

**PROTOTIPO DE SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE  
MATERIALES RECICLABLES MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE  
IMÁGENES, HACIENDO USO DE HARDWARE PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DE LA RECOLECCIÓN**

MILTON ANTONIO CHAPARRO MESA

Código: 46163

HAROLD SANTIAGO VARGAS FORERO

Código: 62210

UNIVERSIDAD ECCI

Dirección Ingeniería de Sistemas

Anteproyecto de Grado

Bogotá D.C.

2022.

2

**PROTOTIPO DE SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE  
MATERIALES RECICLABLES MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE  
IMÁGENES, HACIENDO USO DE HARDWARE PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DE LA RECOLECCIÓN**

Presentado por:

MILTON ANTONIO CHAPARRO MESA

Código: 46163

HAROLD SANTIAGO VARGAS FORERO

Código: 62210

Presentado a:

M.Ed. Ing. ALEXANDER SABOGAL RUEDA

Director de Trabajo de Grado

UNIVERSIDAD ECCI

Dirección Ingeniería de Sistemas

Proyecto de Grado

Bogotá D.C.

2022.

los derechos reservados.

## **Dedicatoria**

4

A cada uno de los padres, hermanos, familiares, esposas y demás personas que de una u otra forma apoyaron este proceso de estudio y preparación para ser un profesional exitoso en constante búsqueda de un futuro lleno de felicidad, salud y calidad de vida permitiendo ser ejemplo y testimonio de vida con las demás generaciones venideras y contemporáneas.

## **Agradecimientos**

5

Quiero agradecer a todas las personas que apoyaron el desarrollo del presente trabajo, al equipo de investigación y estudio, y por su puesto a los asesores y directores que siempre estuvieron aportando desde su experiencia y conocimiento sus mejores enseñanzas y orientaciones que permitieron sacar a delante este proyecto de tesis.

Currently, human beings produce tons of garbage and the carbon footprint on the planet is increasing, this is producing a global warming that over the years and if not controlled in time will cause the disappearance of some species both animal and plant, in addition to significantly reduce the quality and life expectancy of people on the planet.

Through the creation of an automated device supported by image recognition techniques for the classification of recyclable materials, we seek to reduce the environmental impact resulting from the lack or poor recycling process, since the implementation of such a device at the sites of waste product generation and recycling could take advantage of these materials to a greater extent, This could be reflected in the increase of the amount of recyclable products in the respective collection centers and therefore in their economic income, in addition to contributing to the circular economy, also the garbage dumps would be impacted by depositing less amount of usable products and really contain only the unusable in terms of recycling. The objectives of sustainable development in Colombia and the world, such as sustainable cities and communities, responsible production and consumption, climate action, currently require the support of new technologies such as the Internet of Things, Smart Cities, Smart Grids, etc., so that they can be achievable in Colombia and the world, Therefore, with the development of the device for the classification of recyclable materials through image recognition, using hardware for the automation of the collection, called in short "smart bin" is in line with these technologies and their main purpose of being sustainable and efficient. The design of the device called smart bin contributes to the fulfillment of these objectives of sustainable development because it allows the efficient reuse of discarded materials, as they are recycled and incorporated again in the development of new products, contributing to the reduction of the environmental impact by making responsible and

sustainable use of raw materials, therefore it would be a technological development of great social, economic and environmental impact.

Actualmente los seres humanos producen toneladas de basura y cada vez más se aumenta la huella de carbono en el planeta, esto está produciendo un calentamiento global que con el pasar de los años y de no ser controlado a tiempo provocará la desaparición de algunas especies tanto animales como vegetales, además de disminuir significativamente la calidad y expectativa de vida de las personas en el planeta.

Mediante la creación de un dispositivo automatizado apoyado en técnicas de reconocimiento de imágenes para la clasificación de materiales reciclables, se busca disminuir el impacto ambiental producto de la carencia o mal proceso del reciclaje, puesto que al ser implementado dicho dispositivo en los sitios de generación de productos de desecho y reciclaje se podría aprovechar en mayor cuantía estos materiales, lo cual se podría ver reflejado en el aumento de la cantidad de productos reciclables en los respectivos centros de acopio y por ende en sus ingresos económicos, además de contribuir a la economía circular, también los botaderos de basura se verían impactados al depositarles menos cantidad de productos aprovechables y realmente contener solo lo inservible en términos de reciclaje. Los objetivos de desarrollo sostenibles en Colombia y en el mundo como los son los de ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsable, acción por el clima, actualmente requieren del apoyo de las nuevas tecnologías como el Internet de las cosas, las Ciudades Inteligentes, las Redes Inteligentes, etc., para que estos puedan ser alcanzables en el corto y mediano plazo, por esto de la importancia de hacer uso de estas nuevas tecnologías por estar orientadas a fortalecer el uso de energías renovables (convencionales y no convencionales) y al optimizar los procesos en donde se apliquen, por consiguiente, con el desarrollo del dispositivo de clasificación de materiales reciclables mediante el reconocimiento de imágenes, haciendo uso de hardware para la automatización de la

recolección, denominado en adelante de forma abreviada “caneca inteligente” va en línea 9  
con estas tecnologías y su propósito principal de ser sustentables y eficientes. El diseño del  
dispositivo denominado caneca inteligente contribuye en el cumplimiento de dichos objetivos de  
desarrollo sostenible porque permite el reaprovechamiento eficaz de los materiales desechados, al  
ser estos reciclados e incorporados nuevamente en el desarrollo de nuevos productos, aportando a  
la disminución del impacto ambiental haciendo uso responsable y sostenible de la materia prima,  
por lo anterior sería un desarrollo tecnológico de gran impacto social, económico y ambiental.

# Tabla de Contenido

10

1.	Título de la Investigación.....	16
2.	Problema de la Investigación .....	18
2.1	Descripción del Problema.....	18
2.2	Formulación del Problema.....	18
3.	Objetivos de la Investigación.....	20
3.1	Objetivo General.....	20
3.2	Objetivos Específicos.....	20
4.	Justificación y Delimitaciones de la Investigación.....	21
4.1	Justificación .....	21
4.2	Delimitaciones .....	21
5.	Marco de Referencia de la Investigación.....	23
5.1	Marco Conceptual.....	23
5.2	Marco Teórico.....	24
5.2.1	Reconocimiento de imágenes .....	24
5.2.2	Frameworks.....	25
5.2.3	Modelos de aprendizaje .....	26
5.2.4	Internet de las cosas (IoT).....	27
5.2.5	Electrónica básica .....	30
5.2.6	Componentes electrónicos .....	34
5.2.7	Circuito embebido.....	35
5.2.8	Sensores electrónicos.....	40
5.2.9	Actuadores electrónicos .....	44

5.3	Marco Legal .....	48	11
5.4	Marco Histórico .....		53
6.	Diseño Metodológico .....		55
6.1	Tipo de Investigación.....		55
6.2	Investigación Exploratoria .....		55
6.3	Investigación Descriptiva.....		55
6.4	Investigación Analítica .....		57
7.	Desarrollo.....		59
8.	Recursos .....		71
8.1	Recursos Físicos.....		71
9.	Conclusiones .....		77
10.	Recomendaciones .....		80
11.	Bibliografía .....		82

# Índice de Figuras

12

<b>Figura 1.</b>	Mapa mental del internet de las cosas.....	28
<b>Figura 2.</b>	Mapa conceptual del internet de las cosas .....	29
<b>Figura 3.</b>	Mapa conceptual electricidad y electrónica .....	32
<b>Figura 4.</b>	Ecuaciones y ley de ohm en electricidad .....	33
<b>Figura 5.</b>	Instrumento de medición en electricidad – Multímetro digital.....	33
<b>Figura 6.</b>	Componentes electrónicos .....	34
<b>Figura 7.</b>	Placa Arduino.....	36
<b>Figura 8.</b>	Placa ESP32 .....	37
<b>Figura 9.</b>	Placa ESP32-CAM.....	38
<b>Figura 10.</b>	Partes más importantes de la Placa ESP32-CAM.....	39
<b>Figura 11.</b>	Cuadro sinóptico sensores .....	41
<b>Figura 12.</b>	Sensor de movimiento PIR HC-SR501 .....	42
<b>Figura 13.</b>	Sensor ultrasonido HC-SR04.....	43
<b>Figura 14.</b>	Cuadro sinóptico actuadores .....	45
<b>Figura 15.</b>	Ejemplos actuadores .....	47
<b>Figura 16.</b>	Lanzamiento del servidor puerto 80. ....	59
<b>Figura 17.</b>	Representación de las categorías de la caneca inteligente en el algoritmo..	60
<b>Figura 18.</b>	Código para la representación gráfica del elemento.....	61
<b>Figura 19.</b>	Función transformations en el algoritmo de clasificación. ....	61
<b>Figura 20.</b>	Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías. ....	62
<b>Figura 21.</b>	Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.....	63

<b>Figura 22.</b>	Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías. ....	13 63
<b>Figura 23.</b>	Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.....	64
<b>Figura 24.</b>	Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías. ....	64
<b>Figura 25.</b>	Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.....	65
<b>Figura 26.</b>	Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías. ....	65
<b>Figura 27.</b>	Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.....	66
<b>Figura 28.</b>	Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías. ....	66
<b>Figura 29.</b>	Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.....	67
<b>Figura 30.</b>	Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías. ....	67
<b>Figura 31.</b>	Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.....	68
<b>Figura 32.</b>	Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías. ....	68
<b>Figura 33.</b>	Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.....	69
<b>Figura 34.</b>	Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías. ....	69
<b>Figura 35.</b>	Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.....	70
<b>Figura 36.</b>	Servomotores MG90S utilizados .....	71
<b>Figura 37.</b>	MicroSD 64GB .....	71

<b>Figura 38.</b> Juego de cables para protoboard macho-hembra y macho-	14
macho .....	72
<b>Figura 39.</b> Adaptador de voltaje 12 vdc 1Amperio .....	72
<b>Figura 40.</b> Tarjeta para programación de la placa ESP32 - FT232RL 3.3 V 5.5 V	
adaptador USB a Serial TTL FTDI referencia HW 417 A .....	73
<b>Figura 41.</b> Cable mini USB a USB .....	73
<b>Figura 42.</b> Protoboard.....	74
<b>Figura 43.</b> Cinta LED .....	74
<b>Figura 44.</b> Placa de desarrollo ESP32-CAM.....	75
<b>Figura 45.</b> Placa de desarrollo ESP32 .....	75
<b>Figura 46.</b> Sensor PIR HC-SR501.....	76
<b>Figura 47.</b> Módulo sensor de obstáculos infrarrojo referencia HW -201.....	76

## Índice de Tablas

15

<b>Tabla 1</b> Actividades del diseño metodológico .....	58
----------------------------------------------------------	----

## 1. Título de la Investigación

16

El presente proyecto se titula “prototipo de sistema de clasificación de materiales reciclables mediante el reconocimiento de imágenes, haciendo uso de hardware para la automatización de la recolección”, que se integra o se complementa con el proyecto “aplicación web de gestión y comunicación con centros de acopio, para la recolección de residuos aprovechables con integración al sistema de hardware de clasificación de materiales reciclables” para conformar un sistema inteligente de caneca en la recolección de basuras y clasificación de los residuos de manera automatizada, en cada uno de los lugares donde estas se generen, y de esta forma, garantizar un mayor porcentaje de aprovechamiento de los materiales reciclables en Colombia.

El proyecto surgió dada la necesidad de optimizar la recolección y clasificación de los materiales reciclables desde su lugar de origen lo cual se viene realizando en Colombia de forma manual y poco eficiente. Por lo anterior se plantea aprovechar la evolución de las nuevas tecnologías como lo es la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las cosas (IoT), la automatización, la electrónica y mediante la integración de cada una de ellas poder dar una solución óptima a la necesidad de recolectar y clasificar los desechos en su sitio de origen, ya sea en las empresas, fábricas, instituciones educativas, centros comerciales u hogares y en general en cualquier lugar que requiera de un proceso ágil y automatizado en la recolección y clasificación de los productos reciclables.

Este proyecto se integra a proyecto “aplicación web de gestión y comunicación con centros de acopio, para la recolección de residuos aprovechables con integración al sistema de hardware de clasificación de materiales reciclables”, para el proceso de su gestión y recolección por parte de los centros de acopio para el aprovechamiento del material reciclable, o simplemente para

ahorro de tiempo, de costos, o recursos en el proceso de reciclaje y de esta forma contribuir al cuidado del medio ambiente.

## **2. Problema de la Investigación**

18

### **2.1 Descripción del Problema**

Al momento de generar el desecho o basura en cada uno de los puntos de origen se presenta la dificultad de una adecuada clasificación de productos reciclables porque se combinan los materiales, y esto provoca la contaminación de los mismos que posteriormente no podrán ser aprovechados, por ejemplo al mezclar los residuos de alimentos con los demás materiales como el cartón, plástico o vidrio genera que estos dejen de ser reciclables, además, al estar todos los desechos combinados los recicladores generan suciedad y contaminación en las calles al intentar separarlos. Estas malas prácticas en el proceso de reciclaje en ocasiones es producto de la falta de conocimiento o capacitación, de la poca costumbre de reciclaje, o simplemente por no disponer de las diferentes canecas para cada tipo de basura debidamente rotulada, entre otras, estas causas conllevan a un mal proceso de recolección, reciclaje, almacenamiento, disposición final de los desechos y como consecuencia los botaderos de basura se llenan rápidamente, se consumen más recursos naturales al no contar con un buen reciclaje y por ende un reaprovechamiento de los productos de desecho que serán insumos para otros nuevos, todo lo anterior además del daño al medio ambiente, también aumenta los costos en las materias primas, hace ineficiente la cadena de reciclaje y la disposición final de las basuras.

### **2.2 Formulación del Problema**

Debido al bajo aprovechamiento y clasificación de los productos reciclables que se generan en los diferentes sitios de producción, por la falta de un sistema inteligente, ágil, automático de clasificación de materiales y que sea a bajo costo no se hace el debido proceso de reciclado, por otro lado, en los lugares donde se realiza no se hace de la forma adecuada y eficaz porque se cometen errores humanos en el proceso de clasificación y dispensación de los productos

reciclables al ser este manual, además del consumo excesivo de recursos entre estos el tiempo y el costo de los operarios del reciclaje que hacen del reciclaje un proceso tedioso e ineficiente, por lo anterior se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo se puede contribuir en la clasificación de los desechos que se originan en los diferentes lugares de la ciudad para optimizar los procesos de la cadena de reciclaje?

## **3. Objetivos de la Investigación**

20

### **3.1 Objetivo General**

Desarrollar un prototipo de sistema de clasificación de materiales reciclables mediante el reconocimiento de imágenes, con la integración de hardware libre para automatizar la recolección.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Implementar algoritmos de reconocimiento de imágenes a un material aprovechable para la construcción del sistema automatizado de reciclaje llamado caneca inteligente.
- Identificar el hardware que se adapte a las necesidades del proyecto manteniendo como principio los bajos costos y la recursividad en el desarrollo del prototipo.
- Desarrollar el prototipo a escala de caneca inteligente de reciclaje automatizada (mediante el uso de hardware y software) para la clasificación y recolección de materiales reciclables.
- Realizar pruebas funcionales y de integración del hardware junto con el software de la caneca inteligente y su algoritmo de reconocimiento de imágenes en un solo sistema.

## **4. Justificación y Delimitaciones de la Investigación**

21

### **4.1 Justificación**

En la actualidad el tema del cuidado del medio ambiente ha cobrado gran importancia, al punto que es indispensable un sistema eficiente de recolección de basuras y de clasificación de las mismas desde el sitio donde se originan y de esta forma garantizar que los productos de reciclaje que son totalmente aprovechables, es por ello que en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [1] propuesto por la Organización de las naciones Unidas (Naciones Unidas, 2021) y de los cuales el gobierno nacional adopta, se plantea los objetivos de producción y consumo responsable, ciudades y comunidades sostenibles mediante la economía circular de los materiales reciclables, también aplicando los objetivos de acción por el clima, la vida submarina y vida de ecosistemas terrestres, por lo tanto se contempla en el desarrollo del presente proyecto dichos objetivos que permiten contribuir a la implementación de nuevas tecnologías que aportan al cuidado del medio ambiente, además contribuye a la economía circular y de las personas que transforman los desechos reciclables en nuevos productos a bajo costo, puesto que el sistema de clasificación de materiales reciclables mediante la aplicación del reconocimiento de imágenes y haciendo uso de hardware para automatización de recolección que permitirá disminuir el nivel de error en la clasificación de los productos reciclables, además de hacer más ágil y eficiente el proceso de reciclaje al momento que el usuario desecha la basura en dicho sistema inteligente y automatizado.

### **4.2 Delimitaciones**

El proyecto de investigación estará delimitado por los siguientes apartados:

- Mediante la aplicación del reconocimiento de imágenes de un objeto (material reciclable), se desarrollará el algoritmo de reconocimiento y clasificación del residuo aprovechable para ser implementado en un sistema de hardware (caneca con sistemas ópticos, mecánicos

y electrónicos para la clasificación y recolección) que permita la clasificación automática del residuo al momento de desecharlo.

22

- Prototipo de caneca inteligente de recolección de basuras (Maqueta a escala) con sistema de clasificación de residuos reciclables con compartimientos de almacenamiento o llenado.
- Para cumplir con el desarrollo de este proyecto se seleccionará previamente los productos reciclables para efectos de comprobación y experimentación debido a las limitaciones del banco de imágenes (dataset), puesto que existen infinidad de producto reciclables con varias formas, colores, contornos y tamaños, lo cual desborda la capacidad del prototipo de caneca inteligente, del banco de imágenes, del procesamiento del algoritmo de Inteligencia Artificial (IA), entre otros aspectos técnicos.

