, papel y cartón.

Palabras clave: ML5.JS, Raspberry pi, Punto Ecológico, K-Nearest Neighbor, Cultura Ambiental, Arduino.

¹ Ingeniero de Sistemas Universidad de Córdoba, Montería - Colombia. Contacto: mguevarajaraba@correo.unicordoba.edu.co

² Docente Universidad de Córdoba. Universidad de Córdoba, Montería - Colombia. Contacto: sacastano@correo.unicordoba.edu.co

³ Docente Universidad de Córdoba. Universidad de Córdoba, Montería - Colombia. Contacto: pguevara@correo.unicordoba.edu.co

⁴ Ingeniero de Sistemas Universidad de Córdoba, Montería - Colombia. Contacto: dcontrerasmartinez75@correo.unicordoba.edu.co

Abstract

The objective of this work was to create an automated Ecological Spot to separate and classify waste; with the purpose of promoting an environmental culture in the academic community of the University of Córdoba.

The project was developed using the ML5.JS library; which provides models and learning algorithms; that allow the creation of intelligent machine learning systems to recognize objects (Shiffman, 2019). An object recognition system was developed through the K-Nearest Neighbor algorithm to separate and classify the waste.

In the construction of the Ecological Spot, different electronic devices were used such as: Raspberry pi, servo motors, Arduino board, web camera, LCD screen, among others. Finally, the interaction of all these devices was achieved so that the recognition system could classify waste such as plastic, chip bags, paper and paperboard/cardboard.

Keywords: ML5.JS, Raspberry pi, Ecological Spot, K-Nearest Neighbor, environmental culture, Arduin



1. INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental y la necesidad de implementar estrategias para mitigar el cambio climático; es un tema que ha cobrado importancia, desde que se realizó el Acuerdo de París en el año 2015, y donde se estableció la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Dentro de las acciones que se pueden realizar para reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), está la gestión de residuos sólidos.

Según el Departamento Nacional de Planeación y el Banco Mundial; una de las principales problemáticas que existe, es el poco aprovechamiento de los residuos sólidos; en Colombia el 83% de los residuos sólidos domiciliarios son enviados a los rellenos sanitarios, solo el 17% es utilizado nuevamente e incorporado al ciclo productivo (DNP, 2016).

En Colombia el 78% de los hogares no recicla, ni separa sus residuos sólidos. De los 12 millones de toneladas de basura que se generan al año; solo se recicla un 17%. Esta situación hace que se utilice mayor espacio en los rellenos sanitarios y se reduzca la vida útil de los rellenos (Semana, 2020).

Sumado a la problemática anterior, se puede mencionar que desde el entorno familiar; los padres no orientan adecuadamente a sus hijos, para generar en ellos una cultura ambiental enfocada a la preservación del medio ambiente. Para los padres la Educación Ambiental no hace parte de la formación básica; por esta razón a diario se hace mal uso del agua, se botan basuras en lugares prohibidos y no se separan los residuos sólidos. Todas estas acciones se realizan sin pensar en el daño que se le hace al medio ambiente (Gutiérrez, 2015).

A pesar de que existe desconocimiento de la comunidad en la aplicación de la legislación ambiental, el Estado colombiano a lo largo de la historia ha desarrollado herramientas para fomentar la educación ambiental y la preservación del ambiente. Es importante que las Instituciones de Educación Superior desarrollen proyectos orientados a la educación ambiental, articulados con la comunidad (Pita, 2016).

En cuanto a las leyes y políticas que promueven el reciclaje y manejo de residuos, se encuentran:

- La Ley 99 de 1993, en su Artículo 65 propone la ejecución de proyectos para el reciclaje de residuos líquidos y sólidos (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 1993).
- El COMPES 3874, define la política nacional para la gestión integral de residuos sólidos; esta política dentro de sus ejes estratégicos, busca promover la reutilización y aprovechamiento de los residuos sólidos (DNP, 2016).
- La Resolución 1407 de 2018, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; reglamenta la gestión ambiental de empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metales. Esta Resolución obliga a los productores, que implementen un plan de gestión ambiental de residuos, y fomenten la reutilización de empaques y envases (Ministerio de Ambiente, 2018).
- El desarrollo de este proyecto, utiliza la tecnología de la Inteligencia Artificial y el reconocimiento de imágenes para contribuir con el cuidado del medio ambiente; diseñando un Punto Ecológico Automatizado, que sirva como herramienta para que las personas separen los residuos sólidos como: botellas, bolsas plásticas, cartón y papel. Con el propósito de que sea fácil su reciclaje y puedan ser reutilizados nuevamente.
- El Punto Ecológico Automatizado, es de bajo costo y a futuro puede ser ubicado en lugares públicos como parques, centros comerciales, colegios y universidades; incentivando a que las personas desechen sus residuos de manera adecuada. El Punto Ecológico cuenta con un sistema de reconocimiento de objetos que le indica al usuario en que caneca debe arrojar el residuo; ayudando de esta manera a su clasificación.

2. REFERENTES TEÓRICOS

La **Contaminación Ambiental**, se da por la introducción de elementos contaminantes en entornos no adecuados. La contaminación está asociada a la falta de conciencia de los seres humanos para cuidar los recursos naturales. Uno de los tipos de contaminación más comunes, está asociado a la acumulación de basuras y residuos sólidos (Fernández, 2018); por esta razón es importante la gestión de los residuos sólidos para facilitar su clasificación y separación.

La adecuada gestión de los residuos sólidos, no depende exclusivamente de las entidades gubernamentales, también influye los buenos hábitos de las personas. El propósito de este proyecto es el diseño de un Punto Ecológico Automatizado, para que las personas cuenten con una herramienta tecnológica que les facilite la separación de los residuos aprovechables.

Los **Puntos Ecológicos** son zonas ubicadas en espacios públicos, las cuales cuentan con canecas de diferentes colores para que las personas arrojen sus basuras, y facilita la separación de los residuos. El objetivo de los Puntos Ecológicos, es motivar a que las personas separen responsablemente los residuos sólidos que producen (RECIMED, 2017).

Hasta el año 2020, la Norma Técnica Colombiana GTC-24, que definía el **código de colores para la separación de residuos** en Puntos Ecológicos, era de la siguiente manera:

- Gris: Cartón y papel que estén limpios.
- Azul: Bolsas, botellas y empaques plásticos.
- Blanco: Botellas de vidrio.
- Crema: Restos de comida, papel higiénico, servilletas, desechos vegetales, entre otros.
- Café: Metales como el aluminio, cobre, chatarra y latas.
- Naranja: Residuos de madera y palos.
- Verde: Residuos ordinarios.

A partir del año 2021 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; a través de la Resolución 2184 de 2019, unifico el código de colores para la separación de residuos, de la siguiente manera (Ministerio de Ambiente, 2019):

Blanco: Residuos aprovechables como el plástico, papel, cartón, vidrio y metales.

Verde: Restos de comida y desechos agrícolas.

Negro: Residuos no aprovechables como las servilletas, papel higiénico; empaques o papeles contaminados con comida.

Para la **clasificación y separación de residuos**, existen dos tipos de residuos: Los residuos sólidos y los residuos peligrosos (MINVIVIENDA, 2017).

- Los **residuos sólidos** se clasifican en aprovechables y no aprovechables. Los materiales no aprovechables son aquellos que no tienen ninguna posibilidad de ser reutilizados nuevamente en el proceso productivo. Mientras que los **residuos sólidos aprovechables**, como el papel, cartón, bolsas, botellas y empaques plásticos; se pueden reutilizar para incorporarlos en el proceso productivo.
- Los **residuos peligrosos**, son los que pueden causar efectos negativos en la salud humana y contaminación en el medio ambiente. Estos pueden ser: inflamables, radioactivos, tóxicos, etc.

El Punto Ecológico desarrollado en este proyecto, busca separar los residuos sólidos aprovechables, a través del reconocimiento de objetos por medio de imágenes. Para esto fue necesario aplicar una serie de conceptos relacionados con la Inteligencia Artificial.

El **reconocimiento de objetos**, es un campo de la visión artificial que permite identificar los objetos presentes dentro de una región de la imagen detectada. El reconocimiento busca identificar a que clase pertenece el objeto identificado; el reconocimiento se puede realizar, a través del entrenamiento de modelos o de un clasificador para todos los tipos de objetos (Escalona, 2017).

