



universidad  
de león



## Escuela de Ingenierías

Industrial, Informática y Aeroespacial

### GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Trabajo de Fin de Grado

Desarrollo de un separador de basuras inteligente  
para uso doméstico mediante red neuronal

Development of a domestic intelligent waste  
separator using a neural network.

Autor: Ángel González García

Tutor: Ángela Díez Díez

(septiembre de 2022)

**UNIVERSIDAD DE LEÓN**  
**Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y**  
**Aeroespacial**

**GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y**  
**AUTOMÁTICA**

**Trabajo de Fin de Grado**

**ALUMNO:** Ángel González García

**TUTOR:** Ángela Díez Díez

**TÍTULO:** Desarrollo de un separador de basuras inteligente para uso doméstico mediante red neuronal

**TITLE:** Development of a domestic intelligent waste separator using a neural network.

**CONVOCATORIA:** Septiembre, 2022

**RESUMEN:**

Este trabajo consiste en el diseño y la construcción de un separador de basuras que realiza un reciclaje automático utilizando visión artificial y un algoritmo de reconocimiento de imágenes. Dentro del documento se estudiará el estado actual de las diferentes tecnologías que se utilizarán en el diseño, así como los temas que afectan a la necesidad de este (Reciclaje, desarrollo sostenible, situación medioambiental...). Dentro del documento se analizan también las posibles futuras utilidades de diferentes tecnologías y se da un punto de vista sobre la inteligencia artificial, la industria 4.0, el desarrollo sostenible y la automatización de procesos cotidianos. Para el desarrollo del prototipo se utilizarán lenguajes de programación como JavaScript, HTML, C... También, se utilizará un protocolo de comunicación, en este caso MQTT, ya que es el más adecuado para la tarea.

Se realiza también el montaje del prototipo, intentando cumplir los objetivos que se proponen al inicio de este documento.

En definitiva, el proyecto consiste en la construcción de un separador de basuras, mientras que el presente documento es un análisis detallado de los motivos por los cuales esta tecnología es necesaria, así como un resumen de las decisiones tomadas a lo largo de su desarrollo y de los procesos que han sido necesarios para la realización del prototipo.

**ABSTRACT:**

This work consists of the design and construction of a waste classifier that performs automatic recycling using artificial vision and an image recognition algorithm. The paper will study the current state of the art of the different technologies that will be used in the design, as well as the issues that affect the need for it (recycling, sustainable development, environmental situation...). The document also analyses the possible future uses of different technologies and gives a point of view on artificial intelligence, industry 4.0, sustainable development and the automation of everyday processes. For the development of the prototype, programming languages such as JavaScript, HTML, C... will be used. Also, a communication protocol will be used, in this case MQTT, as it is the most suitable for the task.

The assembly of the prototype is also developed, trying to meet the objectives proposed at the beginning of this document.

In conclusion, the project consists of the construction of a waste classifier, while this document is a detailed analysis of the reasons why this technology is necessary, as well as a summary of the decisions taken throughout its development and the processes that have been necessary for the realisation of the prototype.

**Palabras clave:** Reciclaje, DeepLearning, IA, Basuras, Red neuronal

**Firma del alumno:**

**VºBº Tutor/es:**

# Contenido

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE FLUJOGRAMAS</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>12</b>
<b>CONTEXTO</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>DESARROLLO.</b>	<b>14</b>
<b>1. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>16</b>
1.1 CONCIENCIACIÓN SOCIAL CON EL MEDIO AMBIENTE.	16
1.2 SISTEMA DE RECICLAJE ACTUAL EN ESPAÑA.	17
1.2.1 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DOMÉSTICOS SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS.	17
1.2.2 GESTIÓN DE RESIDUOS SEGÚN SU CLASIFICACIÓN	20
1.2.3 CONDUCTOS “SHAFT” DE BASURA.	23
1.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL.	24
1.3.1 EVOLUCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.	24
1.3.2 APRENDIZAJE BASADO EN EJEMPLOS.	27
1.3.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL RECICLAJE.	28
<b>2. CRONOGRAMA</b>	<b>30</b>
<b>3. PROTOTIPO DEL SEPARADOR</b>	<b>32</b>
3.1 OBJETIVO DEL PROTOTIPO	33
3.2 INTERFAZ	35
3.3 COMPONENTES ELECTRÓNICOS	36
3.3.1 MODULO ESP-32 CAM	36

3.3.2	SERVOMOTOR SG-90	37
3.3.3	XIAOMI MI-A2	38
3.3.4	SERVOMOTOR D3620MG	39
3.3.5	ESQUEMA DE CONEXIONES.	40
<b>3.4</b>	<b>TABLA DE COSTES</b>	<b>41</b>
<b>4.</b>	<b>PROGRAMACIÓN.</b>	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>ARCHIVO HTML</b>	<b>43</b>
4.2	P5.JS	44
4.3	ML5.JS	45
4.4	ECLIPSE PAHO JAVASCRIPT CLIENT	46
<b>4.2</b>	<b>ARCHIVO DE CÓDIGO EN JAVASCRIPT</b>	<b>46</b>
4.3	ENLACE MQTT	48
<b>4.4</b>	<b>PROGRAMACIÓN EN ARDUINO</b>	<b>50</b>
<b>4.5</b>	<b>TEAM VIEWER</b>	<b>51</b>
<b>4.6</b>	<b>DROID CAM</b>	<b>52</b>
<b>5.</b>	<b>PUESTA EN MARCHA.</b>	<b>53</b>
<b>6.</b>	<b>FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.</b>	<b>55</b>
6.1.1	RESUMEN DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO,	56
6.1.2	PROCESO DEL HTML Y SCRIPT "CÓDIGO.JS".	57
6.1.3	FLUJOGRAMA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS.	59
6.1.4	FUNCIÓN ENTRENAR	61
6.1.5	FUNCIÓN CLASIFICAR	62
6.1.6	CONTROL DE LOS SERVOS POR EL MÓDULO ESP32	63
<b>7.</b>	<b>PÁGINA WEB.</b>	<b>64</b>
<b>8.</b>	<b>NORMATIVA.</b>	<b>65</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>

<b>9.1</b>	<b>POSIBLES MEJORAS FUTURAS</b>	<b>68</b>
<b>9.2</b>	<b>POSIBLES USOS FUTUROS</b>	<b>69</b>
<b>9.3</b>	<b>RESOLUCIONES FINALES</b>	<b>70</b>
<b>9.4</b>	<b>ORGANIZACIÓN DEL TIEMPO</b>	<b>70</b>
<b><u>LISTA DE REFERENCIAS.</u></b>		<b><u>72</u></b>
<b><u>AGRADECIMIENTOS.</u></b>		<b><u>77</u></b>
<b><u>ANEXOS</u></b>		<b><u>78</u></b>
<b>ANEXO A</b>	<b>SERVO MOTOR SG90 DATA SHEET</b>	<b>78</b>
		<b>78</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>ESTADÍSTICAS EVOLUCIÓN RECICLAJE EUROSTAT</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>ESTADÍSTICAS RECICLAJE EUROSTAT 2000</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>ESTADÍSTICAS RECICLAJE EUROSTAT 2022</b>	<b>81</b>