### 5.1 Marco Conceptual

- **Inteligencia artificial (IA):** Es la capacidad que tienen los sistemas informáticos de emular la inteligencia humana en habilidades como el comprender el lenguaje natural, reconocer objetos, interpretar contextos o situaciones del diario vivir, analizar y resolver problemas, aprender a realizar tareas, en fin, busca dar a las maquinas la habilidad humana del cerebro dotándolas de inteligencia que les permita ser autónomas en los procesos para los que fueron creados. (enzymeadvisinggroup, 2020)
- **Machine Learning (Aprendizaje Automático):** es una de las ramas de la Inteligencia Artificial (IA) donde se le permite a las maquinas que estas aprendan a realizar actividades sin ser propiamente esta actividad programada, sino que a partir del reconocer patrones esta infiere o deduce una actividad o una actuación ante una situación o caso dado. Es decir, a partir de unos datos la maquina predice situaciones y se comporta con referencia a la predicción. (BBVA, 2019)
- **Deep Learning (Aprendizaje Profundo):** es una de las subcategorías del aprendizaje automático donde los sistemas aprenden de la experiencia o el entrenamiento repetitivo ejecutándose en su propio algoritmo, generando un aprendizaje donde estos entrenamientos producen datos de experiencia que posteriormente se auto implementan en su algoritmo de entrenamiento y adaptándose a los nuevos cambios para mejorar sus procesos o resultados. (BBVA, 2019).
- **PyTorch:** es una biblioteca de código abierto utilizada en el aprendizaje automático desarrollada en la biblioteca de Torch con el lenguaje Python

- **Tensores:** los tensores son las matrices multidimensionales similares a las matrices de Numpy.
- **Funciones:** son las encargadas de realizar operaciones de transformación y no tienen una memoria para almacenar ningún estado.
- **Regresión lineal:** es una de las formas de realizar análisis a partir de un conjunto de variables predictoras.
- **Aprendizaje supervisado:** es una categoría de algoritmos de aprendizaje que se basan en datos previamente etiquetados
- **Regresión Multivariante:** es un tipo de algoritmo de aprendizaje automático que involucra múltiples variables de datos para el análisis.

## 5.2 Marco Teórico

### 5.2.1 Reconocimiento de imágenes

El reconocimiento de imágenes permite identificar diferentes objetos usando técnicas de Deep Learning y también al ejecutar la clasificación de estas, este proceso se realiza por medio del etiquetado de las imágenes para obtener una búsqueda más rápida de los elementos para ser comparados con el algoritmo de entrenamiento con la imagen tomada del sistema al producto a reciclar. Existen servicios en la nube de almacenamiento de banco de imágenes (dataset) como AWS, Google Cloud o Microsoft Azure que permiten ser accedidos y realizar el entrenamiento de los algoritmos de búsqueda, clasificación y reconocimiento de las imágenes facilitando la labor de realizar un banco de imágenes robusto para poder realizar el entrenamiento del algoritmo y poder obtener un modelo de inteligencia artificial (IA) eficiente. El lenguaje más usado para el desarrollo de estas herramientas en IA es Python por ser muy versátil, ligero y contar con bastante soporte y ejemplificación de proyectos de IA. (C, 2018)

cumplan con condiciones específicas de tamaño, de resolución, de etiquetado, formato, entre otros, y de esta forma poder tener más precisión en los algoritmos de reconociendo, de los patrones de coincidencia y características específicas de las imágenes de los objetos a clasificar o a identificar con un bajo porcentaje de error, usando modelos de redes neuronales se puede obtener un óptimo y eficiente algoritmo de reconocimiento y clasificación del objeto deseado. (Pedamkar, educba.com, 2017)

Las redes neuronales permiten realizar un modelo entrenado donde se pueda identificar puntos, líneas, curvas, etc., de la imagen con formas complejas y con el nivel adecuado de ciclos de entrenamientos lograr una coincidencia con errores menores al uno por ciento (1%), es decir obtener modelos entrenados eficientes y eficaces para el reconocimiento de imágenes. (Skansi, 2018)

### **5.2.2 Frameworks**

Keras es una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) diseñada utilizando las mejores prácticas de diseño y desarrollo para optimizar la carga y procesamiento de datos al realizar un proceso mediante un algoritmo de IA, por lo que minimiza el número de acciones que requiere el usuario para sus desarrollos, además permite identificar los mensajes de error, brindando una extensa documentación al respecto y poder entender la utilidad de algunas funciones fácilmente sirviendo como una guía para los desarrolladores del proyecto. (Gupta, 2018)

También es importante mencionar a Pytorch que es una biblioteca de código abierto que es utilizada en aplicaciones enfocadas al aprendizaje profundo, además de la construcción de redes neuronales complejas porque tiene una estructura de datos centrales y matrices

multidimensionales, esta herramienta se adapta a las necesidades de los proyectos, 26 gracias a esto el desarrollo de redes neuronales enfocadas al reconocimiento de imágenes y automatización de gran parte de los procesos que se ejecutan asignando en los procesadores que tiene el computador las diferentes actividades para optimizar los tiempos de ejecución. El procesamiento de imágenes y videos mediante Pytorch es altamente preciso y reduce la probabilidad de fallos en el algoritmo. (Gupta, 2018)

### **5.2.3 Modelos de aprendizaje**

La Arquitectura del aprendizaje automático se ha utilizado para el reconocimiento de patrones mediante aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje por refuerzo, los algoritmos que se utilizan se basan en etiquetas que se les asignan a los datos para aumentar la capacidad de predicción, es necesario realizar varias iteraciones y entrenar mediante información relevante según los requerimientos del proyecto. El rendimiento de los procesos que se ejecutan es mayor porque este mecanismo utiliza las experiencias o compilaciones anteriores con patrones recopilando datos aumentando su eficiencia y reduciendo los tiempos prolongados de ejecución. (Peamkar, educba.com, 2017).

El etiquetado es el proceso de identificación de información sin procesar por lo que se utilizan texto, imágenes y videos, para lograr una mejor clasificación de estos datos se le deben agregar más de una etiqueta para que el modelo tenga mayor efectividad, este tipo de datos son utilizados en modelos de aprendizaje supervisado. (Segui, 2017)

Los algoritmos de aprendizaje automático utilizan gran variedad de lenguajes como Python, C++, Java, cada uno tiene ventajas, desventajas y características específicas que es necesario tener el conocimiento de cuál es el lenguaje más apropiado para el desarrollo de los algoritmos porque cada uno tiene funciones distintas según el proyecto.

La regresión se utiliza para realizar predicciones con datos entrenados que se puedan aplicar a diferentes modelos de regresión según la información obtenida previamente siendo necesario definir qué tipo de regresión se ajusta más al desarrollo del proyecto, es importante tener en cuenta si los datos están clasificados mediante detalles específicos. (Pedamkar, educba.com, 2017).

La agrupación de los datos es importante porque según las características de los datos se crean grupos según la necesidad que se tiene, en los proyectos como en la segmentación de imágenes, agrupación de modelos de búsqueda y detección de anomalías se puede utilizar para los algoritmos de aprendizaje supervisado. (Kubat, 2017)

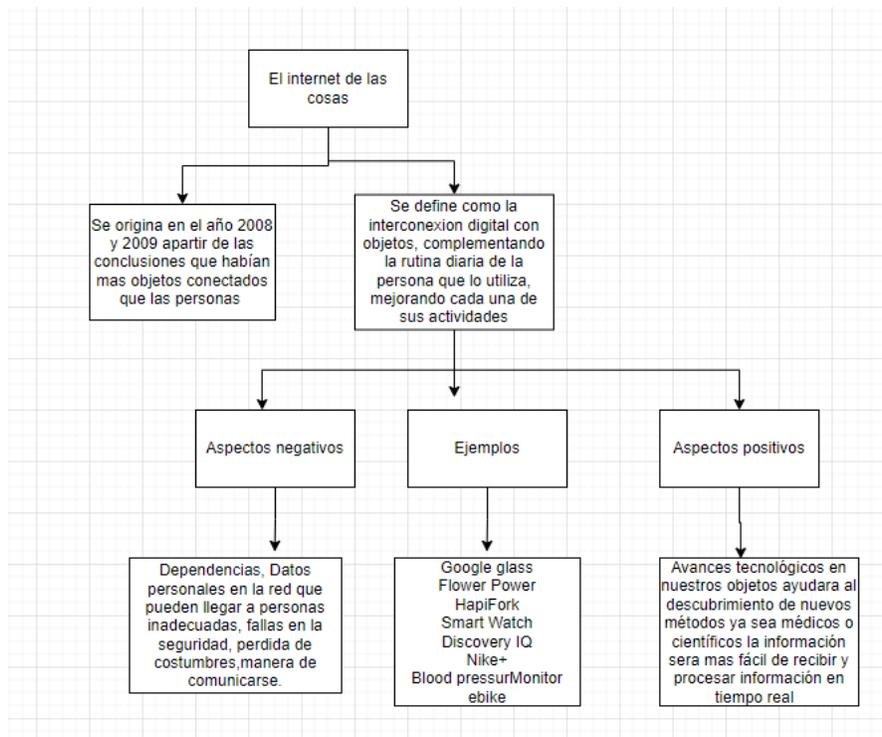
#### **5.2.4 *Internet de las cosas (IoT)***

Internet de las cosas (IoT) es una tecnología que permite tener toda clase de dispositivos electrónicos conectados a Internet, no solamente hacen parte los teléfonos inteligentes, tablet o computadoras, sino también los dispositivos de nueva generación como los relojes inteligentes con la incorporación de sistemas de posicionamiento global (GPS), las cafeteras con acceso a wifi, de igual manera las neveras inteligentes o neveras de medicamentos con sistemas de alarmas por internet para ser enviadas al gestor de los mismos y actualmente los más comunes los televisores con acceso a internet y vehículos con radios inteligentes con GPS y entre otros, en conclusión todo aquel dispositivo electrónico que tenga una comunicación unidireccional o bidireccional accediendo al servicio de internet con la integración de actuadores y sensores se considera parte de la categorización del internet de las cosas, esta es la tecnología del futuro por la facilidad del control de los mismos, su monitorización de los datos adquiridos, la comunicación entre el emisor y receptor para proceder con la toma de decisiones que conlleven a una acción mediante un actuador electrónico o mecánico, esta tecnología es lo que en un futuro tendrán la mayoría de



diseño de los dispositivos inteligentes debe contemplar sistemas redundantes de seguridad informática de alarmas a fallos y de funcionamiento con técnicas de respaldo. La Figura 2 presenta un mapa conceptual con el origen del internet de las cosas y otros aspectos.

**Figura 2.** Mapa conceptual del internet de las cosas



Fuente (practica6kimberly, s.f.)

Según Pablo G. Bejarano periodista especializado de tecnología de la empresa Telefónica afirma que [2]: Hoy en día se cambia un interruptor de la luz cuando éste se estropea, mientras que el Internet de las cosas representará un incentivo para modernizar el sistema completo. Así, se podrá ahorrar energía, disponiendo también de las facilidades, comodidades o beneficios que ofrece el control remoto.

estudio donde resalta la razón principal de las empresas y personas para migrar a las nuevas tecnologías con dispositivos de internet de las cosas en el 2014 el cual dice que el 38% de los usuarios de Internet de las cosas ahorran tiempo interactuado con los mismos o con sus procesos de forma remota, también el ahorro de energía es significativo y este es evidente en el caso de iluminarias inteligentes y sistemas de calefacción automatizados e inteligentes, también para las empresas se obtienen ventajas comerciales y de logística como mayor precisión en la cadena de proveedores y el incremento de la productividad tanto de los empleados como de las máquinas y todo esto se traduce finalmente a aumento de los beneficios económicos y ahorro de recursos.

Un estudio de junio de 2013 realizado por The Economist [2] concluyó que el 40% de las compañías están investigando las posibilidades del nuevo campo, mientras que un 17% planean lanzar productos con esta tecnología.

### **5.2.5 Electrónica básica**

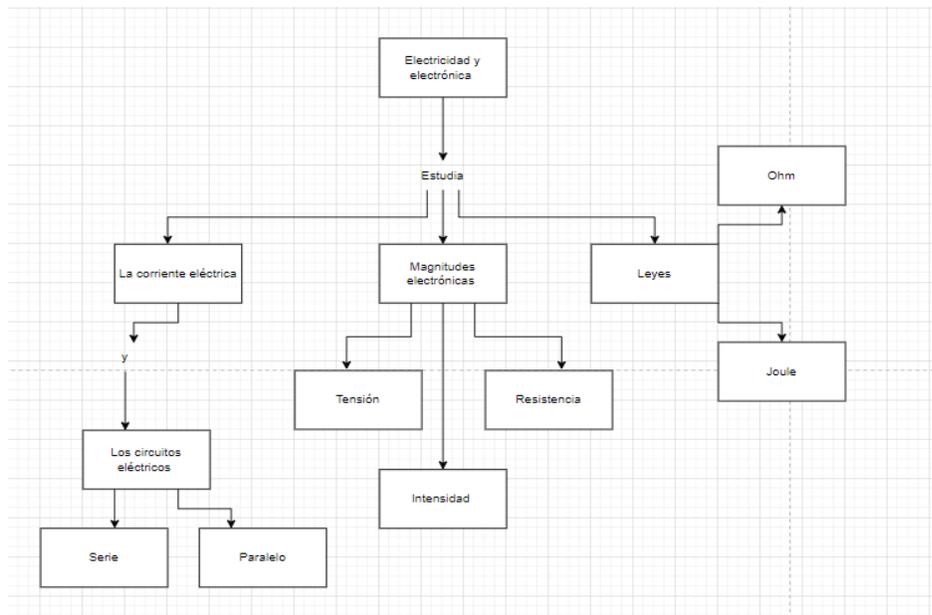
El estudio de la electricidad y la electrónica es fundamental para la construcción de dispositivos que contengan hardware y que estén conectados al internet, en este proyecto se construye un sistema de recolección y clasificación automático de productos reciclables por lo tanto se revisan y estudian temas relacionados con la electrónica y específicamente con los sensores, actuadores, componentes electrónicos y sistemas embebidos que se requieren para el desarrollo del prototipo se dan algunas definiciones importantes para abordar la temática.

- **Voltaje o tensión eléctrica:** El voltaje es la magnitud que da cuenta de la diferencia en el potencial eléctrico entre dos puntos determinados. También llamado diferencia de potencial o tensión eléctricos, es el trabajo por unidad de carga eléctrica que ejerce sobre

una partícula un campo eléctrico, para lograr moverla entre dos puntos determinados. Se mide en Voltios (V). [3] 31

- **Corriente eléctrica:** Se llama corriente eléctrica al flujo de carga eléctrica a través de un material conductor, debido al desplazamiento de los electrones que orbitan el núcleo de los átomos que componen al conductor. Su unidad de medida es el amperio (A). [3]
- **Resistencia eléctrica:** La resistencia eléctrica indica qué tanto cierto objeto resiste una corriente eléctrica. La resistencia depende del material con el que está hecho el objeto, sus características geométricas (como la longitud y el área transversal) y la temperatura. Su unidad de medida es el ohmio u ohm (símbolo:  $\Omega$ ). [3]
- **Potencia eléctrica:** Se refiere a la cantidad de energía transmitida por unidad de tiempo en un sistema o circuito. La potencia se mide en watts (W). [3]
- **Ley de Joule:**  $P(t) = I(t) \cdot V(t)$ , donde I es la corriente circulando, medida en amperios, y V es la diferencia de potencial (la caída de voltaje) medida en voltios. En caso de que se trate de una resistencia en lugar de un conductor de electricidad, la fórmula a emplear será  $P = I^2R = V^2/R$ , donde R es la resistencia del material, medida en ohmios. [3]
- **Ley de Ohm:** dicta que la diferencia de potencial (V) aplicada entre los extremos de un conductor específico será proporcional a la cantidad de corriente (I) que circula por el conductor, dependiendo de su resistencia. Esto fue plasmado en la siguiente fórmula:  $V = R \cdot I$ , donde V es la tensión, I es la corriente y R la resistencia del material. [3]

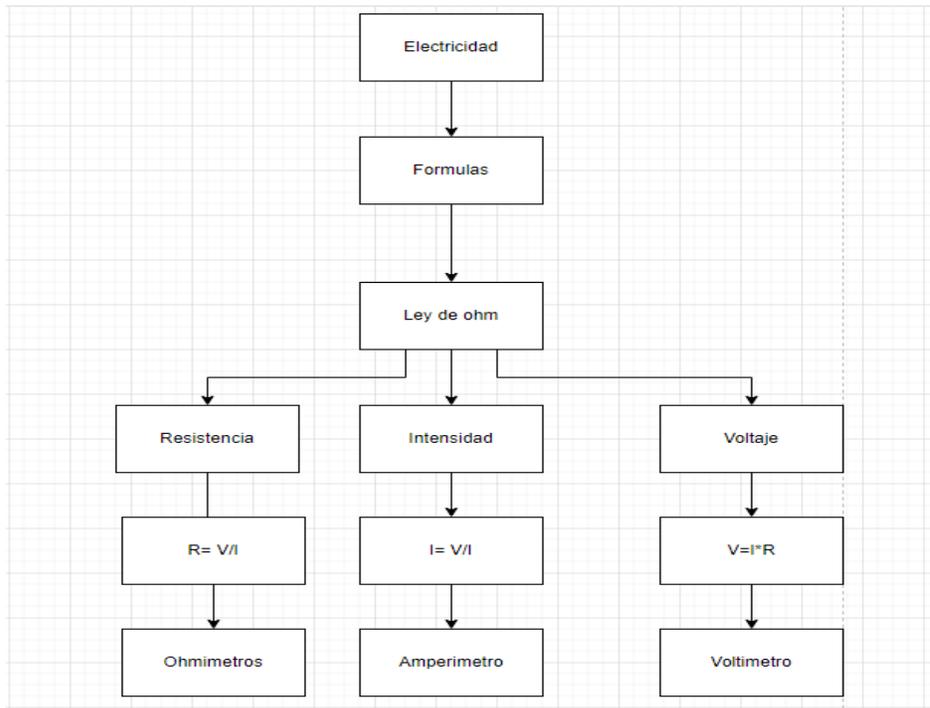
Se procede al estudio de la electrónica mediante el uso de los mapas mentales y cuadros sinópticos como se puede evidenciar en la (Figura 3) para facilitar su comprensión.