En el desarrollo del sistema de reconocimiento del Punto Ecológico; se utilizó la **Librería ML5.JS**; la cual proporciona modelos y algoritmos de aprendizaje; que permiten crear sistemas inteligentes de aprendizaje máquina para reconocer objetos (Shiffman, 2019). La librería facilitó el entrenamiento dirigido de una neurona artificial. El algoritmo que se utilizó para clasificar los residuos sólidos, fue **K-Nearest Neighbor**; este algoritmo es utilizado para el reconocimiento de patrones y se usa como método de aprendizaje para clasificar objetos, en función de los ejemplos de entrenamiento más cercanos (Blanco, García, Galván, & José, 2018).

Para comunicación entre el hardware y la aplicación web del Punto Ecológico, se utiliza el protocolo MQTT. Este protocolo es uno de los principales protocolos de comunicación para el **Internet de las cosas (IoT)**; la aplicación del concepto de IoT presenta muchos desafíos en la actualidad y permite la conexión de cualquier dispositivo u objeto a internet (Gómez, 2017).

3. TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación se relacionan algunos proyectos y aplicaciones que utilizan dispositivos y herramientas de software en la implementación de sistemas automatizados para el manejo de basuras y gestión residuos:

- Diseño de un prototipo para sistema de monitoreo del nivel de llenado en contenedores de basura por protocolo de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4 (Zigbee):
- Este proyecto propone monitorear el nivel de llenado en tiempo real de los contenedores de basura, en la ciudad de Quito – Ecuador. Para el funcionamiento del sistema se utilizaron sensores que detectan el nivel de llenado en los contenedores y equipos de comunicación que transmiten la información por medio del protocolo de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4 Zigbee (Ronquillo, 2020).
- Diseño e implementación de un prototipo de caneca inteligente para la recolección de heces caninas SUNCAN:
- Este proyecto tuvo como objetivos diseñar una caneca inteligente, alimentada por energía solar. La caneca se utilizará en una campaña de concientización entre los ciudadanos de Bogotá para motivarlos a recolectar las heces caninas, utilizando una herramienta innovadora.
- Para la construcción de la caneca inteligente, se utilizó una placa Arduino Nano, pantalla LCD, módulo lector RFID, batería de litio, un panel solar para alimentar de energía la caneca, un servomotor, entre otros. El módulo RFID, permite leer las tarjetas de los usuarios para activar la apertura de la caneca inteligente (Pinzón, Aragón, Correa, & Perdomo, 2017).
- Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico:
- Para el diseño de este sistema se utilizaron 25 dispositivos electrónicos entre los que se encuentran: Arduino Nano, servos, sensor óptico, sensor ultrasónico, sensor capacitivo, sensor inductivo y de peso; celda de carga, entre otros.
- Todo el sistema de control y las 4 canecas del punto ecológico, estaban montados sobre una estructura de madera que tenía las siguientes dimensiones: 0.93 m de alto, 0,36 m de ancho y 1.06 m de largo. Los sensores del sistema de control permiten la clasificación de los desechos y el monitoreo de las canecas (Diaz & Caldas, 2018).
- Software, Punto ecológico inteligente:

- Este punto ecológico envía mensajes educativos, a través de unas pantallas LEDS para contribuir con el cuidado del medio ambiente. Además, lleva el conteo de los residuos sólidos en una aplicación Web (Martinez, Rueda, Cardenas, & Nuñez, 2018).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo principal de este proyecto es la construcción de un Punto Ecológico Automatizado para la separación de residuos sólidos; incentivando a que las personas desechen sus recudíos de manera adecuada. La creación del punto ecológico se desarrolló en dos fases, que se describen a continuación:

- **Fase I. Diseño del punto ecológico:**

Para el diseño, se analizaron los puntos ecológicos existentes en el mercado, revisando el diseño de su estructura, los colores y la forma de abertura de sus tapas. Teniendo en cuenta esto, se diseñó una estructura en madera, que sirviera de soporte para las canecas de basura.