# Índice de figuras

<b><u>FIGURA 1.1 GRÁFICO SOBRE LA TASA DE RECICLAJE DE BASURAS MUNICIPALES (EUROSTAT, 2022).</u></b>	<b>16</b>
<b><u>FIGURA 1.2 CONTENEDORES DE RESIDUOS TIPO 1. (FUENTE: BBVA, ARTÍCULO SOBRE EL RECICLAJE REALIZADO EN SU SECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD, 2022).</u></b>	<b>20</b>
<b><u>FIGURA 1.3 CONTENEDOR AZUL. (FUENTE: CONSERVATUPLANETA.COM, CONTENEDOR AZUL PARA PAPEL Y CARTÓN EN LA CALLE, 2011).</u></b>	<b>21</b>
<b><u>FIGURA 1.4 CONTENEDOR DE VIDRIO. (FUENTE: EL PAÍS, BLOG SOBRE RECICLAJE POR CLEMENTE ÁLVAREZ EL 16 DE MARZO DE 2011).</u></b>	<b>22</b>
<b><u>FIGURA 1.5 CONTENEDOR DE ACEITE. (FUENTE: PUMARIEGA GESTIÓN, INFORMACIÓN SOBRE PUNTOS DE RECOGIDA DE ACEITE EN AVILÉS, 2022).</u></b>	<b>23</b>
<b><u>FIGURA 1.6 FINAL CONDUCTO SHAFT. (FUENTE: FIN DE PLAGAS, PÁGINA SOBRE LIMPIEZA DE SHAFTS, 2020).</u></b>	<b>24</b>
<b><u>FIGURA 1.7 EVOLUCIÓN DE UN ALGORITMO BASADO EN EJEMPLOS AL AÑADIR DIFERENTES EJEMPLOS A LO LARGO DEL TIEMPO. (FUENTE: INSTANT-BASED LEARNING ALGORITHMS, AHA, D. W, KIBLER, D. Y ALBERT, M. K., 1991).</u></b>	<b>27</b>
<b><u>FIGURA 1.8 AIRE, CHATBOT ECOEMBES (FUENTE: <a href="https://www.ecoembes.com/proyectos-destacados/chatbot-aire/">HTTPS://WWW.ECOEMBES.COM/PROYECTOS-DESTACADOS/CHATBOT-AIRE/</a> , 2019).</u></b>	<b>28</b>
<b><u>FIGURA 1.8 AI-MAX (FUENTE: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=LQEZG4CBJO0&amp;t=3s">HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=LQEZG4CBJO0&amp;t=3s</a>, 2022).</u></b>	<b>29</b>
<b><u>FIGURA 2.1 DIAGRAMA GANTT DE INVESTIGACIÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</u></b>	<b>30</b>
<b><u>FIGURA 2.2 DIAGRAMA GANTT DEL DESARROLLO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</u></b>	<b>31</b>

<b>FIGURA 3.1 PROTOTIPO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 3.2 PROTOTIPO CON TELÉFONO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 3.3 PLACA SUPERIOR (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 3.4 INTERFAZ (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 3.5 ESP32-CAM (FUENTE: <a href="https://naylampmechatronics.com/">HTTPS://NAYLAMPMECHATRONICS.COM/</a> ).</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 3.6 SERVOMOTOR SG-90 (FUENTE: DATASHEET SG-90)</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 3.7 XIAOMI MI A2 (FUENTE: IDÉALO, ARTICULO EN VENTA).</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 3.8 SERVOMOTOR D3620MG (FUENTE: ÁMAZON)</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 3.9 ESQUEMA DE CONEXIONES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 3.10 ESP-32 CAM (FUENTE: PROGRAMAFACIL.COM)</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 3.11 D3620MG (FUENTE: AMAZON)</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 3.12 SG-90 (FUENTE: AMAZON)</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 3.13 BATERÍAS AMAZON (FUENTE: AMAZON)</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 3.14 MODULO DE ALIMENTACIÓN (FUENTE: AMAZON)</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 4.1 ESTRUCTURA SW DEL SISTEMA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 4.2 P5.JS (FUENTE: <a href="https://discourse.processing.org/t/interactive-tutorials-using-p5/17091">HTTPS://DISCOURSE.PROCESSING.ORG/T/INTERACTIVE-TUTORIALS-USING-P5/17091</a> , 01/2020)</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 4.3 ML5 (FUENTE: <a href="https://ml5js.org/">HTTPS://ML5JS.ORG/</a> ,2018).</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 4.4 PAHO (FUENTE: <a href="https://www.eclipse.org/paho/">HTTPS://WWW.ECLIPSE.ORG/PAHO/</a> ,2012).</b>	<b>46</b>



<b><u>FIGURA 4.5 CÓDIGO MOSTRAR CÁMARA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</u></b>	<b><u>47</u></b>
<b><u>FIGURA 4.6 CAPTURA COMANDO AÑADIR EJEMPLOS AL KNN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</u></b>	<b><u>47</u></b>
<b><u>FIGURA 4.7 CAPTURA CARACTERÍSTICAS DE CONEXIÓN A BROKER (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</u></b>	<b><u>48</u></b>
<b><u>FIGURA 4.8 FUNCIONAMIENTO DE LA COMUNICACIÓN MQTT (FUENTE: <a href="https://mqtt.org/">HTTPS://MQTT.ORG/</a>, 2006)</u></b>	<b><u>49</u></b>
<b><u>FIGURA 4.9 HIVEMQ (FUENTE: <a href="https://www.hivemq.com/">HTTPS://WWW.HIVEMQ.COM/</a>, 2013)</u></b>	<b><u>49</u></b>
<b><u>FIGURA 7.1 BLOG RECICLAJE AUTOMÁTICO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b><u>64</u></b>

# Índice de tablas

<b>TABLA 1.1. DEFINICIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL. (FUENTE: RUSSELL Y NORVIG, 2016; ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A MODERN APPROACH).</b>	<b>25</b>
<b>TABLA 3.2 CARACTERÍSTICAS ESP32-CAM (FUENTE:DATASHEET ESP32-CAM)</b>	<b>36</b>
<b>TABLA 3.3 DIMENSIONES DEL SG-90 (FUENTE:DATASHEET SG-90)</b>	<b>37</b>
<b>TABLA 3.4 TABLA DE COSTES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</b>	<b>42</b>
<b>TABLA 6.1 LEYENDA PARA LOS FLUJOGRAMAS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).</b>	<b>55</b>