Fuente (juntadeandalucia.es, s.f.)

Como se observa en la figura N.3 del mapa conceptual electricidad y electrónica, muestra las magnitudes eléctricas y leyes más importantes que se deben repasar para realizar el hardware (caneca inteligente de recolección y clasificación de productos reciclables) en este proyecto, esto con el fin de poder hacer los ensambles y montajes de los componentes de electrónica que se estudiarán más adelante.

La figura 4 “Ecuaciones y ley de ohm de electricidad” muestra las tres ecuaciones usadas para hallar el voltaje o la corriente o la resistencia en un circuito dado y el instrumento de medición llamado voltímetro para medir la magnitud eléctrica “voltaje” el amperímetro para medir la magnitud eléctrica “corriente o intensidad” y óhmetro para medir la magnitud eléctrica “Resistencia”, este instrumento de medición agrupa estas magnitudes eléctricas y otras más según el instrumento adquirido Vs el precio y se le da el nombre de multímetro porque mide múltiples variables eléctricas, como se observa en la figura 5.



Fuente: (cmapublic2.ihmc.us, s.f.)

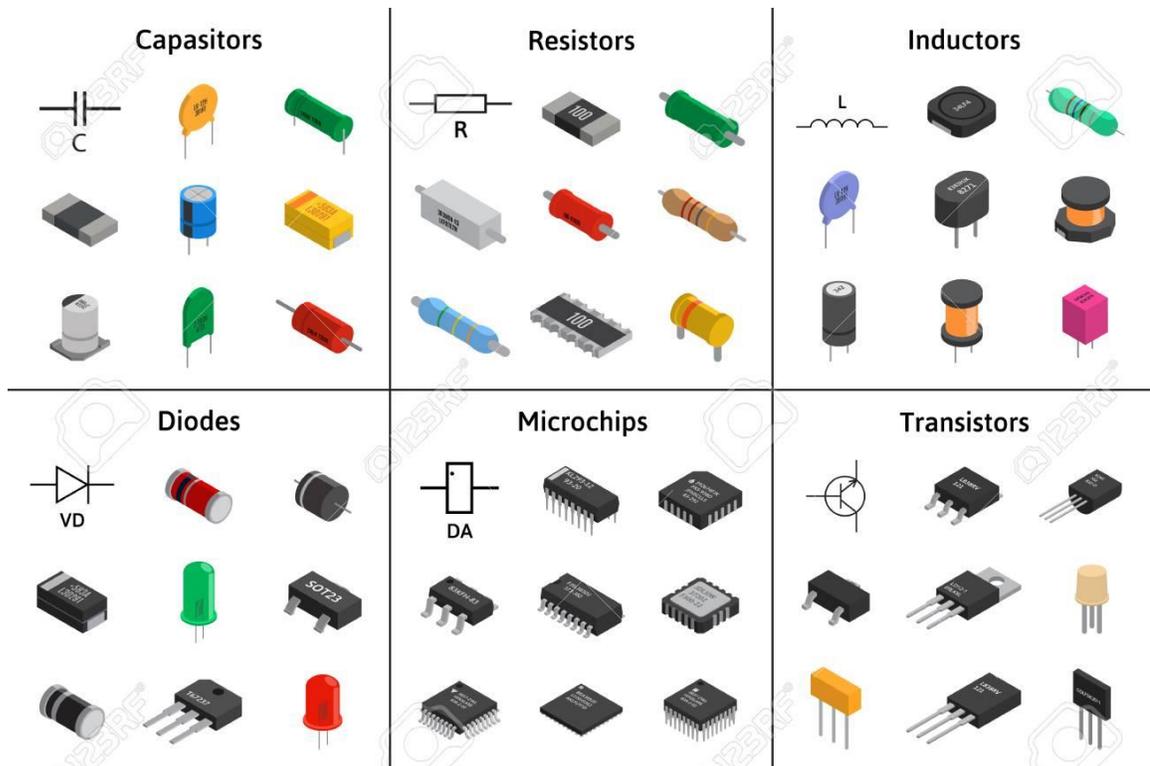
Figura 5. Instrumento de medición en electricidad – Multímetro digital



Fuente: (fluke.com, s.f.)

En este apartado se explica los componentes más importantes usados en este proyecto, y se presenta otros en la figura 6 para que el lector interesado en el tema del internet de las cosas tenga nociones más profundas de electrónica y pueda desarrollar sus propios proyectos.

**Figura 6.** Componentes electrónicos



Fuente: (123rf.com, s.f.)

- **Resistencias:** Componente electrónico cuya función es limitar el paso de corriente a otro componente electrónico en un circuito eléctrico, además dependiendo de su valor y configuración en el circuito establece la corriente y tensión que circula por el componente en dicho circuito eléctrico. [4]
- **Condensadores:** Los condensadores o capacitores por su magnitud eléctrica llamada capacitancia (C), son elementos o componentes electrónicos cuya función es almacenar

energía en forma de campo eléctrico, esto depende de su capacidad de almacenamiento dada en faradios (f), esta energía posteriormente es descargada en el circuito según el diseño de este, hay diferentes encapsulados según materiales de fabricación y tamaño incluso con polaridad y sin polaridad. [4]

- **Bobinas.** Estos elementos también son llamados inductores por su magnitud eléctrica llamada inductancia (L), su función es almacenar energía en forma de campo magnético, su propiedad de autoinducción le permite atenuar o almacenar energía que posteriormente regresa al circuito según diseño del circuito. [4]
- **Diodos:** Son elementos semiconductores que permiten el paso de la corriente eléctrica en un solo sentido, se usan para rectificar una señal eléctrica o en caso del diodo emisor de luz (LED) para generar luz al paso de corriente por el componente. [4]
- **Transistor:** Es un componente fabricado de materiales semiconductores que permite amplificar corriente o también se puede comportar como interruptor electrónico esto según la configuración del componente, hay diferentes tipos según su capacidad de amplificación o ganancia y en diferentes encapsulados y tamaños. [4]
- **Microchips:** Son pequeños circuitos integrados en un solo encapsulado compuesto en su mayoría de múltiples transistores, diodos y en ocasiones condensadores y resistencias, internamente están configurados para desarrollar distintas funciones ya preestablecidas según su diseño. [4]

### 5.2.7 *Circuito embebido*

Un circuito embebido es una placa electrónica que contiene un microchip programable o microcontrolador y muchos más componentes electrónicos que van a formar en conjunto un circuito impreso en una placa para ser usado como sistema de control programable para gobernar

actuadores y recibir señales de los sensores , para la construcción de dispositivos electrónicos aún más complejos, son muy utilizados para desarrollos de dispositivos electrónicos porque permiten programarse según las necesidades del proyecto a realizar, es decir , se consideran el cerebro del dispositivo. A continuación, algunos circuitos embebidos:

- **Microcontrolador Arduino:** El Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL como se ve en la figura 7. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa [5].

**Figura 7.** Placa Arduino

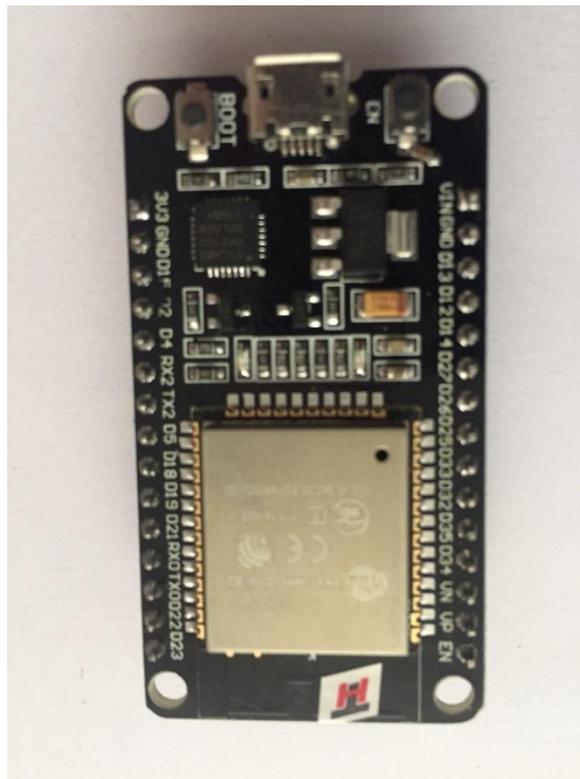


Fuente. Autores 2022

- **Módulo o tarjeta ESP32:** Es un sistema embebido de desarrollo electrónico que integra la función de comunicación wifi y Bluetooth , es muy usado en proyectos de Internet de las Cosas (IoT) por su bajo costo y versatilidad a la hora de programarlo e implementarlo por ser de código abierto y contar con multiples bibliotecas que facilitan su programación, se observa en la figura 8. [6]

37

**Figura 8.** Placa ESP32



Fuente. Autores 2022

Estos módulos o placas están permitiendo automatizar procesos en las fábricas y a su vez monitorizarlos y controlarlos por internet en tiempo real, haciendo de estas fábricas más productivas y eficientes. [6]

- **Módulo o tarjeta ESP32-CAM:** Este módulo o placa embebida cuenta con una cámara y un conector para memoria microSD por esta razón fue la utilizada en el presente proyecto, también cuenta con conexión a wifi y Bluetooth, por estas características de diseño es muy usada para [7]:
  - Toma de fotos.
  - Streaming de video.
  - Reconocimiento facial.
  - Detector de movimiento.

Para este proyecto se usará en toma de fotos y en detección de movimiento. El sistema embebido ESP32-CAM como se observa en la figura 9.

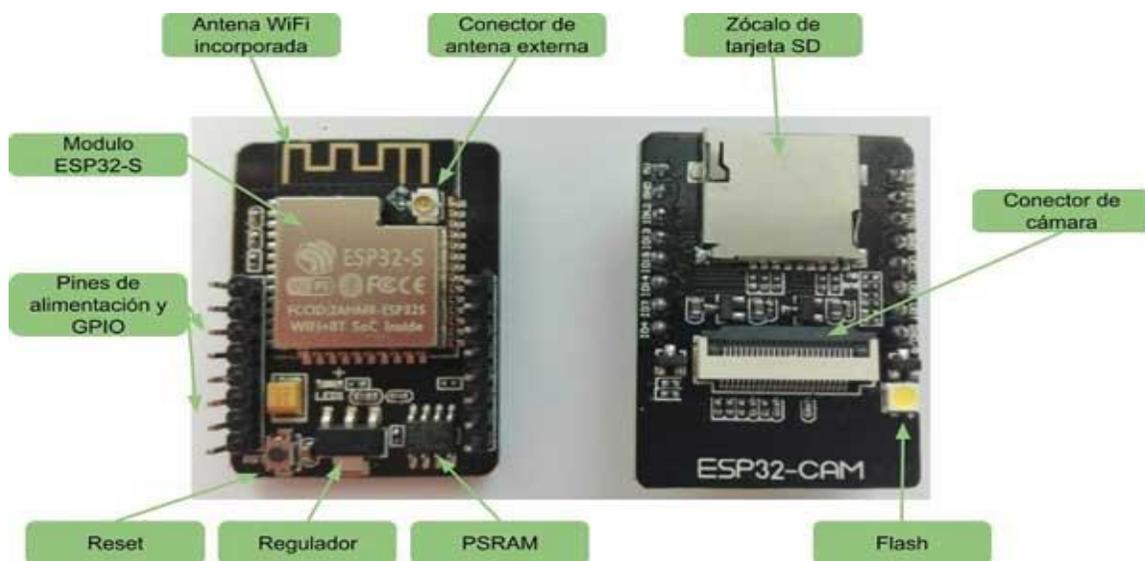
**Figura 9.** Placa ESP32-CAM



Fuente: (programarfacil.com, s.f.)

Esta placa trae menos pines (9 pines) para ser usados en los diseños electrónicos o periféricos de entrada y salida porque los demás están en uso con la cámara y la microSD. En la figura 10 se muestra las partes más importantes de este módulo y sus características técnicas, siendo estas las más convenientes para el desarrollo del proyecto.

**Figura 10.** Partes más importantes de la Placa ESP32-CAM



Fuente: (programarfacil.com, s.f.)

- **Especificaciones técnicas del módulo ESP32-CAM [7]**
  - ✓ Módulo ESP32-S: junto con la antena wifi incorporada componen el ESP32
  - ✓ Wifi: 802.11b/g/n/e/i
  - ✓ Seguridad: WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
  - ✓ CPU: 32-bit CPU de bajo consumo (2 cores).
  - ✓ Velocidad de reloj: hasta 160 MHz.
  - ✓ Bluetooth: Bluetooth 4.2 con BLE.
  - ✓ Interfaces: UART, SPI, I2C and PWM. Hasta 9 pines GPIO
  - ✓ RAM: 520 KB SRAM, externa 4 MB PSRAM
  - ✓ Soporte microSD: hasta 4GB
  - ✓ Múltiples modos de reposo (sleep modes):
    - ✓ Deep-sleep: máximo bajo consumo que puede alcanzar 6mA@5V.

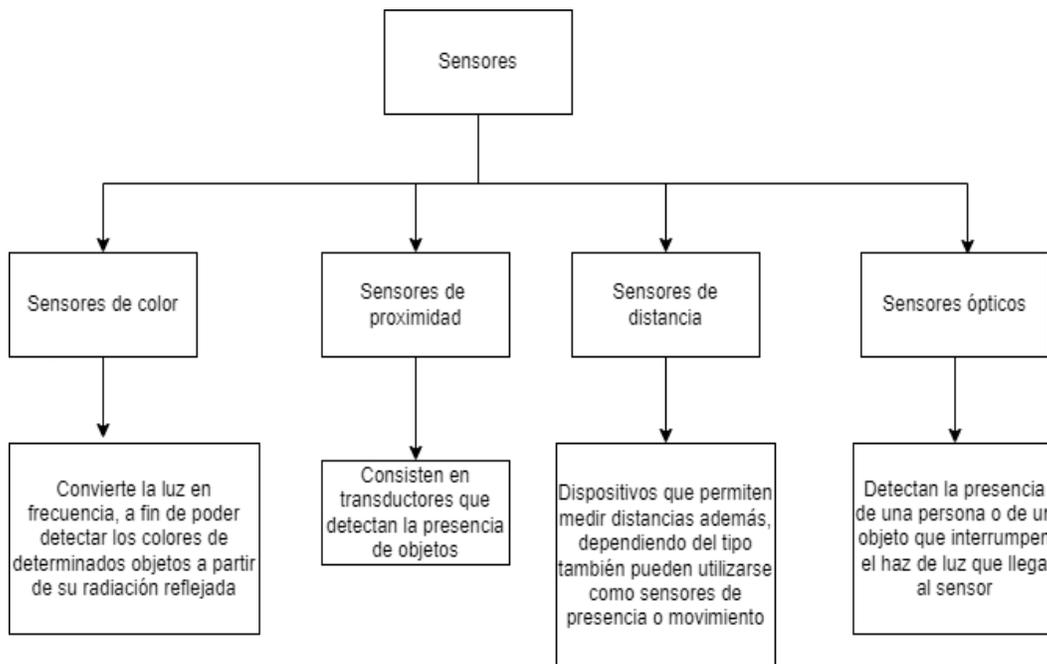
- ✓ Modern-sleep: hasta 20mA@5V.
- ✓ Light-sleep: hasta 6.7mA@5V.
- ✓ Firmware actualizable a través de OTA (Over-The-Air).
- ✓ Flash incorporado.
- ✓ Voltaje de alimentación: 5 V.
- ✓ Conector de antena externa: en situación de comunicaciones poco estables se puede añadir una antena externa.
- ✓ Cámara:
- ✓ Soporte para cámaras OV2640 y OV7670.
- ✓ JPEG (OV2640 soportada), BMP, GRAYSCALE.
- ✓ Sensor 2 Megapixel.
- ✓ Resolución UXGA 1622×1200 px.
- ✓ Transferencia de imagen entre 15 y 60 FPS.