Se construyó una estructura en madera, que tenía las siguientes dimensiones: 100 cm de alto por 100 cm de largo. Los contenedores de basura, son tres canecas de 10 litros; cada caneca cuenta con un servomotor que se activa para abrirlas. A continuación se muestra el diseño final del Punto Ecológico (Figura 1).



Figura 1. Prototipo del punto ecológico

Dentro de la estructura del prototipo se alojaron todos los dispositivos de hardware que conforman el sistema de detección de residuos sólidos. En la columna de madera del prototipo, se ubicó la cámara, la pantalla LCD, la placa Arduino, la Raspberry pi, entre otros dispositivos (Figura 2).



Figura 2. Montaje de los dispositivos de hardware

- **Fase II. Diseño y desarrollo de la aplicación Web para detección de residuos:**

En esta fase se realizó todo lo relacionado con la aplicación web que se utilizó como interfaz para la detección y reconocimiento de los residuos sólidos reciclables. Esta aplicación web se divide en dos módulos; un módulo de entrenamiento con la interfaz para entrenar la neurona (Figura 3).

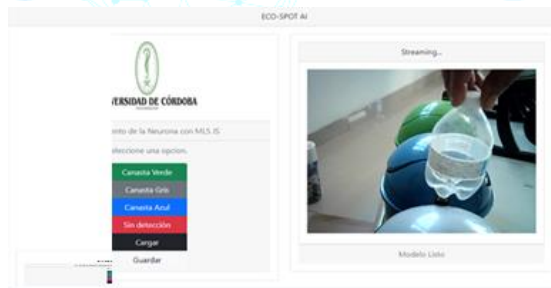


Figura 3. Interfaz para el entrenamiento de la neurona artificial

El otro módulo, contiene la interfaz con la que interactúa el usuario directamente en el punto ecológico, y en donde solo puede observar el video de lo que está captando la cámara para que sepa el punto exacto donde debe colocar el residuo (Figura 4).



Figura 4. Interfaz ubicada en el punto ecológico

Para el desarrollo de la aplicación web, primero se instaló el software XAMPP para hacer uso del servidor HTTP Apache, que permitió configurar el servidor web. Seguidamente se instaló el editor de código fuente Visual Studio Code, donde se crearon los módulos que componen el sistema, haciendo uso de distintas tecnologías para el desarrollo de aplicaciones web.

Teniendo montado el entorno de desarrollo; se crearon las vistas de la aplicación, utilizando HTML5 y BOOTSTRAP, estas tecnologías permitieron organizar y estructurar el contenido de la página web, dándole un estilo agradable para los usuarios.

La funcionalidad del sistema de reconocimiento de residuos sólidos, se implementó utilizando la librería ML5.JS para el reconocimiento de objetos. La aplicación web con ML5.JS, se debe desarrollar con otra librería compatible con esta, para esto se utilizó la librería de P5.JS, la cual está diseñada para funcionar con ML5.JS. Esta funcionalidad fue implementada en el módulo de entrenamiento y en el módulo del usuario.

Después de desarrollar la aplicación web de entrenamiento, se realizó el entrenamiento de la neurona, capturando imágenes de los diferentes desechos que se pueden depositar en las tres canecas de basura del punto ecológico.

Una vez entrenada la neurona artificial con el módulo web de entrenamiento, se implementó la interfaz con la que interactúa el usuario en el punto ecológico, al momento de depositar el residuo. Este módulo implementa la funcionalidad de procesar la imagen captada por la cámara, y envía la petición al servidor donde está contenida la neurona artificial. La respuesta del servidor, se envía mediante el protocolo MQTT y el servicio en la nube shiftr.io; que facilita la conexión entre el hardware del punto ecológico y la aplicación web con la que interactúa el usuario.

5. RESULTADOS

Como resultado de este proyecto se creó un Punto Ecológico Automatizado, que utiliza la tecnología de Inteligencia Artificial, para el reconocimiento y posterior clasificación de los residuos

sólidos, tales como: botellas, bolsas plásticas, cartón y papel. A continuación se muestra la arquitectura del sistema y se describe el funcionamiento de los componentes que integran el Punto Ecológico (Figura 1).