# índice de flujogramas

<b><u>FLUJOGRAMA 6.1 FLUJOGRAMA RESUMEN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b>56</b>
<b><u>FLUJOGRAMA 6.2 FLUJOGRAMA HTML (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b>57</b>
<b><u>FLUJOGRAMA 6.3 FLUJOGRAMA JAVASCRIPT (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b>58</b>
<b><u>FLUJOGRAMA 6.4 FLUJOGRAMA CÁMARA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b>59</b>
<b><u>FLUJOGRAMA 6.5 FLUJOGRAMA BOTONES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b>60</b>
<b><u>FLUJOGRAMA 6.6 FLUJOGRAMA ENTRENAR (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b>61</b>
<b><u>FLUJOGRAMA 6.7 FLUJOGRAMA CLASIFICACIÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b>62</b>
<b><u>FLUJOGRAMA 6.8 FLUJOGRAMA SERVOS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)</u></b>	<b>63</b>

# Introducción.

## Contexto

En 1987 se redactó el Informe Brundtland, desarrollado por una comisión encabezada por la doctora Gro Harlem Brundtland, este documento alertaba de las posibles consecuencias que podría traer el desarrollo económico, así como la propia globalización. En este documento se acuñó por primera vez el término “desarrollo sostenible”.

Se define el desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

Vivimos en una época en la cual, debido a diferentes motivos que serán analizados más adelante en este documento, debido al calentamiento global las temperaturas del planeta están aumentando gradualmente y cada vez se producen más fenómenos meteorológicos extremos (Olas de calor, inundaciones...).

También vivimos en un momento en el cual la inteligencia artificial está convirtiéndose en uno de los campos de investigación más importantes de la actualidad, habiendo causado un gran avance a nivel industrial, introduciéndose la inteligencia artificial en la industria 4.0, significando esto probablemente una nueva revolución industrial.

Estos son los motivos principales que me han llevado personalmente a realizar este proyecto, ya que, en el contexto actual, en el cual podemos contar con un aparato que conecte todos nuestros dispositivos, permitiéndonos encender las luces con un simple comando de voz y automatizando prácticamente todos los procesos que tenían que realizarse manualmente hace tan solo unos pocos años, además de contar con la tecnología necesaria para que las máquinas sean capaces de aprender, entrenándose ante diferentes situaciones y llegando a

realizar tareas con una eficacia mayor que la de los propios humanos, resultando en facilitar la vida del usuario y, además, mejorar el resultado de dicha tarea, deberíamos comenzar a revisar si podemos utilizar estos nuevos avances para ayudarnos a llevar una rutina diaria más sostenible.

En mi opinión, los mayores cambios empiezan por los cambios más pequeños, por eso, automatizar un hábito cómo es el reciclaje, que puede presentar cierta dificultad para algunas personas, mediante el uso de la inteligencia artificial puede ser un buen punto para comenzar a marcar una diferencia y ayudar a mejorar el futuro de la sociedad, ayudando con uno de los 17 objetivos para un desarrollo sostenible.

Además de los motivos externos que han influenciado mi decisión a la hora de elegir llevar a cabo este proyecto, también me ha motivado a realizar este trabajo el interés que me producía aprender a utilizar nuevos lenguajes de programación, investigar sobre las diferentes bibliotecas que existen relacionadas con la visión artificial, aprender más sobre machine learning y redes neuronales y, en definitiva, llevar a cabo un prototipo cuya temática combinaba muchos temas que me parecían de una gran importancia.

## Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es el de realizar un prototipo de un separador de basuras inteligente para uso doméstico utilizando un microcontrolador.

Dentro de esta definición general, el prototipo debe cumplir diversos objetivos, siendo estos los siguientes:

1. El diseño debe poder utilizarse sin tener conocimientos previos sobre ingeniería ni programación, siendo un prototipo para uso doméstico accesible a las personas acompañado, en caso de necesidad, de una explicación clara y sencilla para su uso diario.
2. El prototipo constará de mínimo 3 compartimentos diferentes

3. Se utilizará un diseño que suponga el menor coste posible, con la intención de obtener un producto accesible para la mayor parte posible de la población
4. En caso de ser posible, se añadirá la posibilidad de entrenar manualmente la neurona, además de poder cambiar entre modo manual y modo automático
5. El dispositivo contará con un botón que será el que comience su funcionamiento con el objetivo de ahorrar energía y evitar errores
6. Se podrá acceder de forma lo más sencilla posible a los compartimentos para cambiar las bolsas y realizar limpieza en el prototipo.
7. El funcionamiento de los motores se facilitará en la medida de lo posible para utilizar un modelo con pocos requerimientos energéticos, barato y fácil de sustituir.
8. El prototipo no tendrá un diseño que provoque que tenga que ser sustituido ante averías para evitar la generación de desechos electrónicos. En su lugar, tendrá un diseño que incite a la reparación, con piezas fácilmente sustituibles y un funcionamiento interno sencillo e intuitivo.
9. Con el fin de incitar al uso del prototipo, este tendrá un diseño estético parecido a los contenedores actuales, facilitando la sustitución del sistema de gestión de residuos con el que cuenta el usuario por uno automático sin un gran cambio estético.

## Desarrollo.

Para comenzar con el desarrollo de este documento, contamos con el apartado “Estado del arte”, el cual consiste en un estudio del estado actual de la tecnología abordada en el proyecto, así como un estudio del reciclaje como problema a abordar, un estudio de las tecnologías que pueden resultar de utilidad para

comprender mejor el desarrollo del proyecto y, por último, de las tecnologías existentes con una labor u objetivo parecida a la realizada en este proyecto.

Tras esto contamos con un apartado destinado a explicar los componentes físicos que forman parte del separador de basuras, así como las consideraciones que se han tenido en cuenta para el desarrollo del diseño y del desarrollo. También cuenta con los datos específicos de los diferentes componentes electrónicos del prototipo que es necesario conocer, así como una tabla con los costes finales del desarrollo.

A continuación, en el apartado de programación, podemos encontrar una explicación mediante ingeniería inversa de los diferentes fragmentos de códigos, así como una explicación de las herramientas de software utilizadas y una justificación de su uso.

En el apartado cuatro, contamos con una combinación de la explicación del funcionamiento del software y del hardware del dispositivo, en este apartado, tenemos un resumen del funcionamiento final del código en relación con el prototipo, también contamos en este apartado con los diferentes flujogramas que nos explican el funcionamiento de los procesos que se llevan a cabo desde el momento de puesta en marcha del dispositivo.