### 5.2.8 *Sensores electrónicos.*

Los sensores son dispositivos electrónicos que toman las señales físicas del medio ambiente, es decir del entorno para el que fueron diseñados, generalmente toman señales análogas del espectro electromagnético de una magnitud física para luego poder medir dicha magnitud en una escala determinada, y posteriormente ser digitalizadas y procesada por un microcontrolador o sistema embebido convirtiéndolas a otro tipo de señales con las que se gobernará o controlará otro dispositivo, electrónico o electromecánico como un motor, un mecanismo o un dispositivo de control diseñado especialmente para un fin determinado. Si el sensor que captura la señal generada de la magnitud física que se desea medir, a su vez transforma dicha señal a otro tipo de señal se le conoce como transductor, por ejemplo el transductor de ultrasonido, que captura las señales u

ondas de sonido ultrasónicas y las convierte a señales eléctricas con ayuda de sistemas electrónicos o electro- mecánicos (cristales piezoeléctricos), cumpliendo dos funciones en el mismo componente, la de censar y de transformar la señal para su posterior procesamiento de señal. En la (Figura 11) se observa una clasificación común de los diferentes tipos de sensores en un mecanismo robótico.

**Figura 11.** Cuadro sinóptico sensores



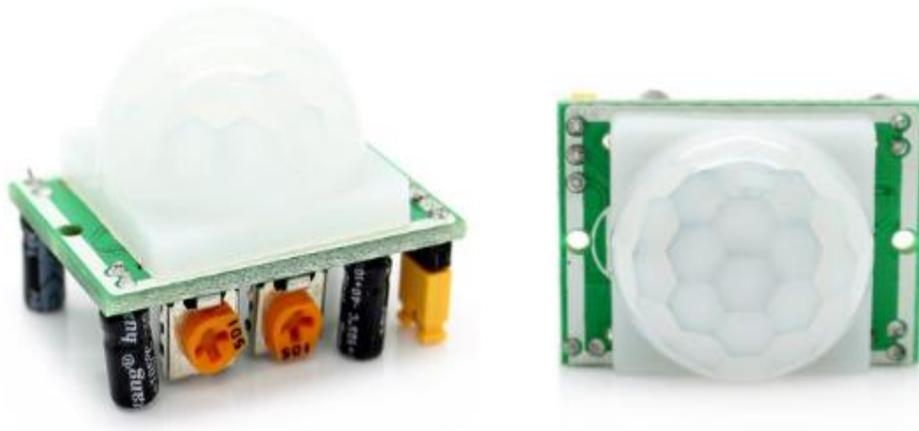
Fuente: (mindomo.com, s.f.)

- **Ejemplo: Sensor de movimiento - PIR HC-SR501**

El sensor piro eléctrico infrarrojo o también llamado sensor PIR de movimiento, genera una señal eléctrica cuando detecta calor por las señales infrarrojas que un cuerpo emite, o cuando este se está moviendo, es muy utilizado en proyectos donde se desea abrir puertas de manera automática, o activar motores al detectar la presencia del cuerpo humano o iluminarias de forma

automática en espacios de edificios donde se requiera y al tiempo ahorrar energía. En la (Figura 12) se observa el Sensor PIR. [8]

**Figura 12.** Sensor de movimiento PIR HC-SR501



Fuente: (electronilab.co, s.f.)

- **Características técnicas del sensor de movimiento PIR HC-SR501 [8]**
  - ✓ El módulo incluye el sensor, lente, controlador PIR BISS0001, regulador y todos los componentes de apoyo para una fácil utilización
  - ✓ Rango de detección: 3 m a 7 m, ajustable mediante trimmer (Sx)
  - ✓ Lente fresnel de 19 zonas, ángulo < 100°
  - ✓ Salida activa alta a 3.3 V
  - ✓ Tiempo en estado activo de la salida configurable mediante trimmer (Tx)
  - ✓ Redisparo configurable mediante jumper de soldadura
  - ✓ Consumo de corriente en reposo: < 50  $\mu$ A
  - ✓ Voltaje de alimentación: 4.5 VDC a 20 VDC
  
- **Ejemplo: sensor ultrasonido HC-SR04**

El sensor de ultrasonido HC-SR04 está compuesto por un emisor y un receptor de ultrasonidos. El sensor de ultrasonido se usa principalmente para medir la distancia que se encuentra ubicado de frente, funciona enviando pulsos de ultrasonido y midiendo el tiempo que dura en volver dicha señal de ultrasonido, es decir, usa el efecto doppler y mide el tiempo de respuesta. En la (Figura 13) se observa el Sensor de Ultrasonido. [9].

**Figura 13.** Sensor ultrasonido HC-SR04



Fuente. Autores 2022

- **Descripción técnica de pines del sensor ultrasonido HC-SR04 [9]:**
  - VCC: Pin de alimentación. (5V).
  - Trigger: Pin de disparo. Este pin es una entrada, por lo que, en el sistema de control, por ejemplo, Arduino, se tiene que conectar a una salida.
  - Echo: Este pin es una salida del sensor, por lo que ha de ser conectado a una entrada del sistema de control.
  - GND: Pin negativo de alimentación.
- **Características eléctricas del sensor ultrasonido HC-SR04 [9]:**
  - Voltaje de trabajo: 5V.

- Corriente de trabajo: 15mA.
- Frecuencia de trabajo: 40KHz.
- Rango de funcionamiento: 2 a 500 cm.
- Ángulo de detección: 15 a 20 grados.

### 5.2.9 *Actuadores electrónicos*

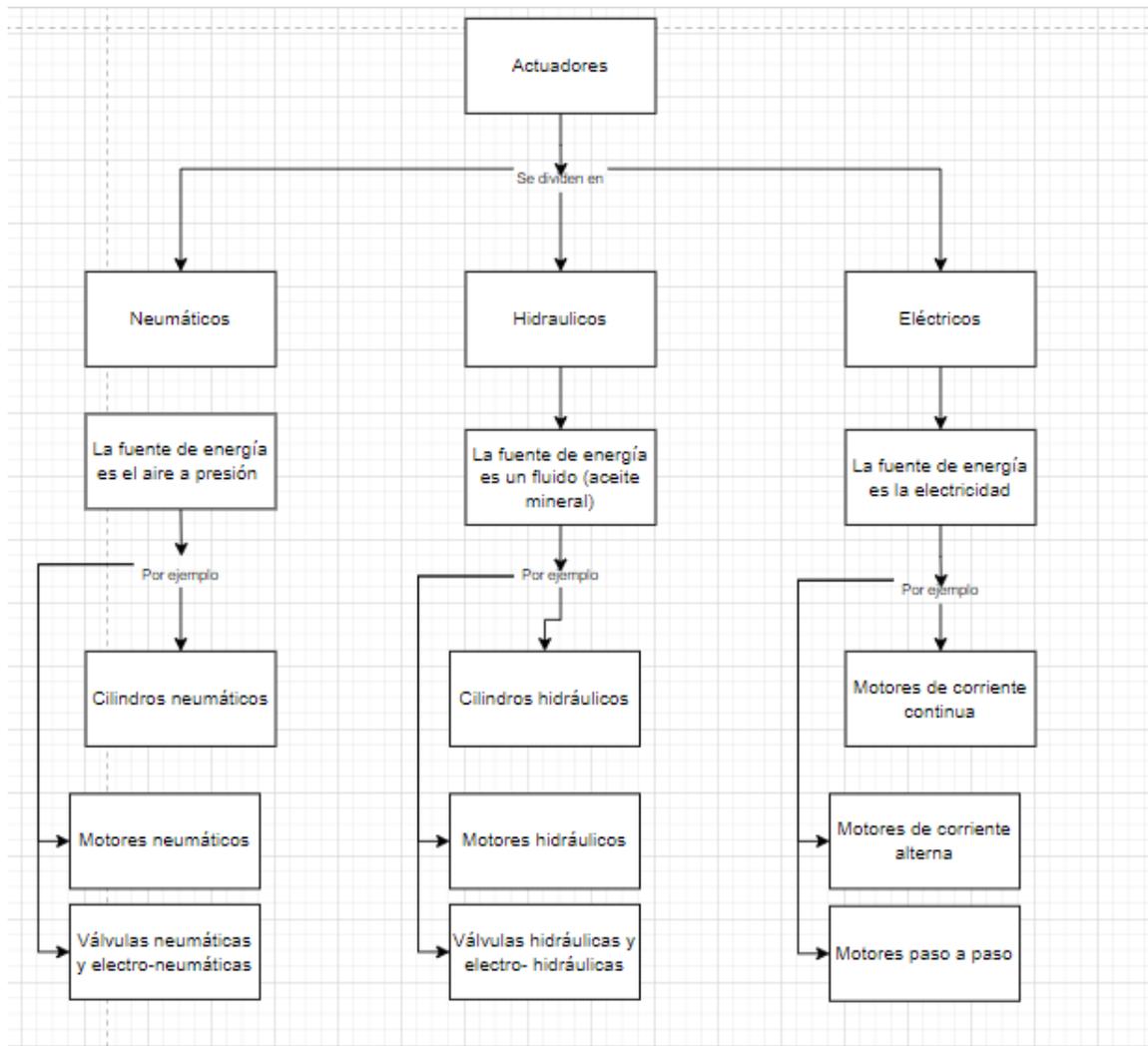
Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en energía mecánica. Los actuadores pueden verse como transductores (un transductor es cualquier elemento que convierte una forma de energía en otra forma de energía); por ejemplo, el motor convierte energía eléctrica cuando es conectado a una fuente de energía eléctrica (batería o toma eléctrica) en energía mecánica rotacional, es decir, el eje del motor genera un movimiento giratorio con una velocidad de rotación cuya unidad de medida es revoluciones por minuto (RPM) [10].

- **Características que conforman un actuador [10].**
  - Sistema de accionamiento: es el encargado de producir el movimiento.
  - Sistema de transmisión: es el encargado de transmitir el movimiento del actuador a otros elementos.
  - Sistema reductor: encargado de adecuar el torque y la velocidad del actuador a los valores requeridos.
  - Sistema de control: encargado de enviar las órdenes al actuador para que se mueva de cierta manera.
- **Tipos de actuadores:**
  - Hidráulicos

- Neumáticos
- Eléctricos

El siguiente mapa conceptual muestra la clasificación de los actuadores según el tipo de energía empleada, ver figura 14.

**Figura 14.** Cuadro sinóptico actuadores



Fuente: (solorobotica.blogspot.com, s.f.)

- **Los actuadores neumáticos:** usan la presión del aire comprimido para generar movimiento de mecanismos que según su diseño pueden permitir moverse de forma circular o lineal. Un ejemplo es la pieza de mano, o micromotor en las unidades odontológicas que funcionan con aire comprimido como fuente de energía.
- **Los actuadores hidráulicos:** Son mecanismos que se activan por efecto de un fluido como un aceite mineral, transfiriendo esta presión del líquido impulsado por una bomba hidráulica a un pistón que genera un movimiento determinado. Ejemplo: un gato hidráulico para levantar un vehículo de forma vertical.
- **Los actuadores eléctricos:** Con el uso de la energía eléctrica ya sea de corriente continua o corriente alterna la convierten en movimiento circular o lineal según el diseño del eje del motor y sus engranajes y sus demás mecanismos internos, también hace parte de esta clasificación los motores paso a paso con la disposición de bobinas adecuadas para lograr movimiento giratorio por pasos en los 360 grados de giro del rotor, y los servomotores cuyo eje gira 180 o 360 grados con el control de las bobinas del rotor que mediante la corriente continua y la modulación del ancho de pulso eléctrico que las alimenta o energiza se obtiene un giro del eje determinado según el voltaje del pulso y del tiempo de la duración del mismo. En la (Figura 15) se aprecian diferentes ejemplos de actuadores, sin embargo, en este proyecto se plantea usar motores paso a paso y servomotores como actuadores de apertura y cierre de las compuertas de almacenamiento de los productos reciclables.

**Motores paso a paso:** Los motores paso a paso son motores de corriente continua que se mueven en pasos discretos. Tienen múltiples bobinas que se organizan en grupos llamados "fases". Al energizar cada fase en secuencia, el motor girará, paso a paso.



**Actuador lineal** Un actuador lineal es un actuador que crea movimiento en línea recta, en contraste con el movimiento circular de un motor eléctrico convencional.



**Solenoid** Un solenoide es simplemente un electroimán especialmente diseñado. Los solenoides no son caros y su uso se limita principalmente a aplicaciones de encendido y apagado, como enclavamiento, bloqueo y activación.



**Servomotores.** Un Servo es un dispositivo pequeño que incorpora un motor de CC de dos cables, un tren de engranajes, un potenciómetro, un circuito integrado y un eje (columna vertebral de salida).



**Motores de corriente continua (motores de rotación continua):** El motor de corriente directa (CC) es el actuador más común utilizado en proyectos de electrónica. Son simples, baratos y fáciles de usar. Además, vienen en una gran variedad de tamaños, para adaptarse a diferentes tareas.



**Relé** Un relé es un interruptor accionado eléctricamente. Muchos relés usan un electroimán para operar mecánicamente un interruptor, pero también se usan otros principios operativos, como los relés de estado sólido.



### 5.3 Marco Legal

48

El proyecto que a continuación se presenta da cumplimiento con las siguientes leyes:

- **Ley 2232 del 2022**

Por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones.

**Artículo 1 Objeto.** Con el fin de resguardar los derechos fundamentales a la vida, la salud y el goce de un ambiente sano, se establecen medidas orientadas a la reducción de la producción y el consumo de plásticos de un solo uso en el territorio nacional, se dictan disposiciones que permitan su sustitución gradual por alternativas sostenibles y su cierre de ciclos, y se establecen medidas complementarias.

**Artículo 2°. Definiciones.** Para la aplicación de la presente Ley, se deben considerar las siguientes definiciones:

1. Aprovechamiento de residuos plásticos. Procesos mediante los cuales los residuos de material plástico se recuperan, en su orden, por medio de la reutilización, el reciclaje, la valorización energética, el procesamiento, o mediante cualquier otra tecnología que permita su reincorporación al ciclo productivo y/o generando beneficios sanitarios, ambientales, sociales o económicos.

2. Alternativas sostenibles. Materiales no plásticos reutilizables o plásticos biodegradables en condiciones ambientales naturales, reglamentados para el reemplazo progresivo de plásticos de un solo uso. También se considerarán como alternativas sostenibles aquellos productos que son elaborados de materiales plásticos reciclados y que pasen por un proceso de reciclaje efectivo, que cuentan con una cadena de valor debidamente constituida que permite su aprovechamiento, o que se encuentran sometidos a metas individualizadas por tipo de producto y/o polímero establecidas

en el marco de un modelo de economía circular y de Responsabilidad Extendida del Productor, según lo establecido en el artículo 18° de la presente ley.

49

3. Basura marina plástica. Cualquier material de base polimérica, descartado, desechado o abandonado que se encuentre en el ambiente marino y/o costero. 1

4. Biodegradabilidad. Es la capacidad que tiene una sustancia o producto para desintegrarse y descomponerse por la acción de microorganismos en elementos que se encuentran en la naturaleza tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua o biomasa. Ésta puede producirse en entornos ricos o pobres en oxígeno.

5. Bioeconomía: Economía que gestiona eficiente y sosteniblemente la biodiversidad y la biomasa para generar nuevos productos, procesos y servicios de valor agregado basados en el conocimiento y la innovación.

6. Cierre de ciclos. Acciones encaminadas a reincorporar subproductos o residuos, como materia prima o insumos dentro de los mismos u otros procesos productivos, con el fin de generar valor agregado sostenible.

7. Comercialización y distribución. Toda actividad orientada a comercializar o distribuir, al por mayor o al detal, un producto en el mercado nacional en cualquiera de sus fases, incluyendo ventas a distancia o por medios electrónicos.

8. Economía circular. Modelo económico basado en sistemas de producción y consumo que promueven la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de flujos de materiales a través de innovación tecnológica, colaboración entre actores y modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible. Su objetivo propenderá por el mantenimiento del valor de

los productos, los materiales y los recursos se mantengan durante el mayor tiempo posible en la economía y la reducción en la generación de residuos. 50

9. Ecodiseño. Proceso integrado dentro del diseño y desarrollo, que tiene como objetivo reducir los impactos ambientales y mejorar de forma continua el desempeño ambiental de los productos, a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de materia primas hasta el fin de su vida útil.

10. Embalaje o empaque de nivel medio - secundario. Recipiente o envoltura que contiene productos de manera temporal, principalmente para agrupar unidades de un producto pensando en su manipulación, transporte y almacenaje.

11. Envase o empaque primario. Envoltura que protege, sostiene y conserva la mercancía. Está en contacto directo con el producto y puede ser rígido o flexible. Es la mínima unidad de empaque que se conserva desde la fabricación hasta el último eslabón de la cadena de comercialización, es decir, el consumidor final.

12. Micro plásticos. Partículas pequeñas o fragmentos de plástico que miden menos de 5 milímetros (mm) de diámetro, que derivan de la fragmentación de bienes de plástico de mayor tamaño, que pueden persistir en el ambiente en altas concentraciones, particularmente en ecosistemas acuáticos y marinos, y ser ingeridos y acumulados en los tejidos de los seres vivos.

13. Micro plástico adherido. Partículas pequeñas o fragmentos de plástico que miden menos de 5 milímetros (mm) de diámetro, que se encuentran adheridos a productos que pueden o no ser de material plástico y que pueden persistir en el ambiente en altas concentraciones particularmente en ecosistemas acuáticos y marinos, y ser ingeridos y acumulados en los tejidos de los seres vivos.