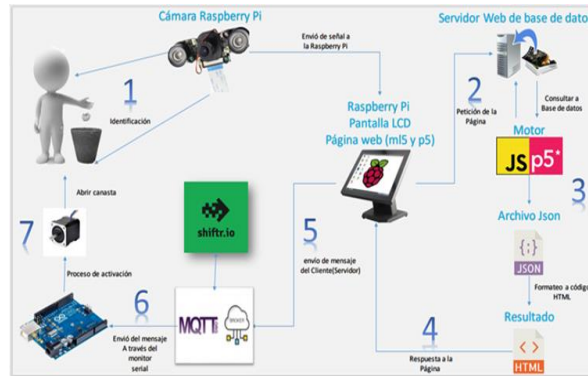


Figura 5. Arquitectura del Punto Ecológico

Descripción de los componentes y pasos del funcionamiento:

1. Identificación del objeto (residuo) por la cámara.
2. Se envía la señal de la cámara a la Raspberry pi. Luego se visualiza la imagen captada en la pantalla LCD; a través de la aplicación Web. La aplicación procesa la imagen detectada y se envía la petición al servidor donde está contenida la neurona artificial (archivo JSON).
3. Se verifica la petición realizada por la aplicación Web, con la información codificada en la neurona artificial (archivo JSON), la cual fue entrenada previamente, con el modulo web de entrenamiento. El proceso de verificación se realiza utilizando reconocimiento de patrones K-Nearest Neighbor.
4. Después del proceso de verificación del residuo identificado; se envía la respuesta del servidor en formato HTML a la aplicación Web.
5. Se realiza el envío de la respuesta del servidor, mediante el protocolo MQTT, a través de la conexión que se realiza con el servicio shiftr.io; el cual es procesado por un tokens que otorga acceso a la instancia del proyecto, y posteriormente se reenvía el mensaje a un servidor Node, el cual está conectado al placa arduino por un puerto serial.
6. Activación de un servomotor y posterior apertura del compartimiento o caneca en donde debe desechar el residuo identificado.

Para realizar todo el proceso de reconocimiento de los objetos, previamente se realizó el entrenamiento supervisado de una neurona artificial. El entrenamiento se realizó con una aplicación Web de entrenamiento; en donde se captura la imagen del residuo y se envían codificados los patrones de la imagen al archivo JSON.

Para las pruebas del Punto Ecológico; se realizaron 5 entrenamientos simultáneos; en donde los resultados porcentuales de reconocimiento, variaban desde la primera captura del entorno; y la primera captura de los residuos utilizados en este proyecto. Lo primero que se realizó, fue capturar la imagen del entorno en donde está ubicado el Punto Ecológico, previo a las pruebas para reconocer los residuos.

Después de reconocer el entorno, se inicia con el reconocimiento de cada uno de los residuos sólidos. La primera prueba con cada residuo tuvo un porcentaje entre el 15% y el 25% de reconocimiento; debido, a que el sistema tiende a reconocer en el primer entrenamiento de cada residuo, al entorno, más que al residuo. A medida que se realizan otras pruebas con ese mismo residuo, el sistema de reconocimiento tiende a llegar a un 100%. Por eso el número de entrenamientos y pruebas por residuo fue de 5 pruebas; con el fin de que la mayoría de residuos, se pudieran reconocer entre un 89% y 100%.

En las siguientes tablas se muestra la clasificación de los diferentes residuos utilizados, según el número de pruebas y los porcentajes de reconocimiento tras finalizar cada entrenamiento.

Tabla 1. Prueba Canasta 1 (Gris)

Residuo	Reconocimiento %	Prueba
Papel	25%	1
	43%	2
	68%	3
	87%	4
	0%	5
Cartón	20%	1
	45%	2
	70%	3
	100%	4
	100%	5

Tabla 2. Prueba canasta 2 (Azul)

Residuo	Reconocimiento %	Prueba
Botellas de plástico	25%	1
	43%	2
	75%	3
	100%	4
	100%	5
Bolsas de mecato	25%	1
	35%	2
	50%	3
	65%	4
	95%	5

Tabla 3. Prueba canasta 3 (verde)

Residuo	Reconocimiento %	Prueba
Papel aluminio	15%	1
	43%	2
	55%	3
	70%	4
	89%	5
Icopor	25%	1
	65%	2
	85%	3
	100%	4
	100%	5

En las pruebas se observó que el porcentaje de reconocimiento fue óptimo con la mayoría de residuos. Se presentó un porcentaje bajo entre 5% y 10% para las bolsas de mecato y el papel aluminio, debido a que las bolsas de mecato por dentro tienen la misma textura del papel aluminio y esto tiende a confundir al sistema, cuando la cámara detecta ese lado de la superficie, en una bolsa de mecato.