Los últimos apartados corresponden a la normativa que afecta al desarrollo del proyecto y en las conclusiones, contando también, dentro de las conclusiones, con un subapartado que consiste en posibles mejoras que pueden ser añadidas en un futuro a la tecnología desarrollada en este proyecto, así como una visión a futuro de posibilidades diferentes que puedan ser incluso más eficaces que la tecnología desarrollada en este documento, utilizando combinaciones de tecnologías existentes.

# 1. Estado del arte

## 1.1 Concienciación social con el medio ambiente.

Actualmente, con la aparición de, por ejemplo, olas de calor con temperaturas cada vez más altas y con una duración cada vez mayor, es sencillo determinar que nos encontramos ante un calentamiento global que, en cierta proporción, es causado por el modo de vida actual de las personas, esto incluye el efecto que tiene la industria sobre el medio ambiente y el efecto que tienen los hábitos que las personas mantienen a nivel personal.

Para empezar a abordar el tema, consultaremos la Oficina Estadística de la Unión Europea, que se encarga de publicar estadísticas e indicadores de bastante fiabilidad, al ser una fuente oficial de datos.

En la fuente ya mencionada, podemos encontrar el gráfico que relaciona los diferentes países de la unión europea con sus tasas de reciclaje a lo largo de los años, vamos a obtener los datos relativos a España y al conjunto de la unión europea, las cuales aparecen de forma porcentual. De este gráfico podemos extraer varias conclusiones que sean relevantes para nuestro proyecto:

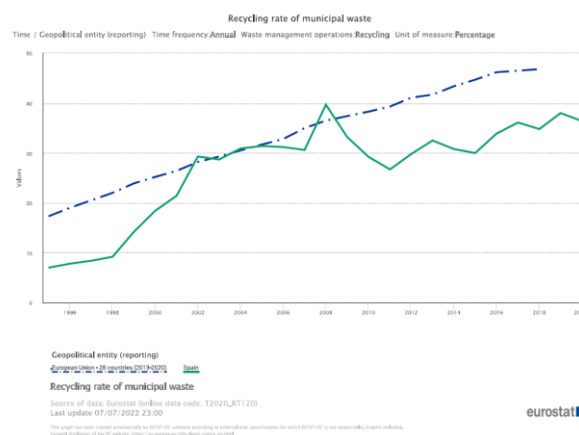


Figura 1.1 Gráfico sobre la tasa de reciclaje de basuras municipales (Eurostat, 2022).



Se definen los residuos municipales como aquellos generados en domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como aquellos que no tienen calificación de peligrosos y por su naturaleza o composición pueden asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades. (Eurostat, 2022).

En primer lugar, podemos ver que, tanto en el caso de la unión europea como en el de España, se puede apreciar un aumento de la tasa de reciclaje a lo largo de los años, lo cual puede deberse a una evolución en la conciencia social de la población europea.

Podemos comprobar la evolución en diferentes países de Europa a lo largo de los años en los gráficos adjuntos en los anexos C y D, los cuales muestran la tasa de reciclaje de varios países de Europa en el año 2000 y el año 2020.

Como podemos apreciar, la sociedad evoluciona con los años hacia un estilo de vida más sostenible, lo cual conlleva un aumento de los esfuerzos a la hora de tomar hábitos como el reciclaje. (Derksen and Gartrell, 1993)

## 1.2 Sistema de reciclaje actual en España.

Podemos encontrar muy fácilmente información sobre el sistema actual utilizado en el sistema de reciclaje español actualmente. Este sistema sigue la normativa europea, así como ciertas normativas estatales, intentando aplicar varios planes tanto estatales como autonómicos. Todo esto entra en las competencias del Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en cuya página web (<https://www.miteco.gob.es/es/>, 2018) podremos encontrar las explicaciones del funcionamiento del protocolo actual.

Vamos a orientar la investigación hacia el estado actual de la gestión de residuos domésticos.

### 1.2.1 Clasificación de residuos domésticos según sus características.

Vamos a utilizar la clasificación presente en la web del “MITECO”, ya que es la que se utiliza en la norma actual para el reciclaje.

#### 1.2.1.1 *Biorresiduos*

Se consideran biorresiduos domésticos a aquellos que son orgánicos biodegradables de origen vegetal y/o animal, estos residuos tienden a degradarse biológicamente. Desde una perspectiva de gestión de residuos podemos encontrar dos fracciones: La poda (Incluye los restos vegetales de jardinería y poda de mayor tamaño y tipo leñoso, que requiere una gestión específica por cuestiones logísticas) y Fracción Orgánica (Que engloba todos los demás residuos orgánicos domésticos).

#### 1.2.1.2 *Envases ligeros*

Se denominan envases a los productos que, independientemente de su naturaleza o material sea utilizado para contener, manipular, proteger, distribuir o presentar mercancías. Dentro de los envases, se consideran envases ligeros a aquellos con una densidad baja, fundamentalmente está constituida por botellas, botes de plástico, plástico filme, latas, briks, cartón para bebidas y más envases con esta característica.

#### 1.2.1.3 *Papel y cartón*

Productos de papel y cartón, fabricados a partir de celulosa virgen o recuperada de papel y cartón reciclados.

#### 1.2.1.4 *Vidrio*

Grupo constituido por los envases de vidrio, así como todo lo que esté fabricado de este material.

#### 1.2.1.5 *Residuos eléctricos y electrónicos*

Son aquellos residuos que están conformados por una combinación de piezas que, para funcionar, requieren corriente eléctrica o campos electromagnéticos. Podemos encontrar en este grupo todos los aparatos electrónicos que desechamos en el ámbito doméstico (Circuitos integrados, Piezas concretas de aparatos electrónicos...).

#### 1.2.1.6 *Pilas y baterías*

Grupo compuesto por pilas y baterías utilizadas para alimentar los aparatos electrónicos y eléctricos.

#### 1.2.1.7 *Textil y Calzado*

Ropa de vestir, calzado y textil del hogar, el cual tras un determinado uso acaba convirtiéndose en un residuo. Cada vez están más presentes en la sociedad, ya que cada vez se prescinde con mayor frecuencia de la ropa usada (debido a modas, renovación de vestuario...).

#### 1.2.1.8 *Medicamentos*

Consideramos medicamento a toda sustancia medicinal y sus asociaciones o combinaciones, las cuales son usadas en personas o animales y tienen como función tratar, prevenir, diagnosticar, aliviar o curar enfermedades y dolencias. Los residuos de medicamentos son aquellos sobrantes o caducados y sus propios envases, estén vacíos o no.