14. Introducción en el mercado. Acción desarrollada por parte de los fabricantes 51

e importadores en la cual ponen a disposición de distribuidores y/o usuarios finales un determinado producto en el mercado nacional.

15. Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques. Política regulada en la Resolución 1407 de 2018, "por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones", o aquella que la modifique, sustituya o reemplace.

16. Plástico. Polímero sintético hecho por el hombre dotado de plasticidad en, al menos, alguna fase de su proceso de fabricación y que incluye aditivos químicos en su composición, los cuales son agregados para brindar características particulares al material.

17. Plástico biobasado. Es un polímero sintético hecho a partir de un porcentaje de materia orgánica.

18. Plásticos de un solo uso. Productos de plástico que no han sido concebidos, diseñados o introducidos en el mercado para realizar múltiples circuitos, rotaciones o usos a lo largo de su ciclo de vida, independientemente del uso repetido que le otorgue el consumidor. Son diseñados para ser usado una sola vez y con corto tiempo de vida útil, entendiendo la vida útil como el tiempo promedio en que el producto ejerce su función.

19. Plástico oxodegradable. Materiales plásticos que incluyen aditivos los cuales, mediante oxidación, provocan la fragmentación del material plástico en micro fragmentos o su descomposición química.

20. Productos plásticos reutilizables. Productos hechos total o parcialmente de plástico, que han sido concebidos, diseñados e introducidos en el mercado para completar, dentro de su ciclo de vida útil, múltiples viajes o rotaciones con el mismo propósito para el que fueron concebidos, con

o sin ayuda de productos auxiliares presentes en el mercado que permitan su reutilización. Se consideran residuos cuando ya no se reutilicen. 52

21. Reciclaje. Aquellos procesos mediante los cuales se transforman los materiales o residuos plásticos o en cualquier caso aprovechables, para devolverles su potencial de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. (suin-juriscal.gov, s.f.)

- **Resolución 1407 de 2018**

Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones.

**Artículo 1 Objeto.** La presente resolución tiene por objeto reglamentar la gestión ambiental de residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal.

De conformidad con este objetivo, se establece a los productores la obligación de formular, implementar y mantener actualizado un Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques, que fomente el aprovechamiento. (minambiente.gov.co, s.f.).

- **Conpes 3975- Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial**

Define las bases para la construcción de una política pública sobre transformación digital e inteligencia artificial en Colombia (colaboracion.dnp.gov.co, s.f.).

Por la cual se dictan medidas transitorias y excepcionales relativas a la recolección y gestión de residuos del año 2020 de los Sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos y de los Planes de gestión de devolución de productos pos consumo en el marco de las medidas adoptadas por el Gobierno Nacional con ocasión del Estado de emergencia económica,

social y ecológica y la Emergencia sanitaria declarada en todo el territorio nacional a causa de la pandemia COVID-19 (minambiente.gov.co, 2020). 53

## 5.4 Marco Histórico

El termino de inteligencia artificial se utilizó por primera vez en 1956 en la conferencia de Dartmouth en esta conferencia se empezaron a realizar teorías de como los ordenadores iban a facilitar el desarrollo de problemas, se centraron en técnicas relacionadas a la resolución general de problemas (Newell y Simon 1971). Asumían que cualquier problema que pudiera escribirse en código de programación podían resolverse por medio de la representación de un formato informático legible y búsquedas a través de estados. Sin embargo, este enfoque se quedó atrás por la complejidad de los problemas, el número de combinaciones que se realizaban con las búsquedas según el tamaño del problema crecían exponencialmente por lo que era complejo su desarrollo. Por lo que empezaron a encontrar formas de facilitar las búsquedas reduciendo los tiempos de procesamiento. [11]

La experimentación con la inteligencia artificial (IA) se retrasó por un informe que mencionaba de manera negativa el desarrollo de proyectos con esta herramienta en 1973. sin embargo, en Japón se analizaron las ventajas de la inteligencia artificial por lo que realizaron un proyecto llamado (sistemas informáticos de quinta generación) en 1982, era un proyecto que tenía entornos de software inteligente y procesamiento paralelo, Este desarrollo genero un movimiento centrado en la construcción de sistemas basados en conocimiento inteligente pero el problema con estos sistemas era su incapacidad de aprender estos sistemas debían mantenerse actualizados, el proceso de actualización se realizaba manualmente, cuando se ejecutaba esta tarea consumía demasiado tiempo y generaba retrasos que representaban perdidas, para solucionar este inconveniente se desarrolló el proyecto CYC (Lenat y Guha, 1991) con el propósito de que la

inteligencia artificial pudiera realizar razonamientos aplicando el sentido común ya que 54  
los errores que se presentaban eran principalmente por conocimiento vinculado al sentido común.  
La implementación de inteligencia artificial mediante dispositivos IoT en el reciclaje se han  
desarrollado diferentes prototipos mediante la utilización de sensores, pero no cuentan con un  
sistema que puede enviar peticiones post mediante Arduino para poder hacer la clasificación de  
los residuos y las herramientas que se utilizaron han tenido grandes avances en la precisión de los  
algoritmos. [12]

La historia del reciclaje comenzó en Japón que reutilizaban el papel desechado en el año  
1031, más adelante en Inglaterra surgen los recicladores profesionales debido al carbón que se  
utilizaba en 1850 que servía para los procesos de agricultura principalmente como fertilizante para  
los cultivos.

En 1776 en la guerra de la independencia de Estados Unidos se reutilizaron los metales y  
el papel desecho, telas entre otros materiales. En la década de los 60, Rachel Carson publicó un  
libro con el título primavera silenciosa que tuvo un gran impacto para los activistas, realizando  
grandes campañas de concientización con el objetivo de la importancia del consumo responsable.  
(ambienteysociedad.org., s.f.). En la década de los 70 se creó el símbolo más importante del  
reciclaje que es la cinta de Morbius, fue diseñado en un concurso por Gary Anderson que representa  
las tres fases del reciclaje. (ambienteysociedad.org, s.f.).

### 6.1 Tipo de Investigación

En el presente trabajo de grado se implementó varios tipos de investigación debido a su naturaleza y construcción donde se involucra tanto software como hardware para el desarrollo del prototipo de caneca inteligente de clasificación de productos reciclables. Se en listan y explican a continuación los diferentes tipos de investigación implementados.

- Exploratoria
- Descriptiva
- Analítica

### 6.2 Investigación Exploratoria

Al realizar la investigación de los diferentes sensores, actuadores y sistemas embebidos se decide utilizar la placa ESP32-CAM debido a su compatibilidad y control por ser hardware libre lo cual facilita el desarrollo del presente proyecto.

### 6.3 Investigación Descriptiva

Al Analizar los objetivos propuestos y las delimitaciones para el desarrollo de la caneca inteligente se utilizará los algoritmos de IA en Python en el entorno de desarrollo de Visual Code y en la programación de sistemas embebidos (ESP32-CAM) se utilizará el lenguaje de programación C++ en el IDE de Arduino (por sus siglas en inglés: Integrated Development Environment). En el caso de los sensores y actuadores se utilizarán en combinación con la electrónica adecuada para su control y programación, y de esta forma se procederá al diseño y construcción de la caneca inteligente para la clasificación y optimización del proceso de reciclaje.

embebidas y la librería de IA que podrán ser implementadas en el desarrollo del hardware (caneca inteligente) y en el algoritmo de reconocimiento de imágenes del presente proyecto.

- **ESP32:** Este módulo brinda una solución integrada de wifi y Bluetooth todo en uno, certificada por el fabricante que tiene interfaces análogo-digitales para conectarse con varios periféricos como sensores y actuadores.
- **ESP32-CAM:** Es un dispositivo que puede llamarse un todo en uno, aparte de la conectividad wifi y Bluetooth que viene de fábrica, pines GPIO, se le han añadido dos opciones más, integra una pequeña cámara de video y una conexión para una tarjeta MicroSD, donde podremos almacenar datos, fotos o videos. [13]
- **Servomotor:** Es un dispositivo que se incorpora mediante dos cables, engranajes, un potenciómetro y un circuito integrado.
- **Motores paso a paso:** son motores de corriente continua, que tienen múltiples bobinas que se organiza mediante fases.
- **Raspberry Pi:** es una placa de pequeñas dimensiones de formato compacto caracterizada por su utilidad en el desarrollo de pequeños prototipos.
- **Sensor PIR:** Este sensor detecta el movimiento de personas a la distancia mediante el uso de una lente de Fresnel y el elemento sensible al infrarrojo para detectar cambios en los patrones infrarrojos emitidos por los objetos en su cercanía.
- **Librería Pythorch en IA:** Se utilizará la librería Pytorch por su nivel de precisión a la hora de dar los resultados en la coincidencia entre las imágenes del dataset y las imágenes capturadas por el prototipo de caneca inteligente, la cual permite tener un 95% de precisión al realizar la clasificación de materiales según las categorías (cartón, metal, papel, vidrio,

basura, plástico) y con base en su algoritmo y los datos de entrenamiento obtener el nivel de coincidencia esperado, de tal forma que la caneca inteligente proceda a la apertura de la compuerta que se diseñará para permitir el paso de los materiales al compartimiento correspondiente según el material categorizado. 57

#### **6.4 Investigación Analítica**

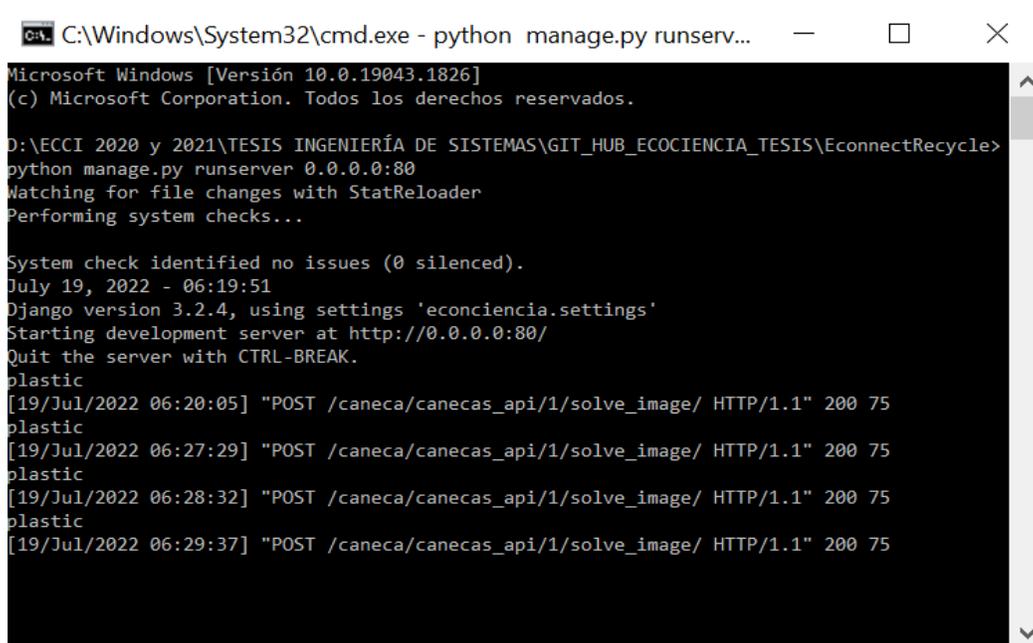
Se realizará una investigación y análisis de los componentes electrónicos (actuadores, sensores y placas de desarrollo embebido) más favorables que permitan dar cumplimiento a lo establecido tanto en los objetivos como en las delimitaciones del presente proyecto. En la tabla 1 se observa cada una de las actividades principales que se requieren en cada una de los tipos de investigación para poder ejecutar de forma exitosa el proyecto sin contratiempos que retarden o detengan el desarrollo del mismo.

<b>Tipo de investigación</b>	<b>Actividades</b>
Investigación exploratoria	Estudio de las librerías para que funcione correctamente el algoritmo
	Estudio de los diferentes sensores que se necesitan para la caneca inteligente
	Estudio de los componentes necesarios para la construcción del prototipo
Investigación descriptiva	Argumentación del uso de las librerías del algoritmo
	Desarrollo de objetivos
Investigación analítica	Análisis de los sensores requeridos
	Análisis de las necesidades del proyecto
	Delimitación del proyecto con respecto al tiempo

Fuente. Autores 2022

Para poder realizar la clasificación de los residuos el primer paso es establecer la conexión con el servidor local donde está alojado el algoritmo de IA con el algoritmo de la placa de desarrollo embebida (ESP32-CAM), por lo que se ejecuta el comando Python manage.py runserver para iniciar el servicio en el puerto 80 mediante la consola de comandos, como se observa en la figura 16.

**Figura 16.** Lanzamiento del servidor puerto 80.



```
C:\Windows\System32\cmd.exe - python manage.py runserv...
Microsoft Windows [Versión 10.0.19043.1826]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

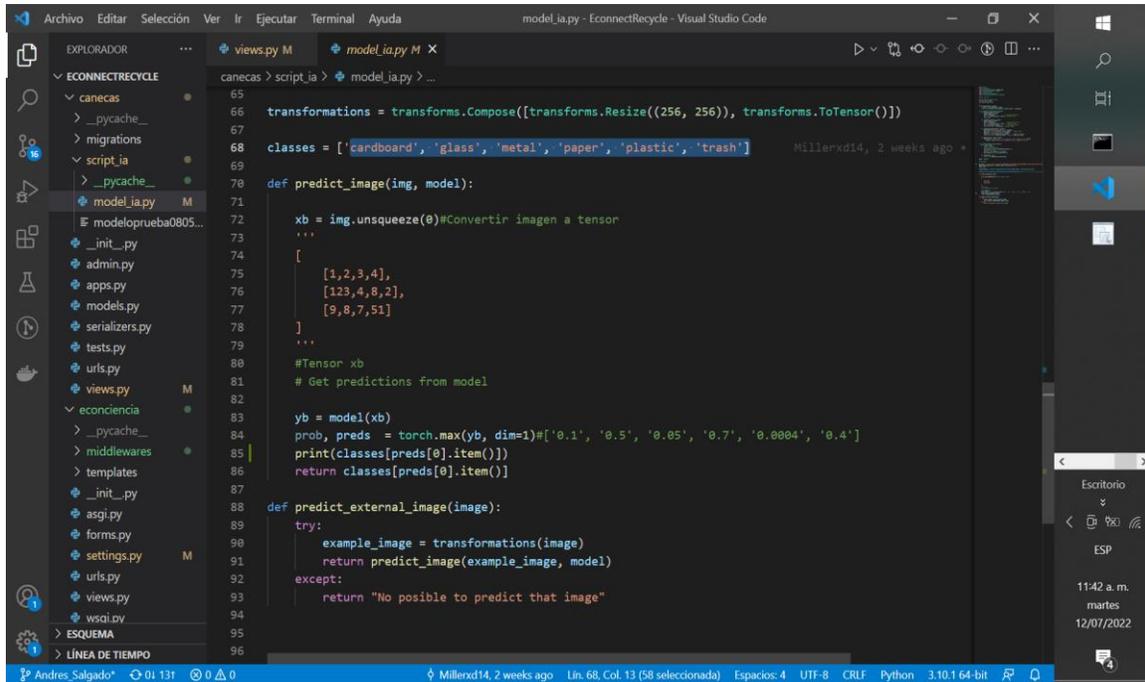
D:\ECCI 2020 y 2021\TESIS INGENIERÍA DE SISTEMAS\GIT_HUB_ECOCIENCIA_TESIS\EconnectRecycle>
python manage.py runserver 0.0.0.0:80
Watching for file changes with StatReloader
Performing system checks...

System check identified no issues (0 silenced).
July 19, 2022 - 06:19:51
Django version 3.2.4, using settings 'econciencia.settings'
Starting development server at http://0.0.0.0:80/
Quit the server with CTRL-BREAK.
plastic
[19/Jul/2022 06:20:05] "POST /caneca/canecas_api/1/solve_image/ HTTP/1.1" 200 75
plastic
[19/Jul/2022 06:27:29] "POST /caneca/canecas_api/1/solve_image/ HTTP/1.1" 200 75
plastic
[19/Jul/2022 06:28:32] "POST /caneca/canecas_api/1/solve_image/ HTTP/1.1" 200 75
plastic
[19/Jul/2022 06:29:37] "POST /caneca/canecas_api/1/solve_image/ HTTP/1.1" 200 75
```

Fuente. Autores 2022

La caneca inteligente tiene 6 categorías para la clasificación de los residuos, estas categorías cuentan con sus respectivos dataset de imágenes para realizar el respectivo entrenamiento del algoritmo y tener mayor exactitud en la predicción del residuo según la categoría, como se observa en el código implementado en la figura 17.