Las pruebas se realizaron a una distancia de 50 cm y 100 cm, se comprobó que el dispositivo puede reconocer a una mayor distancia, pero al estar en un campo más abierto el sistema puede detectar otro tipo de elementos; los cuales no están en la base de datos de la neurona. Esto haría que el sistema intente reconocer un objeto que desconoce y pueda enviar señales erróneas al motor de base de datos, por lo cual se definieron las distancias anteriores para que el Punto Ecológico Automatizado tuviera una mayor precisión y eficiencia. En la Figura 2, se muestra como se prueba el reconocimiento de un residuo, dentro de las distancias establecidas.



Figura 6. Reconocimiento de Residuo

Luego en la Figura 3, se evidencia como el sistema reconoce la hoja de papel y envía el mensaje para activar el motor que abre la caneca correspondiente para arrojar ese tipo de residuo.

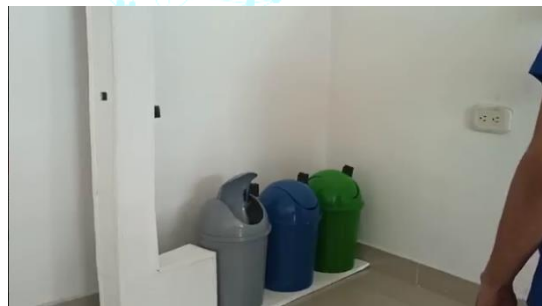


Figura 7. Respuesta de activación

Para futuras versiones, se debe mejorar el aspectos de claridad y luz, puesto que el Punto Ecológico funciona en condiciones normales con la luz día; pero en las noches es imposible que se pueda detectar un residuo por la oscuridad del entorno, por tal motivo se deben implementar innovaciones, que permitan al Punto Ecológico funcionar en condiciones normales tanto en el día como en la noche, sin afectar su precisión y eficiencia.

6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la protección del medioambiente y la necesidad de implementar estrategias para la mitigación del cambio climático; la idea principal de este proyecto, proporciona un mecanismo para el tratamiento de los residuos reciclables. Se espera tener un impacto positivo en las comunidades que implementen el Punto Ecológico Automatizado, como herramienta tecnológica para ayudar a cuidar el medio ambiente.

Es importante que se tomen medidas de cuidado ambiental, directamente en los lugares en donde se producen residuos. Este proyecto contribuye a simplificar la gestión de residuos y promueve el reciclaje. Es importante tomar acciones responsables e incentivar el reciclaje de residuos sólidos aprovechables; solo así, se pueden reducir la cantidad de residuos generados; el consumo de recursos naturales y el impacto ambiental.

El Punto Ecológico se probó en un entorno controlado, puesto que la pandemia por el Covid-19, obligo a que los estudiantes y docentes de universidades e Instituciones Educativas, trabajaran de manera virtual desde sus hogares. La idea inicial del proyecto era probar el punto ecológico, en la sede de la Universidad de Córdoba, ubicada en el municipio de Sahagún.

Para lograr el reconocimiento de los diferentes residuos aprovechables, se realizaron varias pruebas para que la neurona artificial aprendiera a reconocer los diferentes tipos de residuos. En las pruebas de verificación se observó que el porcentaje de reconocimiento era óptimo, con la mayoría de residuos. El sistema reconocía los residuos y postteriormente los clasificaba en sus respectivas canecas, según el color en donde se debía desechar.

Se presentó un porcentaje bajo entre 5% y 10% para las bolsas de mecatro y el papel aluminio, debido a que las bolsas de mecatro en su interior, tienen la misma textura del papel aluminio. Esto tiende a confundir al sistema, si la cámara web detecta el lado interior de la bolsa.