#### 1.2.1.9 *Aceites de cocina*

Grasas de origen animal o vegetal utilizados para el cocinado de alimentos que son desechados tras su uso. Debe prestarse especial atención a su gestión, ya que desecharlos por fregaderos, inodoros u otros elementos de la red de saneamiento pública afecta enormemente a los seres vivos, siendo capaz un litro de aceite de contaminar mil litros de agua.

#### 1.2.1.10 *Resto*

Existe finalmente una fracción destinada a todos los demás residuos que no podemos englobar en los anteriores grupos, por ejemplo: colillas y ceniza de cigarrillos, fotografías, tarjetas de crédito o similares, residuos de la limpieza doméstica... etc.

## 1.2.2 Gestión de residuos según su clasificación

En España existen seis modelos de separación de residuos de competencia municipal. Los más comunes son el tipo 1, que cuenta con 5 fracciones y aparenta ser el predominante en el futuro cercano, el tipo 4, que cuenta con 4 fracciones y poda y el tipo 5, que cuenta únicamente con 4 fracciones, la diferencia entre el tipo uno y el tipo 4 y 5 es que el tipo 1 cuenta con una distinción entre la fracción orgánica y la fracción resto. (<https://www.ecoembes.com/es>, 2008).



*Figura 1.2 Contenedores de residuos Tipo 1. (Fuente: BBVA, artículo sobre el reciclaje realizado en su sección de sostenibilidad, 2022).*

Realizaremos la clasificación según información obtenida de ecoembes, empresa sin ánimo de lucro que cuida el medioambiente a través del reciclaje.

Esta empresa se dedica a fomentar el reciclaje, teniendo en su página web mucha información sobre este que puede ser de ayuda para que las personas salgan de dudas sobre el proceso de reciclaje, evitando las dudas que surgen a la hora de llevar a cabo esta tarea.

### 1.2.2.1 Contenedor Azul

En el contenedor azul se depositarán los residuos clasificados en la categoría de papel y cartón que hemos visto anteriormente. Los errores más habituales a la hora de utilizar este contenedor son: Utilizarlo para depositar briks, los cuales corresponden al contenedor amarillo a pesar de su apariencia de cartón, utilizarlo para depositar servilletas o papeles usados, los cuales deben ir al contenedor de desechos orgánicos, ya que pueden estar manchados de aceites o residuos. (<https://www.ecoembes.com/es>, 2008).



Figura 1.3 Contenedor azul. (Fuente: Conservatuplaneta.com, contenedor azul para papel y cartón en la calle, 2011).

### 1.2.2.2 Contenedor amarillo

El contenedor amarillo se utiliza para depositar envases de plástico ligeros, entre estos, como ya hemos visto, podemos englobar botellas, bolsas de plástico, bandejas de aluminio, tarrinas y tapas de yogurt, bricks, aerosoles...

En cuanto a los errores típicos a la hora de utilizar este contenedor podemos encontrar su uso para depositar juguetes de plástico, biberones y chupetes, utensilios de cocina y cubos de plástico (que deben ir al contenedor de restos). (<https://www.ecoembes.com/es>, 2008).

### 1.2.2.3 Contenedor verde

El contenedor verde es el que se utiliza para vidrios, el error más común respecto a este contenedor es la necesidad de diferenciar el vidrio del cristal. Las bombillas, espejos, ceniceros, vasos y vajillas de cristal deben ser depositados en un punto limpio o centro de recogida. (<https://www.ecoembes.com/es>, 2008).



Figura 1.4 Contenedor de vidrio. (Fuente: El País, Blog sobre reciclaje por Clemente Álvarez el 16 de marzo de 2011).

### 1.2.2.4 Contenedor marrón

En el contenedor marrón debes depositar los biorresiduos. El error más común es depositar en este contenedor restos no orgánicos, como colillas, chicles, pelo, polvo... etc. (<https://www.ecoembes.com/es>, 2008).

### 1.2.2.5 Contenedor gris

Este contenedor se utiliza para depositar todos los residuos de la fracción restos, es decir, aquellos que no pueden reciclarse ni utilizarse para hacer compost. Este contenedor es característico del tipo 1 y está siendo utilizado cada vez en más partes de España, aun así, de momento, en muchos lugares del país aún se utiliza el contenedor de residuos orgánicos para esta función. (<https://www.ecoembes.com/es>, 2008).

### 1.2.2.6 Contenedor aceite

Existe también un contenedor de color naranja, que es un contenedor utilizado para depositar los aceites de cocina, es necesario mencionarlo debido a la gran importancia de gestionar adecuadamente este tipo de residuos por su nocivo efecto en el medio ambiente. (<https://www.miteco.gob.es/es/>, 2018).



Figura 1.5 Contenedor de aceite. (Fuente: Pumariega gestión, información sobre puntos de recogida de aceite en Avilés, 2022).

En conclusión, en una situación ideal contaríamos con 6 recipientes diferentes para desechar nuestra basura. Esto no es lo común en la mayoría de los hogares, por lo tanto, debería facilitarse el proceso de reciclaje de alguna forma para que más gente lo lleve a cabo.

### 1.2.3 Conductos “Shaft” de basura.

Los conductos shaft de basura son conductos presentes en algunos edificios, que sirven para deshacerse de la basura de una forma cómoda. Este tipo de conductos recorren verticalmente los edificios, contando con un punto final al cual llegan los desechos tras tirarlos desde el piso en el que te encuentres sin necesidad de bajarla, es digna su mención por la comodidad que aportan al

reciclaje. (Grupo AM, “Shaft de basura, ¿En qué consiste su limpieza?”, 26/12/2019).



*Figura 1.6 Final conducto shaft. (Fuente: Fin de plagas, página sobre limpieza de shafts, 2020).*

A pesar de su aparente utilidad y de la sencillez de la idea, los conductos shaft no son lo más común actualmente, quizá debido a sus requerimientos de personal que lleve a cabo su limpieza y mantenimiento, así como que saque los contenedores de basura desde la sala de basuras hasta la calle. Sin embargo, podría evolucionar hacia una idea más automatizada y con menos necesidad de operarios en un futuro, por lo tanto, es bueno tener en cuenta esta alternativa.