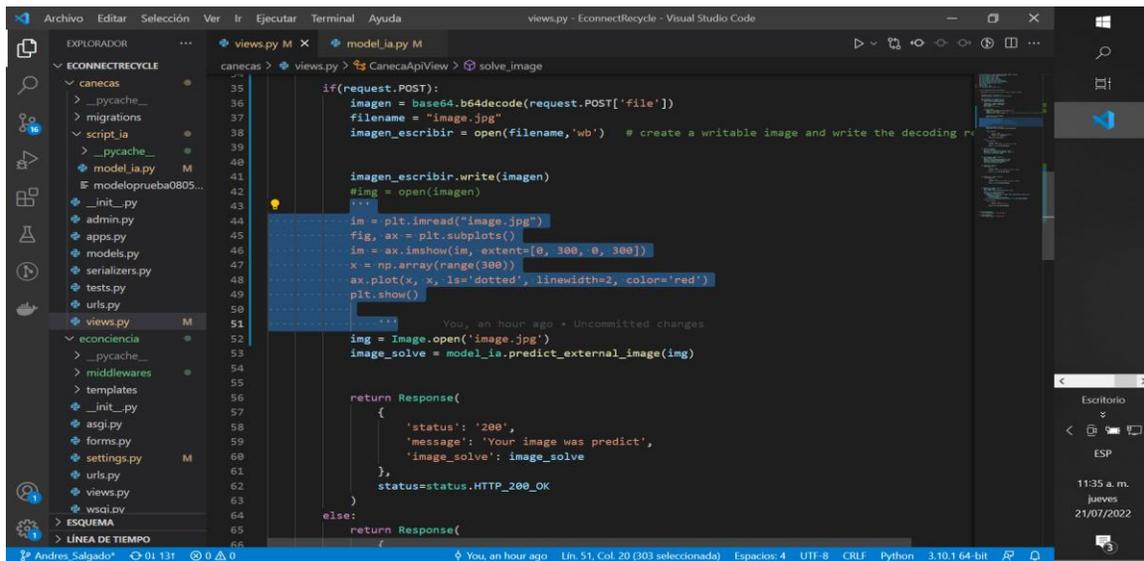
**Figura 17.** Representación de las categorías de la caneca inteligente en el algoritmo.



```
65
66 transformations = transforms.Compose([transforms.Resize((256, 256)), transforms.ToTensor()])
67
68 classes = ['cardboard', 'glass', 'metal', 'paper', 'plastic', 'trash']
69
70 def predict_image(img, model):
71
72     xb = img.unsqueeze(0) # Convertir imagen a tensor
73     '''
74     [1,2,3,4],
75     [123,4,8,2],
76     [9,8,7,51]
77     '''
78     # Tensor xb
79     # Get predictions from model
80
81     yb = model(xb)
82     prob, preds = torch.max(yb, dim=1) # ['0.1', '0.5', '0.05', '0.7', '0.0004', '0.4']
83     print(classes[preds[0].item()])
84     return classes[preds[0].item()]
85
86 def predict_external_image(image):
87     try:
88         example_image = transformations(image)
89         return predict_image(example_image, model)
90     except:
91         return "No posible to predict that image"
92
93
94
95
96
```

Fuente. Autores 2022

Para las pruebas de predicción del algoritmo y la construcción de la caneca inteligente es necesario ver las imágenes que se toman mediante la placa ESP32-CAM para determinar el nivel de coincidencia por lo cual se habilita la función que permite ver gráficamente el elemento ingresado como se observa en el código de la figura 18 que posteriormente se inhabilita después de corroborar que si correspondiente al residuo introducido en el contenedor de clasificación de la caneca por que se muestra el resultado en texto mediante la interfaz de Arduino al correr el programa.



Fuente. Autores 2022

En el código de clasificación de los residuos se importaron diferentes librerías para el buen funcionamiento del modelo de predicción con las fotos tomadas mediante la placa ESP32- CAM, ajustando mediante el algoritmo de IA el tamaño de las imágenes capturadas para tener mayor coincidencia con el residuo a clasificar mediante la función transformations, como se observa en la figura 19.

Figura 19. Función transformations en el algoritmo de clasificación.

```

transformations = transforms.Compose([transforms.Resize((256, 256)),
transforms.ToTensor()])

classes = ['cardboard', 'glass', 'metal', 'paper', 'plastic',
'trash']

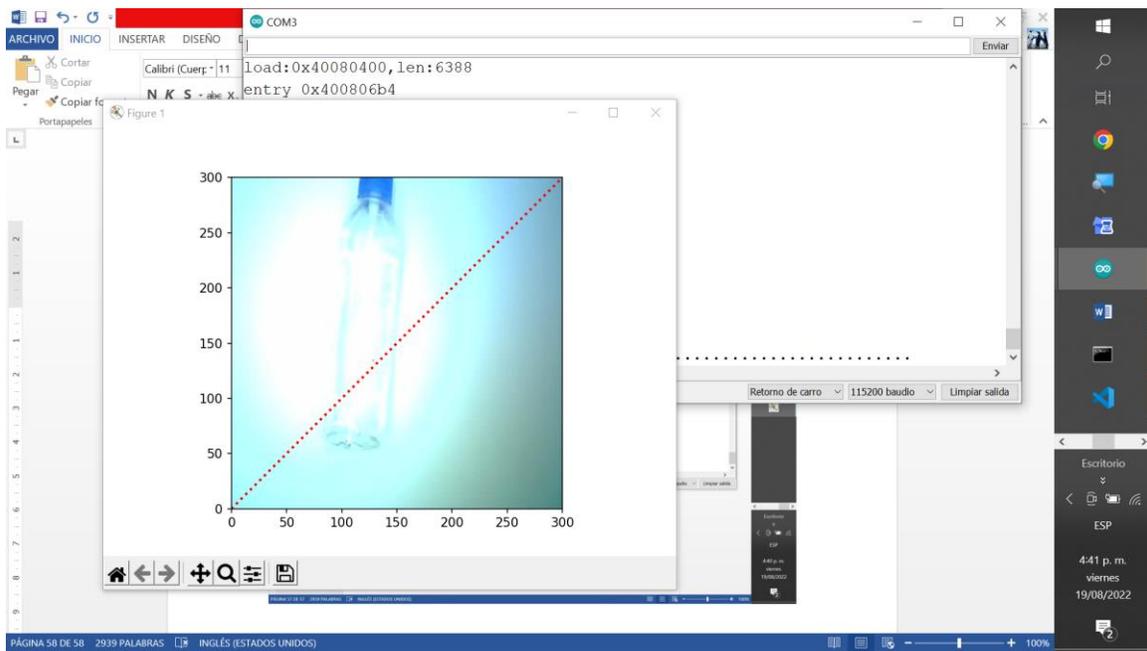
def predict_image(img, model):

```

Fuente. Autores 2022

Se realizaron diferentes pruebas con varios materiales de residuos según las categorías establecidas y de esta forma verificar la efectividad del algoritmo en el reconocimiento de las imágenes, como se observa en la figura 20 y en adelante. 62

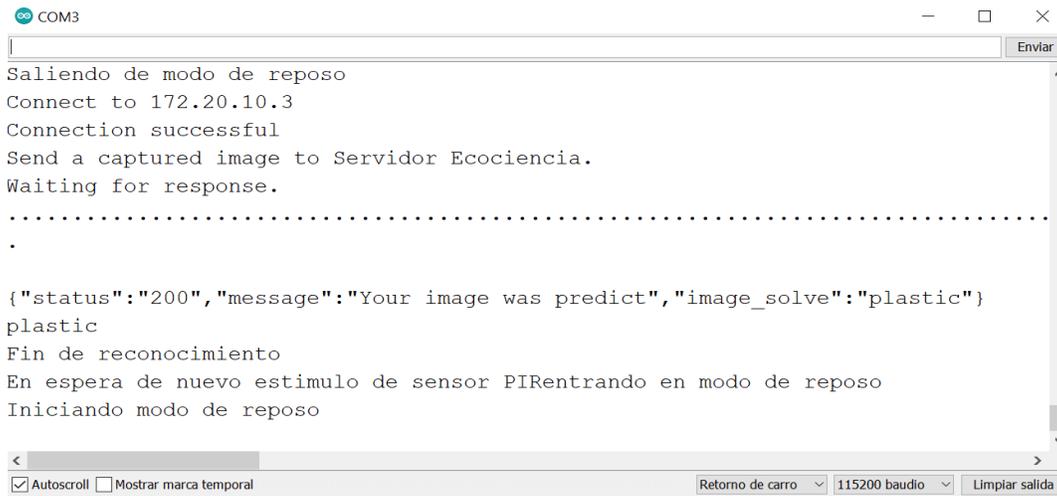
**Figura 20.** Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías.



Fuente. Autores 2022

En la predicción se identificó que el material que se había ingresado en la caneca era plástico debido a la coincidencia con las imágenes que se tenían en el dataset previamente como se observa en la figura 21 donde la interfaz de Arduino muestra el tipo de residuo.

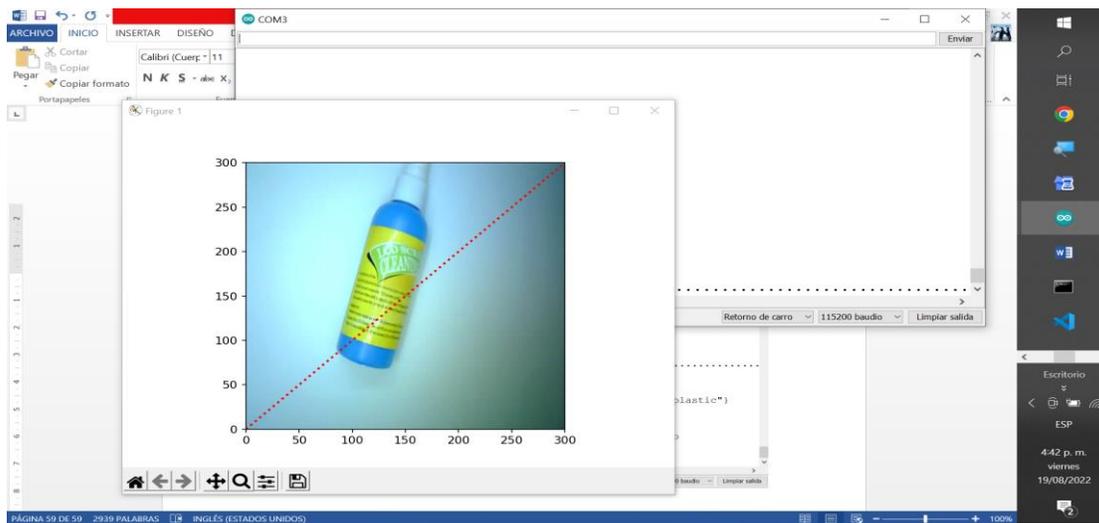
**Figura 21.** Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.



Fuente. Autores 2022

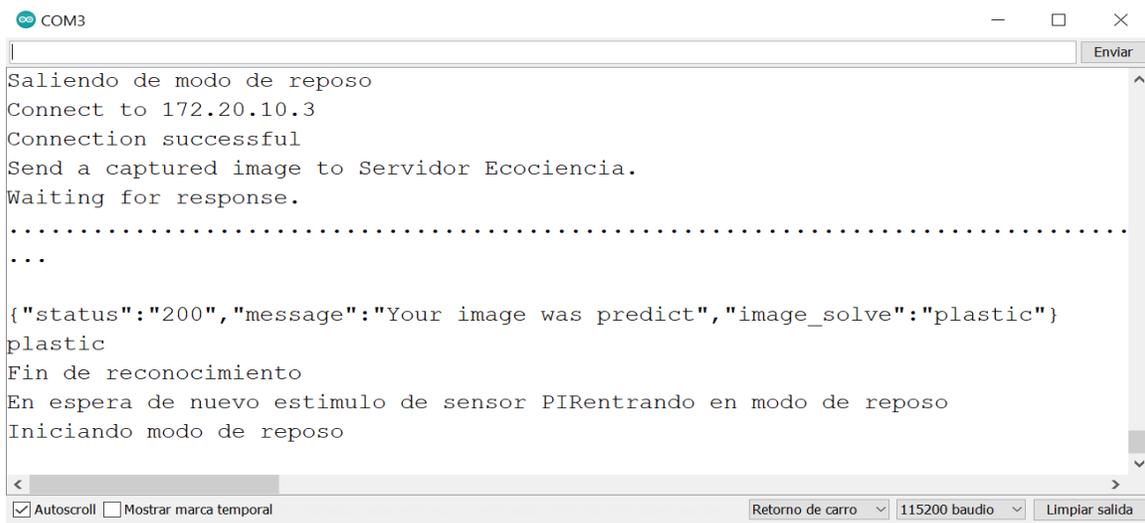
También se realizó diferentes pruebas con diversos materiales de plástico para medir las predicciones del algoritmo con esta categoría y comprobar su precisión y exactitud, como se observa en la figura 22.

**Figura 22.** Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías.



Fuente. Autores 2022

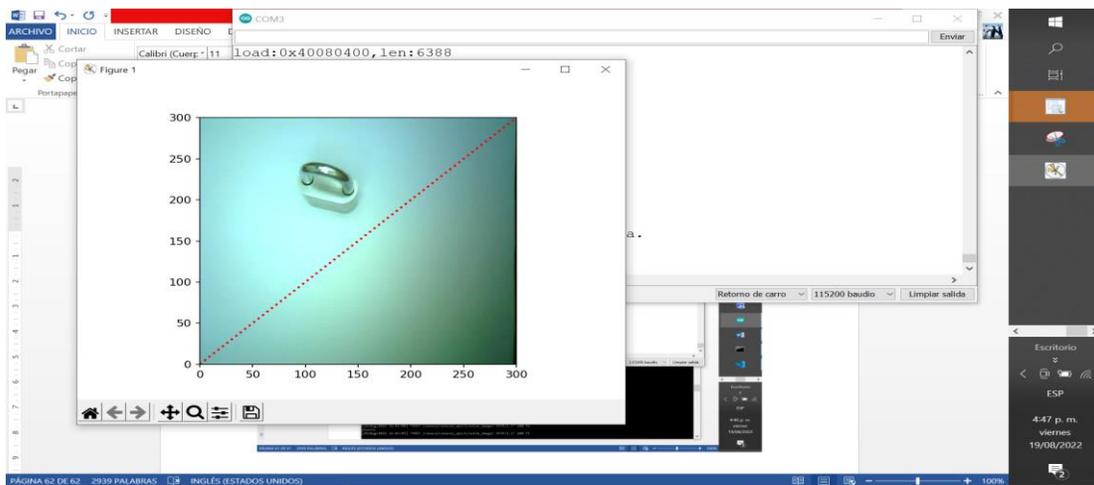
**Figura 23.** Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.



Fuente. Autores 2022

En la predicción se identificó que el material que se había ingresado en la caneca era metal. Gracias a las imágenes que se tenían en el dataset previamente, como se observa en la figura 24.

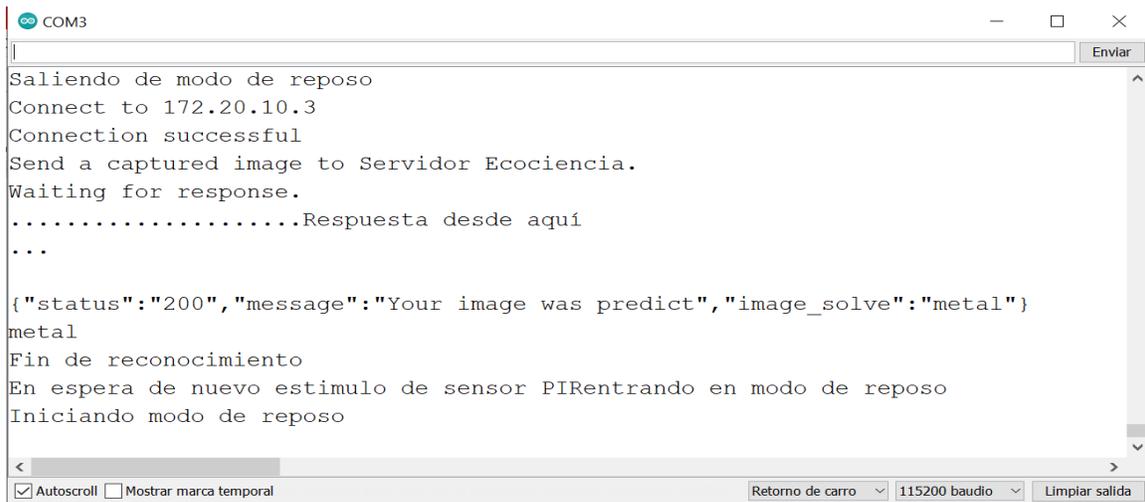
**Figura 24.** Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías.



Fuente. Autores 2022

En este caso se verifico con un material metálico (candado) y la respuesta del servidor fue acertada por el algoritmo, como se observa en la figura 25 donde se predice la categoría metal.

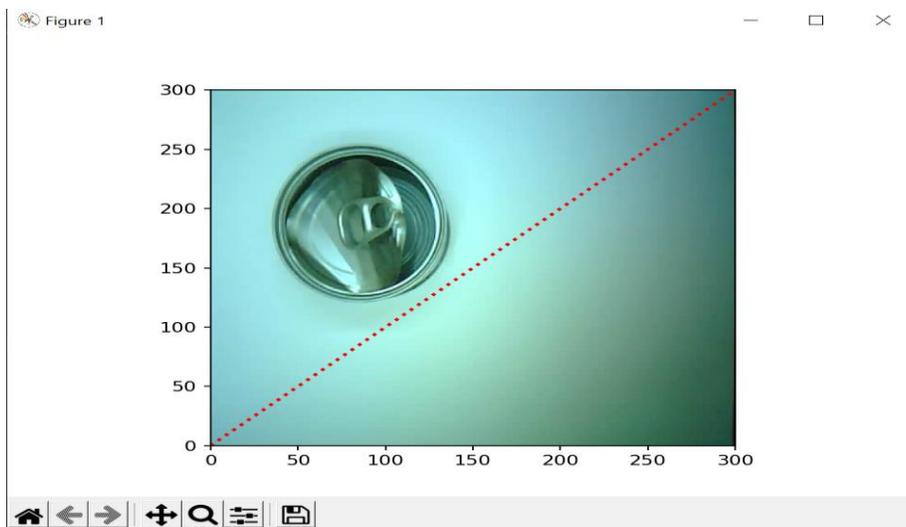
**Figura 25.** Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.