La distancia adecuada para que punto ecológico tenga una mayor precisión, debe estar entre 50 cm y 100 cm. Para versiones futuras del prototipo, se debe mejorar el aspecto de claridad y luz, puesto que la tecnología actual del punto ecológico, no puede detectar el entorno y mucho menos reconocer los objetos en la oscuridad.

7. REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1993). *LEY 99 DE 1993*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Blanco, D., García, A., Galván, C., & José, C. (2018). Comparación del nivel de precisión de los clasificadores Support Vector Machines, k Nearest Neighbors, Random Forests, Extra Trees y Gradient Boosting en el reconocimiento de actividades infantiles utilizando sonido ambiental. *Research in Computing Science*, 147(5), 281–290.
- Díaz, C., & Caldas, J. (2018). *Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un Punto Ecológico*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia - Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/22412>
- DNP. (2016). *CONPES 3874 - POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. Bogotá.
- Escalona, F. (2017). *Reconocimiento de objetos y obtención de mapas 3D*. Alicante: UNIVERSIDAD DE ALICANTE - Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial.
- Fernández, A. (2 de Octubre de 2018). *Contaminación Ambiental: Definición, Tipos y Causas*. Obtenido de <https://www.revistaciencias.com/contaminacion-definicion-causas-tipos/>
- Fernández, A. (2018). *Contaminación Ambiental: Definición, Tipos y Causas*. Obtenido de https://www.revistaciencias.com/contaminacion-definicion-causas-tipos/#Contaminacion_por_basura_y_residuos
- Gómez, J. (2017). El internet de las cosas oportunidades y desafíos. *Ingeniería E Innovación*, 5(1). doi:<https://doi.org/10.21897/23460466.1085>
- Gutiérrez, L. (2015). Problemática de la educación ambiental en las instituciones educativas. *Revista Científica - Universidad Francisco José de Caldas*(23), 57-76. doi:[10.14483/udistrital.jour.RC.2015.23.a5](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2015.23.a5)
- Martínez, A., Rueda, C., Cardenas, O., & Nuñez, R. (2018). *Software: Punto ecológico inteligente*. Bucaramanga: Unidades Tecnológicas de Santander. Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1646>
- Ministerio de Ambiente. (2018). *Resolución 1407 de 2018*. Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/RES%201407%20DE%202018.pdf>

Ministerio de Ambiente. (2019). *Resolución No. 2184 de 2019*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/res%202184%202019%20colores%20bolsas-41.pdf>

MINVIVIENDA. (2017). *Guía de Planeación Estratégica para el Manejo de Residuos Sólidos de Pequeños Municipios en Colombia*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-07/guia-de-manejo-de-residuos-2017.pdf>

Pinzón, J., Aragón, M., Correa, N., & Perdomo, P. (2017). *Diseño e implementación de un prototipo de caneca inteligente para la recolección de heces caninas SUNCAN*. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios- Facultad de Ingeniería. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10656/5306>

Pita, L. (2016). LÍNEA DE TIEMPO: EDUCACIÓN AMBIENTAL EN COLOMBIA. *Revista Praxis*, 12, 118 - 125. doi:<http://dx.doi.org/10.21676/23897856.1853>

RECIMED. (2017). *El Punto ecológico, una motivación para aprender a reciclar*. Medellín. Obtenido de <https://reciclaje.com.co/blog/aprende-a-reciclar/el-punto-ecologico/>

Rodríguez, M. (2018). *Raspberry pi como plataforma de algoritmos de Machine Learning: Reconocimiento de imágenes y datos financieros en streaming*. Sevilla : Dep. de Electrónica Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/187420510>

Ronquillo, C. (2020). *Diseño de un prototipo para sistema de monitoreo del nivel de llenado en contenedores de basura por protocolo de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4 (Zigbee)*. Universidad Internacional SEK - Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3851>

Semana, R. (2020). *El 78% de los hogares colombianos no recicla*. Obtenido de <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/el-78-de-los-hogares-colombianos-no-recicla/44231/>

Shiffman, D. (12 de 12 de 2019). *Beginner's Guide to Machine Learning with ml5.js*. ml5.js community. Obtenido de <https://ml5js.org/community/>