### 1.3 Inteligencia artificial.

#### 1.3.1 Evolución de la inteligencia artificial.

Actualmente vivimos en una sociedad en la cual la inteligencia artificial ha cobrado una gran importancia a un ritmo muy rápido. Desde la vida cotidiana hasta la industria, todos los ámbitos se han visto muy afectados por el avance de esta tecnología, existiendo actualmente muchas inteligencias artificiales que tienen mayor fidelidad a la hora de realizar tareas que los seres humanos.(Ghobakhloo, 2020b)



Sistemas que piensan como humanos:	Sistemas que piensan racionalmente:
<p>“El excitante esfuerzo de hacer a los ordenadores pensar... Máquinas con mentes, en sentido completo y literal” (Haugeland, 1985).</p> <p>“La automatización de actividades que asociamos con el pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje...” (Bellman, 1978).</p>	<p>“El estudio de facultades mentales a través del uso de modelos computacionales” (Chamiak and McDermott, 1985).</p> <p>“El estudio de computación que tiene posibilidad de percibir, razonar y actuar.” (Winston, 1992).</p>
Sistemas que actúan como humanos:	Sistemas que actúan racionalmente:
<p>“El arte de crear máquinas que llevan a cabo funciones que requieren inteligencia cuando son realizadas por personas. (Kurzweil, 1990).</p> <p>“El estudio para hacer que los ordenadores hagan cosas en las cuales, actualmente, las personas son mejores. (Ritch and Knight, 1991).</p>	<p>“La inteligencia computacional es el estudio del diseño de agentes inteligentes” (Poole et al. 1998)</p> <p>“IA... es contar con comportamiento inteligente en artefactos” (Nilsson, 1998)</p>

TABLA 1.1. DEFINICIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL. (FUENTE: RUSSELL Y NORVIG, 2016; ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A MODERN APPROACH).

Desde la invención de los ordenadores, las investigaciones en inteligencia artificial han ido orientadas en la dirección de dotar a las máquinas de capacidad para enfrentarse a problemas sin necesidad de contar con un operario. Con este fin se han utilizado diferentes tecnologías dependiendo del uso al que fuesen destinadas estas máquinas.

A continuación, contamos con una breve lista de algunos de los momentos más relevantes en la evolución de la inteligencia artificial (National Geographic, 2019):

- ❖ 1854. George Boole argumenta, por primera vez en la historia, que sistematizar el razonamiento lógico es posible.
- ❖ 1921. Karek Apek utiliza el término “Robot” en la obra de teatro R.U.R. Proviene de la palabra robota, que significa “trabajo duro” en muchas lenguas eslavas.
- ❖ 1936. Alan Turing publica su artículo sobre números computables, introduciendo el concepto de algoritmo, lo cual sienta las bases de la informática.
- ❖ 1941. Konrad Zuse crea Z3, que es la primera computadora que es completamente automática y programable, es decir, el primer ordenador de la historia moderna.
- ❖ 1950. Como primer obstáculo a superar por las inteligencias artificiales, Alan Turing propone en su ensayo “Computing Machinery and Intelligence” el Test de Turing, que consiste en una prueba de comunicación entre persona y máquina para poner a prueba la capacidad de esta última para hacerse pasar por humano. En esta prueba una persona debe comunicarse por separado con una máquina y con otra persona sin saber en ningún momento cuál de los dos es el ser humano y cual la máquina. El test será superado si la máquina consigue que la persona se confunda al tener que elegir cuál de las dos conversaciones fue con otro humano.
- ❖ 1956. John McCarthy acuña durante la conferencia de Darmouth por primera vez el término Inteligencia Artificial.
- ❖ 1957. Frank Rosenblat diseña la primera red neuronal artificial.
- ❖ 1969. Marvin Minsky escribe el libro “Perceptrones”, el trabajo fundamental del análisis de redes neuronales.

- ❖ 2012. Google crea usando Deep learning un superordenador que es capaz de identificar gatos, caras y cuerpos humanos.
- ❖ 2014. Eugene Goostman es el nombre del primer bot capaz de superar el Test de Turing. Fue capaz de engañar a 30 de los 150 jueces a los que se le sometió.
- ❖ 2015. En octubre de 2015, AlphaGo se convirtió en la primera máquina capaz de ganar a un jugador profesional de Go en un tablero de 19x19. Debido a la complejidad del Go, el cual tiene entre 150 y 250 posibles movimientos en cada turno, comparados con los 37 de media del ajedrez, este juego se había resistido hasta 2015 sin tener un ordenador que contase con un algoritmo suficientemente potente como para ganar a un jugador profesional. Los juegos y puzzles han ayudado mucho en la evolución de la inteligencia artificial.

### 1.3.2 Aprendizaje basado en ejemplos.

Se define el aprendizaje basado en ejemplos como un tipo de machine learning supervisado, los cuales comienzan a funcionar al recibir un ejemplo. Este tipo de algoritmos se basa en ejemplos anteriores para resolver problemas que aparecen, si no cuentan con ejemplos previos no son capaces de funcionar. (Aha, D. W, Kibler, D. y Albert, M. K. "Instant-Based Learning Algorithms", 1991)

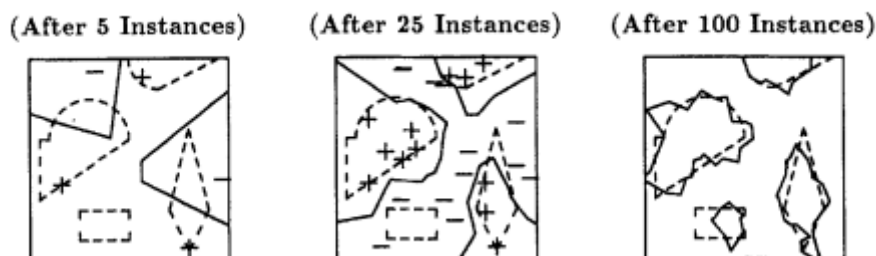


Figura 1.7 Evolución de un algoritmo basado en ejemplos al añadir diferentes ejemplos a lo largo del tiempo. (Fuente: *Instant-Based Learning Algorithms*, Aha, D. W, Kibler, D. y Albert, M. K., 1991).

### 1.3.2.1 *K-Nearest neighbor.*

El algoritmo basado en los K vecinos más cercanos (KNN) es el tipo fundamental de clasificador, el cual está basado normalmente en la distancia Euclidea entre un ejemplo y el objeto a clasificar. (Leif E. Peterson, Scholarpedia, 2009).

### 1.3.3 Inteligencia artificial aplicada al reciclaje.

Actualmente existen varios robots que, mediante inteligencia artificial son capaces de ayudar a realizar tareas de reciclaje, estos robots son principalmente orientados al uso industrial, separando basuras en plantas de reciclaje, también existen chatbots que pueden ayudar con las dudas sobre el reciclaje a las personas que cuenten con ellas. A continuación, aparecen algunos ejemplos.