Fuente. Autores 2022

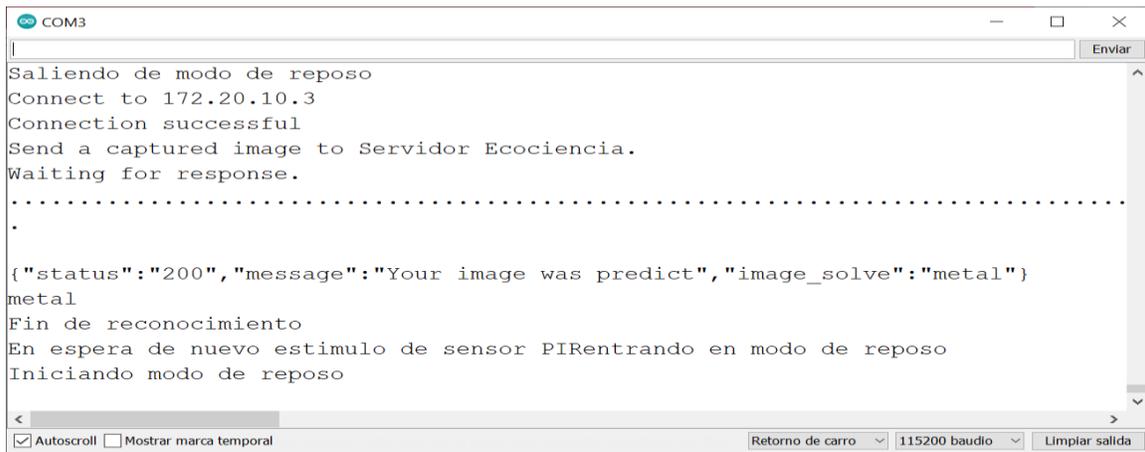
También se realizaron diferentes pruebas para medir las predicciones del algoritmo con esta categoría, cómo se observa en la figura 26 y Figura 27.

**Figura 26.** Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías.



Fuente. Autores 2022

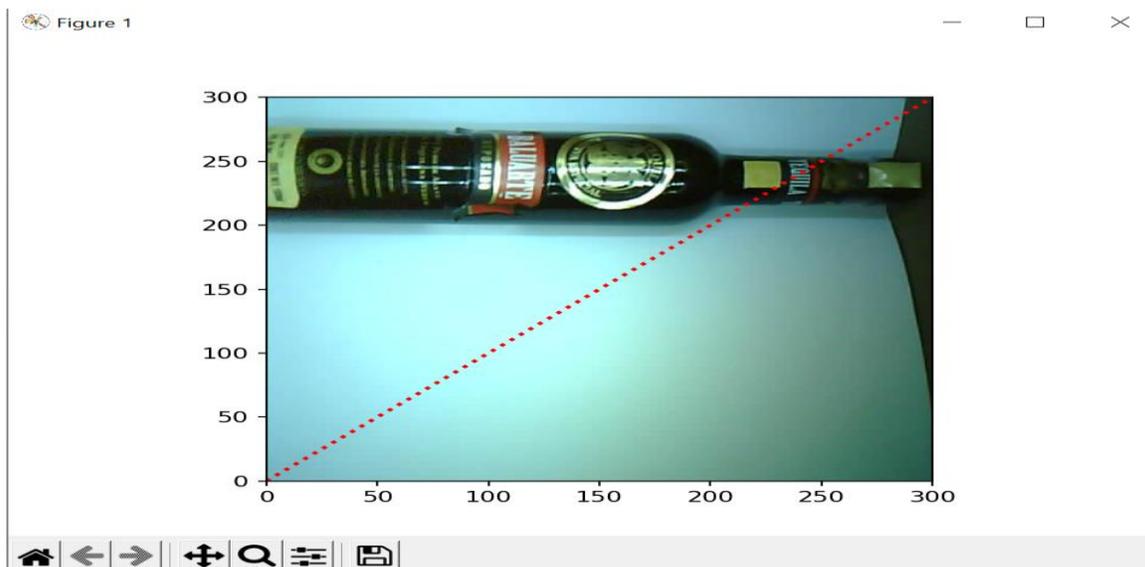
**Figura 27.** Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.



Fuente. Autores 2022

En este caso se verifico con una botella y la respuesta del servidor fue acertada por el algoritmo como se observa en la figura 28 donde se predice la categoría Vidrio. Gracias a las imágenes previamente almacenadas en el dataset.

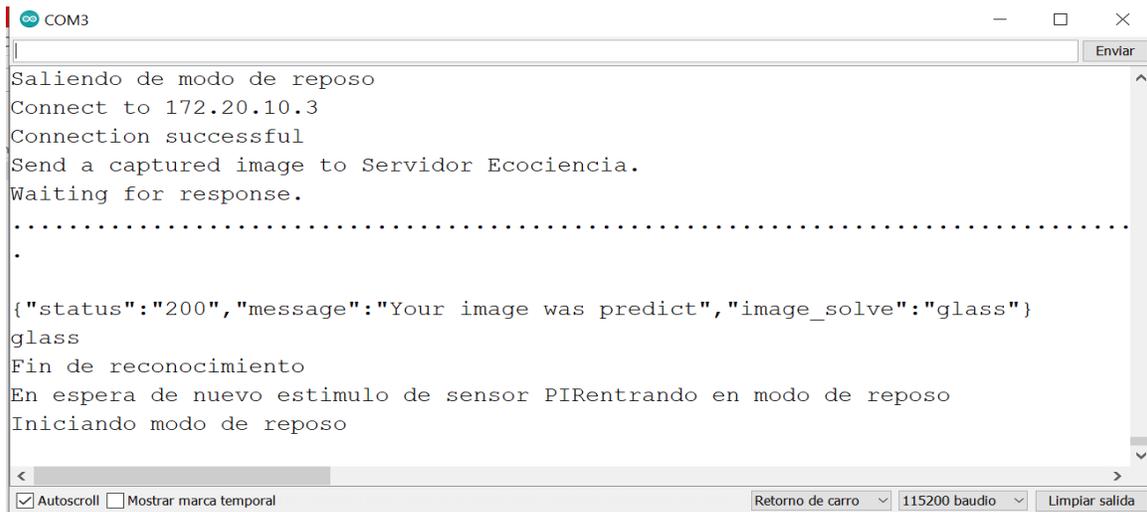
**Figura 28.** Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías.



Fuente. Autores 2022

En este caso se clasifico una botella de vino y la respuesta del servidor fue acertada por el algoritmo, cómo se observa en la figura 29.

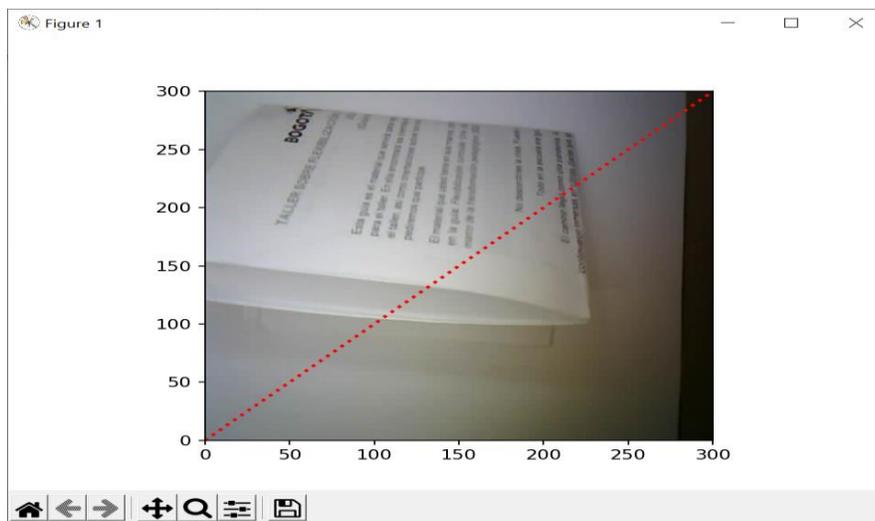
**Figura 29.** Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.



Fuente. Autores 2022

En la predicción se identificó que el material que se había ingresado en la caneca era Papel. Gracias a las imágenes que se tenían en el dataset previamente, cómo se observa en la figura 30.

**Figura 30.** Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías.



Fuente. Autores 2022

En este caso se clasifico una hoja y la respuesta del servidor fue acertada por el algoritmo cómo se observa en la figura 31.

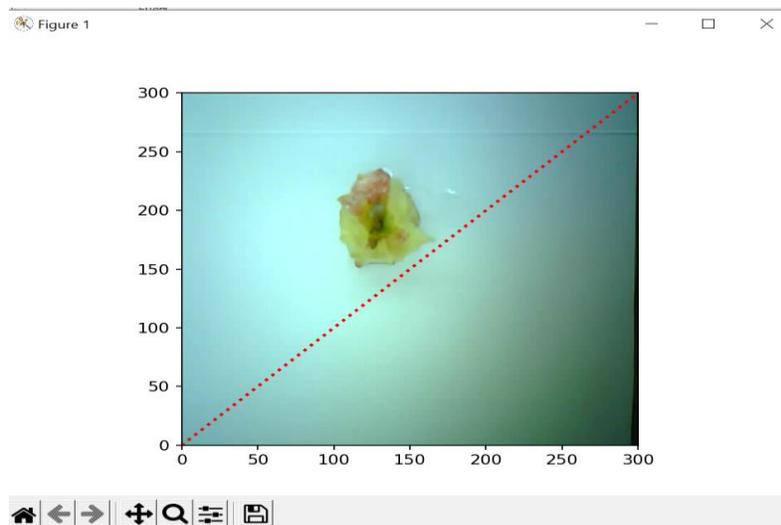
**Figura 31.** Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.



Fuente. Autores 2022.

La respuesta del servidor fue acertada por el algoritmo como se observa en la figura 32 donde se predice la categoría basura. Gracias a las imágenes previamente almacenadas en el dataset.

**Figura 32.** Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías.



Fuente. Autores 2022

En este caso se clasifico una manzana y la respuesta del servidor fue acertada por el algoritmo, cómo se observa en la figura 33.

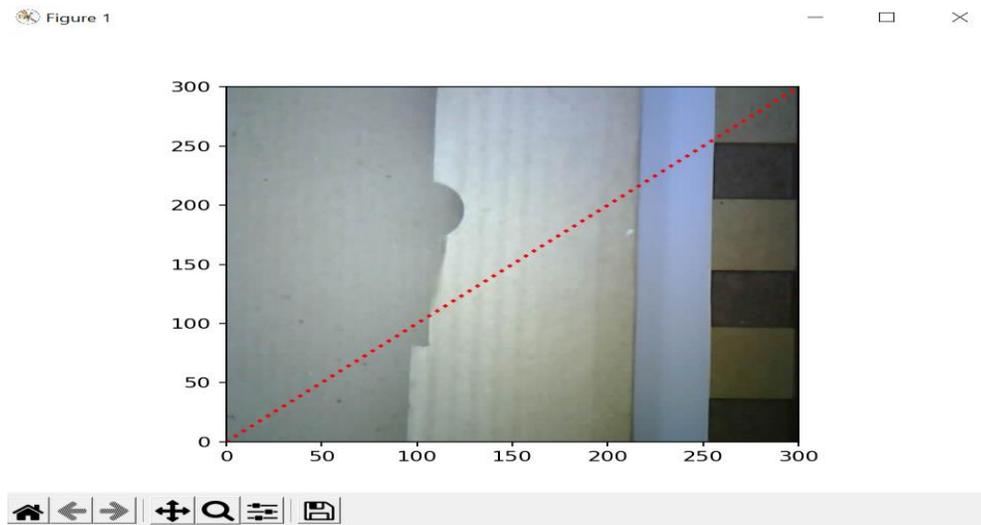
**Figura 33.** Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.



Fuente. Autores 2022

La respuesta del servidor fue acertada por el algoritmo como se observa en la figura 34 donde se predice la categoría cartón. Gracias a las imágenes previamente almacenadas en el dataset.

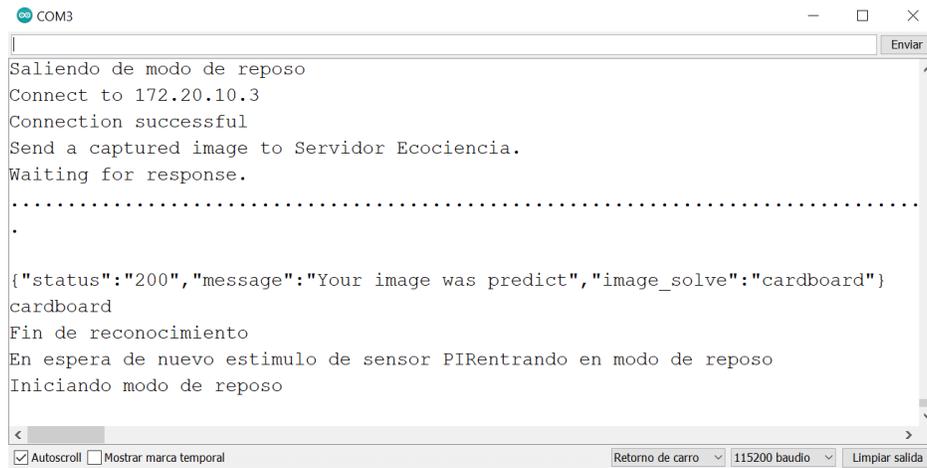
**Figura 34.** Reconocimiento de uno de los materiales que se encuentran en las 6 categorías.



Fuente. Autores 2022

En este caso se clasifico una manzana y la respuesta del servidor fue acertada por el algoritmo, cómo se observa en la figura 35.

**Figura 35.** Respuesta del Arduino a partir de la predicción realizada.



```
COM3
Saliendo de modo de reposo
Connect to 172.20.10.3
Connection successful
Send a captured image to Servidor Ecociencia.
Waiting for response.
.....
.

{"status": "200", "message": "Your image was predict", "image_solve": "cardboard"}
cardboard
Fin de reconocimiento
En espera de nuevo estimulo de sensor PIR
Iniciando modo de reposo
```

Fuente. Autores 2022

Para una lectura completa del código y consulta de los diagramas esquemáticos de los montajes electrónicos usados en el desarrollo del prototipo del presente proyecto, se encuentran alojados en un repositorio en la plataforma de github, los cuales puede consultar en el siguiente enlace: <https://github.com/HaroldVargas21/Caneca-Arduino>

## 8. Recursos

A continuación, se listan los recursos necesarios para llevar a cabo el desarrollo del proyecto y del prototipo de caneca inteligente.