#### 1.3.3.1 *Chatbot ecoembes*

La empresa ecoembes, la cual ya ha sido mencionada previamente, posee un chatbot dedicado a ayudar a la gente resolviendo dudas sobre el reciclaje. Sirve como ayuda para que las personas no se equivoquen a la hora de elegir a que contenedor tirar los desechos, por ejemplo, si le preguntas en qué contenedor deberías desechar una bombilla, este responderá que hay que llevarla a un punto limpio.

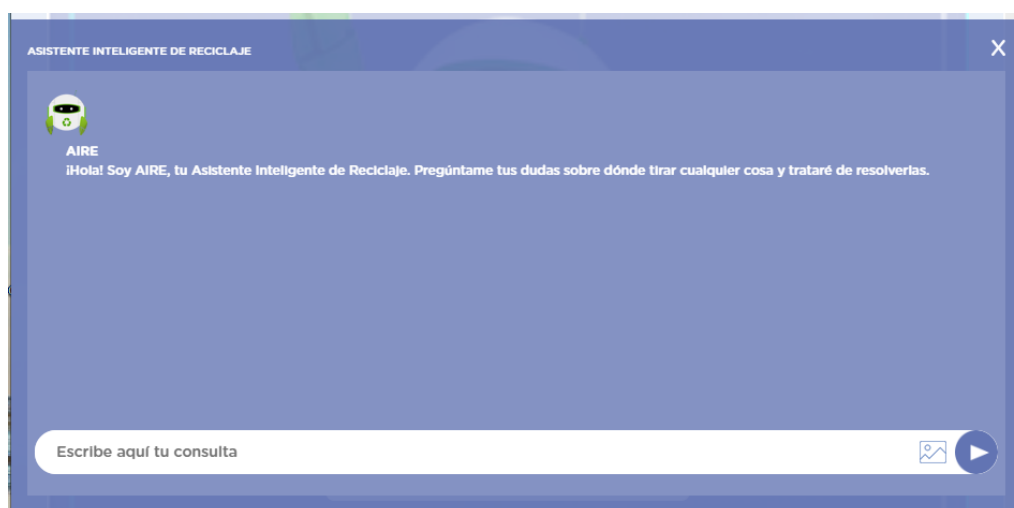


Figura 1.8 Aire, chatbot ecoembes (Fuente: <https://www.ecoembes.com/proyectos-destacados/chatbot-aire/>, 2019).

### 1.3.3.2 Max-AI

“No me pongo enfermo. No necesito descansos, almuerzos ni días libres. Trabajo más, durante más tiempo y mejor que nadie. Soy más preciso y eficiente que cualquiera. Gracias a mi red neuronal inteligente, soy capaz de aprender en el trabajo para adaptarme a las condiciones y variables cambiantes. Fui creado para hacer este trabajo y espero cada día cumplir mi promesa mientras reduzco los costes, mejoro la productividad y proporciono mayores beneficios a mis empleadores.” (<https://www.max-ai.com/>, 2017).

El robot Max-AI fue creado para realizar funciones de reciclaje. Este robot consiste en una máquina de uso industrial orientada a las plantas de tratamiento de residuo, la cual, mediante Deep learning es capaz de diferenciar los tipos de basura y separarlos automáticamente.

Fue desarrollado por la empresa Bulk Handling Systems (BHS), fundada en 1976 en Oregón, en colaboración con la empresa Sadako Technologies.

La primera unidad de Max-Ai está en funcionamiento desde abril de 2017, fue instalada en una planta de tratamiento de residuos de California. (Sadako technologies. 2017).

A continuación, podemos ver el robot MAX-AI en funcionamiento separando residuos reutilizables y reciclables de aquellos que no lo son:



Figura 1.8 Ai-Max (Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=Lqezq4cbjo0&t=3s>, 2022).

## 2. Cronograma

Para organizar el tiempo de desarrollo de un proyecto se puede utilizar un diagrama de Gantt como los que tenemos a continuación

Un diagrama Gantt debe mostrar las fechas de inicio y final de un proyecto, así como las tareas que lo componen y la duración de cada tarea. También podemos ver aquellas tareas que se superponen, pudiendo llevarse a cabo de forma simultánea o incluso estando estrechamente relacionadas, lo cual conlleva que el solapamiento sea necesario.

El primer gráfico es únicamente del proceso de investigación, que fue el primer paso del proyecto, mientras que el segundo representa el desarrollo de este a lo largo de los últimos meses.



Figura 2.1 Diagrama Gantt de investigación (Fuente: Elaboración propia).

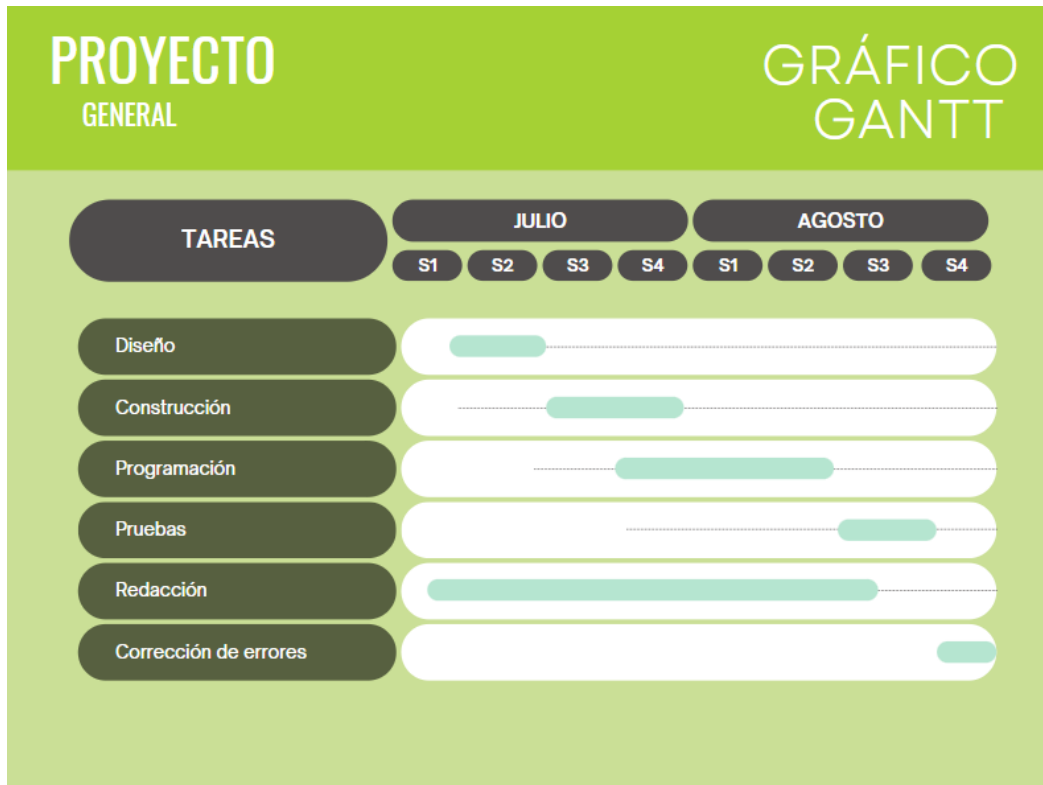


Figura 2.2 Diagrama Gantt del desarrollo (Fuente: Elaboración propia).