### 8.1 Recursos Físicos

**Figura 36.** Servomotores MG90S utilizados



Fuente. Autores 2022

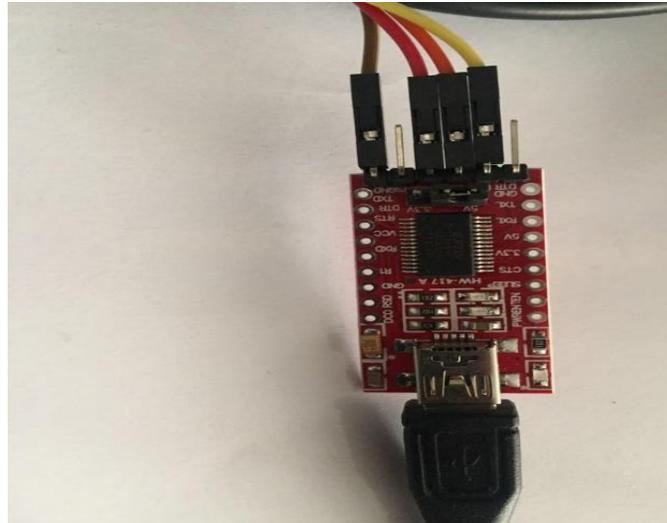
**Figura 37.** MicroSD 64GB



Fuente. Autores 2022



adaptador USB a Serial TTL FTDI referencia HW 417 A



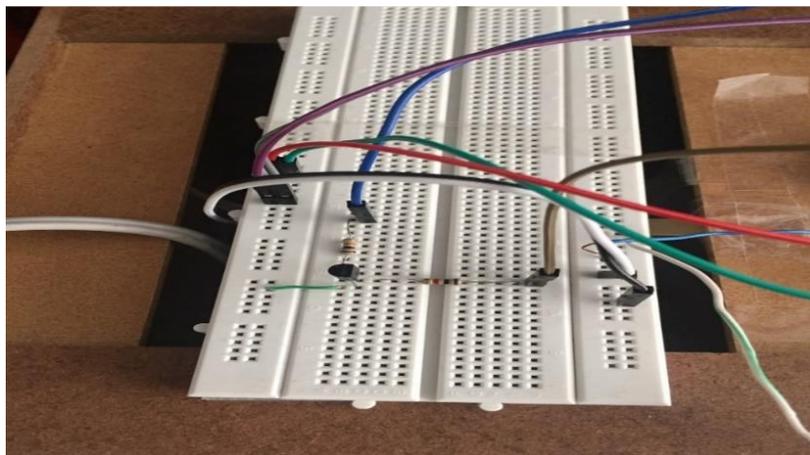
Fuente. Autores 2022

**Figura 41.** Cable mini USB a USB



Fuente. Autores 2022

**Figura 42.** Protoboard



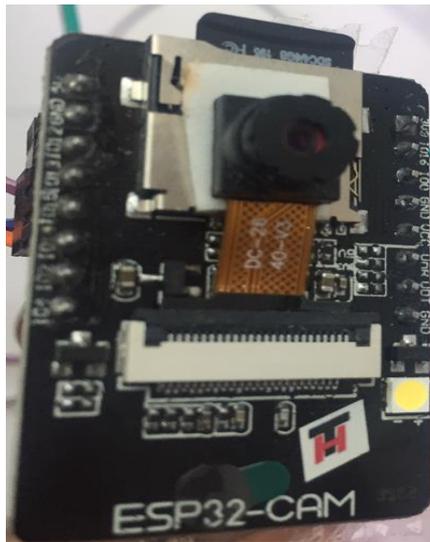
Fuente. Autores 2022

**Figura 43.** Cinta LED



Fuente. Autores 2022

**Figura 44.** Placa de desarrollo ESP32-CAM



Fuente. Autores 2022

**Figura 45.** Placa de desarrollo ESP32



Fuente. Autores 2022



Fuente. Autores 2022

**Figura 47.** Módulo sensor de obstáculos infrarrojo referencia HW -201



Fuente. Autores 2022

## 9. Conclusiones

77

- La implementación del algoritmo de reconocimientos de imágenes se realizó usando redes neuronales convolucionales en con lenguaje de programación Python para clasificar productos de reciclaje como el cartón, el vidrio, el plástico, el metal, el papel y otros materiales como los orgánicos etiquetados como basura donde después del reconocimiento del producto a clasificar por el sistema de hardware y software implementado en la caneca inteligente es depositado en su respectiva caneca de almacenamiento para su posterior recolección.
- En el prototipo de caneca inteligente se usó como placa principal de desarrollo electrónico la tarjeta ESP32-CAM por ser de hardware libre y de bajo costo, además de contar con wifi y cámara integrada haciéndola muy propicia para ser implementada en este proyecto. Se usó servomotores como actuadores para el movimiento de la compuerta de apertura de paso de los materiales desde la caja de depósito del material hasta la rampa de desplazamiento del producto al contenedor final de cada material (caneca ya categorizada), dicha rampa también es controlada por un servomotor que la ubica en cada caneca según categorización previa del material por el algoritmo de reconocimiento de la imagen del producto a clasificar. Los sensores usados son: el sensor PIR HC-SR501 para detectar el momento en que se introduce un producto o material de reciclaje a la caja de depósito, la cámara de la placa de desarrollo para la toma de la imagen, y el sensor de distancia por infrarrojo para detectar el llenado de cada caneca con cada uno de las seis categorías de productos reciclables.
- El prototipo de caneca inteligente (sistema automático de clasificación de materiales reciclables) se desarrolló a una escala que permitiera ser transportado fácilmente, que los

actuadores usados pudieran mover el peso de los mecanismos, además se usó 78

materiales de reciclaje para su fabricación principalmente para bajar costos y contribuir al medio ambiente, de igual forma los productos a reciclar y clasificar fueron seleccionados estratégicamente por tamaño y forma para que pudieran ingresar a la caja de depósito, pasar por la rampa de desplazamiento y finalmente llegar a cada caneca de almacenamiento del prototipo.

- Se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo (hardware) y al algoritmo de inteligencia artificial (software) para determinar el nivel de exactitud y precisión del reconocimiento de los productos de reciclaje bajo prueba encontrando que estos dependen de diversos factores como la ubicación del producto dentro del compartimiento de fotografía (caja de depósito de materiales a clasificar), se dice si se ubica en una de las esquinas de la caja o en centro de la misma, porque el algoritmo de reconocimiento compara con las imágenes previamente tomadas y almacenadas en el banco de imágenes (dataset) y estas deben coincidir con la imagen recién tomada por la cámara para ser posteriormente interpretada por el algoritmo, también el ángulo de la toma de la foto del producto debe ser similar a la imagen almacenada previamente, los colores de los objetos o materiales bajo prueba, las condiciones de iluminación y el tamaño del objeto inciden bastante en el nivel de coincidencia, de lo anterior dependerá la calidad o resolución de la imagen tomada para que pueda ser validada con las ya existentes y el algoritmo pueda dar el resultado con mayor nivel de exactitud y precisión en la coincidencia para el reconocimiento exitoso del producto reciclable a clasificar.
- La distancia del objeto o producto a clasificar bajo prueba con respecto a la cámara debe ser aproximadamente similar a la distancia de las imágenes tomadas previamente para el

dataset usado en el algoritmo de reconocimiento, de igual forma se debe usar la misma cámara o de similares características técnicas principalmente su resolución, esto favorece a los patrones de búsqueda de coincidencias en el algoritmo y se disminuye el nivel de error.

## 10. Recomendaciones

80

Con base al presente prototipo de sistema de clasificación automático de productos reciclables pueden dar pie en el futuro a mejoras en versiones con requerimientos específicos del tamaño, forma, peso del producto a reciclar y clasificar, se deberá tener en cuenta los mecanismos como los servomotores, sistemas de escotilla, el tamaño y espacio del compartimiento de fotografía llamado caja de depósito en este trabajo y de las canecas de almacenamiento del producto, además de las características técnicas de potencia de torque para el caso de los servomotores o cualquier motor que los pueda sustituir, la capacidad de soporte y durabilidad, para el caso de la escotilla con respecto al peso y tamaño de los productos de desecho reciclables que se deseen clasificar, es decir realizar perfeccionamientos a los sistemas mecánicos, eléctricos y de los materiales de construcción del prototipo de esta forma poder obtener buenos resultados en el funcionamiento del dispositivo.

El presente proyecto “prototipo de sistema de caneca inteligente para la clasificación de productos reciclables” abre las puertas para quienes deseen realizar más proyectos de grado con relación al reconocimiento de imágenes y clasificación de diversos objetos, en el cual se requiera entrenar algoritmos de inteligencia artificial para reconocimiento de múltiples productos, inclusive a quienes puedan dar continuidad a una versión mejorada de sistema de clasificación de desechos aprovechables, donde el reconocimiento de imágenes sea la herramienta principal del proyecto, sin embargo si la intención es perfeccionar el presente prototipo también podrá implementar un banco de imágenes más robustos y de diferentes objetos reciclables contemplando más variables como tamaño y posición del objeto con respecto al ángulo de la fotografía, gama de colores de los objetos, contornos y formas. Además podrá incorporar otras tecnologías para la detección del peso del objeto, de la densidad de sus materiales, por ejemplo, usando técnicas de

espectrofotometría para identificar el tipo de material del que está hecho el producto u 81  
objeto en prueba, lo anterior haría más eficiente el dispositivo de caneca inteligente, obteniendo  
mejores resultados en la categorización de los productos a reciclar.

## 11. Bibliografía

82

*123rf.com.* (s.f.). Obtenido de [https://es.123rf.com/photo\\_91009582\\_gran-conjunto-de-vectores-de-componentes-electr%C3%B3nicos-izom%C3%A9tricos-condensadores-r.html](https://es.123rf.com/photo_91009582_gran-conjunto-de-vectores-de-componentes-electr%C3%B3nicos-izom%C3%A9tricos-condensadores-r.html)

Alicante, U. d. (06 de Febrero de 2020). Obtenido de <https://www.unniun.com/manifiesto-agile-origen-agilidad/>

*ambienteysociedad.org.* (s.f.). Obtenido de <https://www.ambienteysociedad.org.co/la-historia-del-reciclaje/>

*ambienteysociedad.org.* (s.f.). Obtenido de <https://www.ambienteysociedad.org.co/la-historia-del-reciclaje/>

BBVA. (8 de 11 de 2019). *Machine learning': ¿qué es y cómo funciona.* Obtenido de <https://www.bbva.com/es/machine-learning-que-es-y-como-funciona/>

C, C. (2018). *Neuronal Networks and deep learning.* Springer.

*Ceupe.* (2020). Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/que-es-cobit.html>

*cmaspUBLIC2.ihmc.us.* (s.f.). Obtenido de [https://cmaspUBLIC2.ihmc.us/rid=1236933397537\\_1451814688\\_593/electricidad.cmap](https://cmaspUBLIC2.ihmc.us/rid=1236933397537_1451814688_593/electricidad.cmap)

*colaboracion.dnp.gov.co.* (s.f.). Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3975.pdf>

*Computerworld Colombia.* (28 de mayo de 2019). Obtenido de <https://computerworld.co/colombia-lidera-uso-de-metodologias-agiles/>

*Concepto.de.* (23 de Enero de 2020). Obtenido de <https://concepto.de/proyecto/>

Cunningham, W. (2001). Obtenido de <https://agilemanifesto.org/iso/es/principles.html>

Díaz, G. (7 de marzo de 2016). *Creación de proyectos.* Obtenido de <http://www.creaciondeproyectos.com/el-pmbok/>

Domínguez, P. (2 de junio de 2020). *OpenClassrooms*. Obtenido de

<https://openclassrooms.com/en/courses/4309151-gestiona-tu-proyecto-de-desarrollo/4538221-en-que-consiste-el-modelo-en-cascada>

*EAE Business School*. (14 de mayo de 2020). Obtenido de [https://retos-operaciones-](https://retos-operaciones-logistica.eae.es/que-es-la-guia-pmbok-y-como-influye-en-la-administracion-de-proyectos/)

[logistica.eae.es/que-es-la-guia-pmbok-y-como-influye-en-la-administracion-de-proyectos/](https://retos-operaciones-logistica.eae.es/que-es-la-guia-pmbok-y-como-influye-en-la-administracion-de-proyectos/)

*electronilab.co*. (s.f.). Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-movimiento-pir-hc-sr501/>

enzymeadvisinggroup. (06 de 01 de 2020). *Inteligencia artificial, machine learning y deep learning, ¿cuál es la diferencia?* Obtenido de

<https://blog.enzymeadvisinggroup.com/inteligencia-artificial-machine-learning>

*Flow Vision*. (s.f.). Obtenido de <https://www.flowvision.technology/>

*fluke.com*. (s.f.). Obtenido de <https://www.fluke.com/es-co/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/87v-max>

Fred. (3 de noviembre de 2014). Obtenido de <https://velneo.es/el-ciclo-de-vida-del-desarrollo-de-software/>

Gonzalez, P. (30 de noviembre de 2018). *Medium*. Obtenido de

<https://medium.com/@ppglzr/cobit-2019-el-nuevo-modelo-de-gobierno-empresarial-para-informaci%C3%B3n-y-tecnolog%C3%ADa-a7bf92b7288b>

Gupta, P. (2018). *educba.com*. Obtenido de [educba.com: https://www.educba.com/pytorch-vs-keras/?source=leftnav](https://www.educba.com/pytorch-vs-keras/?source=leftnav)

Holloway, C. (01 de 11 de 2018). Obtenido de <https://www.itmastersmag.com/noticias-analisis/plataformas-iot-que-son-y-como-elegir-la-mejor-para-el-negocio/>

*infobae*. (26 de mayo de 2014). Obtenido de

<https://www.infobae.com/2014/05/26/1567673-que-es-lean-startup-la-metodologia-que-cambio-la-forma-desarrollar-nuevos-productos/#:~:text=El%20%C3%A9rmino%20Lean%20Startup%20fue,lanzamiento%20de%20negocios%20y%20productos.>

*juntadeandalucia.es*. (s.f.). Obtenido de

[http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/31052017/c2/es-an\\_2017053112\\_9132606/mapa\\_conceptual.html](http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/31052017/c2/es-an_2017053112_9132606/mapa_conceptual.html)

Kubat, M. (2017). *An introduction to machine learning*. Springer.

Matos C. B. (15 de abril de 2013). Obtenido de

<https://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/15/ciclo-de-vida-de-un-proyecto/>

Mesa, A. R. (17 de diciembre de 2018). *OpenWebinars.net*. Obtenido de

<https://openwebinars.net/blog/que-es-scrum/>

*Metodología ágil crystal clear*. (17 de octubre de 2017). Obtenido de

<https://iswugcrystalclear.wordpress.com/historia/#:~:text=Crystal%20es%20una%20metodolog%C3%ADa%20de,creada%20por%20una%20persona%20en>

*minambiente.gov.co*. (s.f.). Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/documento-](https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/)

[normativa/resolucion-1407-de-2018/](https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/)

*minambiente.gov.co*. (2020). Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/documento-](https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1343-de-2020/)

[normativa/resolucion-1343-de-2020/](https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1343-de-2020/)

*mindomo.com*. (s.f.). Obtenido de [https://www.mindomo.com/es/mindmap/sensores-y-](https://www.mindomo.com/es/mindmap/sensores-y-actuadores-e5281d0c59554ea295a8785ed1e72be5)

[actuadores-e5281d0c59554ea295a8785ed1e72be5](https://www.mindomo.com/es/mindmap/sensores-y-actuadores-e5281d0c59554ea295a8785ed1e72be5)

*mindomo.com.* (s.f.). Obtenido de <https://www.mindomo.com/es/mindmap/sensores-ec1fc5febc444bb9896e2ece5ae4b3ed>

Morales, D. (8 de marzo de 2019). *COBIT 2019 Por Daniel Morales*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=YtsGfsyVYcg>

Naciones Unidas. (15 de Agosto de 2021). *un.org*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Oliveira, W. (19 de julio de 2017). *HEFLO ES*. Obtenido de <https://www.heflo.com/es/blog/pdca/que-es-el-ciclo-pdca/#:~:text=El%20ciclo%20PDCA%20facilita%20la,el%20control%20de%20calidad%20estad%C3%ADstico.>

Pedamkar, P. (2017). *educba.com*. Obtenido de <https://www.educba.com/machine-learning-algorithms/?source=leftnav>

*Pink Elephant*. (14 de octubre de 2019). Obtenido de <https://pinkelephant.com.es/itil4-sistema-de-valor-del-servicio-y-cadena-de-valor-del-servicio-para-que/>

*PMOinformatica.com*. (17 de junio de 2013). Obtenido de <http://www.pmoinformatica.com/2013/06/una-breve-historia-de-las-metodologias.html>

*practica6kimberly*. (s.f.). Obtenido de <http://practica6kimberly.blogspot.com/2017/10/internet-de-las-cosas.html>

Presidencia de la República de Colombia. (17 de 01 de 2022). *Marco Ético para la Inteligencia Artificial en Colombia*. Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/AtencionCiudadana/convocatorias-consultas/consulta-200813-marco-ia-colombia>

*programarfacil.com*. (s.f.). Obtenido de <https://programarfacil.com/esp32/esp32-cam/>

Ramos, S. M. (18 de junio de 2018). Obtenido de

86

<https://saulmirandaramos.blogspot.com/2018/06/investigacion-accion-participativa.html>

*rupunad.* (23 de septiembre de 2014). Obtenido de <http://rupunad.blogspot.com/>

Seguí, L. I.-S. (2017). *Introduction to data science a python approach to concepts*. Barcelona: Springer.

*Significados.* (28 de Enero de 2015). Obtenido de <https://www.significados.com/cliente/>

*Significados.* (16 de Enero de 2020). Obtenido de <https://www.significados.com/marco-conceptual/>

Skansi, S. (2018). *Introduction to deep learning*. Springer.

*solorobotica.blogspot.com.* (s.f.). Obtenido de

<http://solorobotica.blogspot.com/2011/08/actuadores-en-robotica.html>

*suin-juriscol.gov.* (s.f.). Obtenido de [https://www.suin-](https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30044415#:~:text=LEY%202232%20DE%202022%20%28julio%2007%29%20por%20la,un%20solo%20uso%20y%20se%20dic%20tan%20otras%20disposiciones.)

[juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30044415#:~:text=LEY%202232%20DE%202022%20%28julio%2007%29%20por%20la,un%20solo%20uso%20y%20se%20dic%20tan%20otras%20disposiciones.](https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30044415#:~:text=LEY%202232%20DE%202022%20%28julio%2007%29%20por%20la,un%20solo%20uso%20y%20se%20dic%20tan%20otras%20disposiciones.)

*Técnicas de Investigación social.* (s.f.). Obtenido de

<https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-5-las-tecnicas-dialecticas-iap-y-tecnicas-de-creatividad-social/la-investigacion-accion-participativa-iap>

Tecnología, H. (26 de julio de 2019). *Hiberus*. Obtenido de <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/novedades-itol-v4/>

White, S. K. (26 de diciembre de 2017). *NetworkWorld*. Obtenido de

87

<https://www.networkworld.es/archive/que-es-cobit-un-marco-para-la-alineacion-y-la-gobernanza>

Xperta., L. (05 de 05 de 2022). *Legisnet Financiero Cambiario* . Obtenido de Proyecto de Ley 354 de 2021 Octubre 26 - Senado de la República:

[https://xperta.legis.co/visor/legfinan/legfinan\\_10c06e55778f479c9896fe30c17dfaf4/legisnet-financiero-cambiario-y-bursatil/proyecto-de-ley-354-de-2021-octubre-26-senado-de-la-republica](https://xperta.legis.co/visor/legfinan/legfinan_10c06e55778f479c9896fe30c17dfaf4/legisnet-financiero-cambiario-y-bursatil/proyecto-de-ley-354-de-2021-octubre-26-senado-de-la-republica)

Yagüe, B. M. (20 de enero de 2019). *Muy Agile*. Obtenido de <https://muyagile.com/el-manifiesto-agil/>