### 3. Prototipo del separador

Se ha diseñado el prototipo para desentonar lo menos posible en el entorno en el cual es común llevar a cabo su tarea. De la misma forma, se ha intentado que su tamaño no exceda el necesario. Para el diseño se ha decidido utilizar un cubo de 70 litros, el cual se ha dividido en 3 compartimentos utilizando placas interiores. 2 de los compartimentos contarán con unas dimensiones mayores, ya que el 3 de ellos estará destinado a almacenar basuras menos comunes para, de esta forma, contar con suficiente espacio para los demás residuos en los otros compartimentos.



*Figura 3.1 Prototipo (Fuente: Elaboración propia).*

Como se puede ver en las conexiones, así como en las posiciones de los actuadores y sensores, todo está colocado de forma que sea accesible y pueda ser sustituido de forma sencilla, evitando las soldaduras y facilitando la



extracción de las piezas de forma que se evite generar residuos electrónicos de forma innecesaria.



*Figura 3.2 Prototipo con teléfono (Fuente: Elaboración propia).*

### 3.1 Objetivo del prototipo

El objetivo del prototipo se basa principalmente en dar una orden a 2 servomotores cuando se accione el botón del teléfono móvil, uno de los cuales se encarga de alinear la plataforma superior del prototipo de forma que la basura quede sobre la bolsa correspondiente, mientras que el otro se utiliza para abrir la tapa y dejar pasar la basura de forma que esta caiga sola.

Para esto contamos con unos raíles que facilitan el movimiento de la plataforma, reduciendo la fuerza de rozamiento y mejorando el ángulo en el cual se encuentran las placas, lo que reduce la fuerza que tiene que realizar el motor y, por lo tanto, el consumo energético. Los raíles están colocados directamente sobre el borde del cubo y al borde de la placa pequeña.

También contamos con un teléfono móvil antiguo (el cual iba a convertirse en un residuo electrónico, lo cual ha sido un incentivo para utilizarlo y así evitar desechos innecesarios). Sin embargo, podría utilizarse el teléfono móvil propio o incluso cualquier cámara web que esté conectada al ordenador portátil, la elección de utilizar un móvil antiguo se basa en la comodidad que aporta esto al

entrenamiento de la red neuronal, así como la calidad de la cámara del mismo, la posibilidad de extraerlo para entrenar el prototipo en un supermercado, la facilidad para guardar como archivo el estado actual de la neurona en el propio almacenamiento del teléfono, la conexión sencilla mediante wifi al módulo ESP-32, el cual también podría utilizarse como cámara, ahorrando la necesidad de este teléfono, pero eliminando muchas de las facilidades que nos aporta, por lo tanto, se ha tomado finalmente la decisión de utilizar este método.

La placa superior se ha diseñado de un material ligero y resistente, de forma que sea desplazada fácilmente pero no ceda ante el peso de, por ejemplo, un vidrio. Esta placa tiene una forma circular, de diámetro ligeramente superior al del cubo que hemos elegido para llevar a cabo el prototipo y va conectada al servomotor en su centro, de forma que se pueda extraer sin mucha dificultad.

También podemos ver en esta placa un pequeño agujero circular que actuará como tapa, de forma que podamos apoyar en ella la basura. Tras pulsar el botón “Clasificar” en el teléfono y tras colocarse la placa superior en la posición deseada, el segundo servomotor se desplazará dejando esta tapa abierta para que la basura caiga.



*Figura 3.3 Placa superior (Fuente: Elaboración propia).*

### 3.2 Interfaz

La interfaz es muy sencilla, consta de un espacio para poder ver lo que muestra la cámara en streaming y con varios botones. Ya se ha explicado la interfaz al explicar su programación, por este motivo este apartado consiste en un breve resumen de su apariencia y una sencilla figura de su apariencia final y no una explicación detallada de la disposición y el desarrollo de esta.

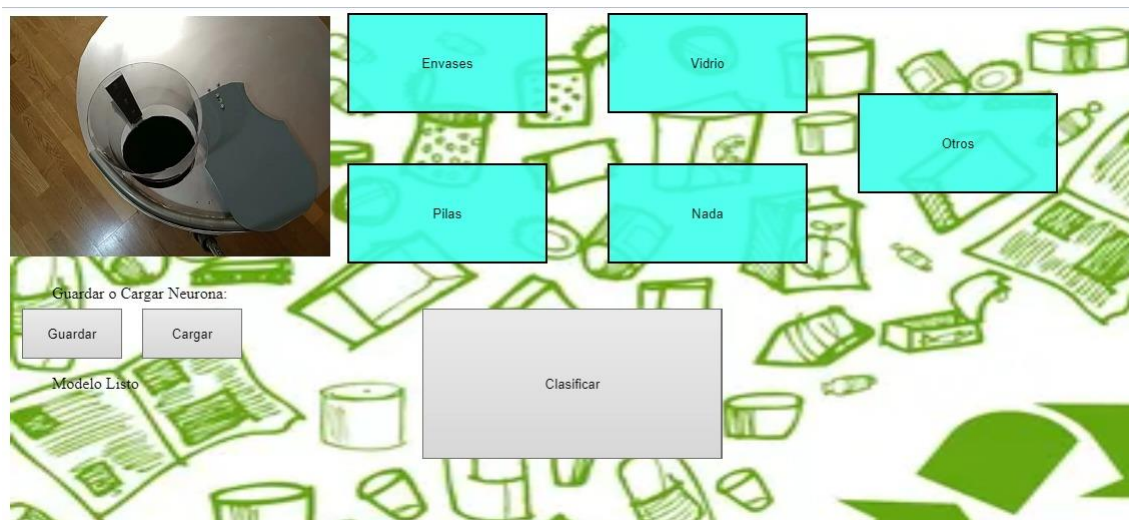


Figura 3.4 Interfaz (Fuente: Elaboración propia).

Utilizaremos esta interfaz desde el teléfono móvil que colocaremos en nuestro prototipo utilizando la aplicación Team Viewer para controlar nuestro ordenador portátil, el cual tendrá la interfaz abierta.

Es una interfaz simple pero funcional que permite la interacción con el prototipo desde diferentes dispositivos y de forma muy sencilla sin tener conocimientos informáticos de ningún tipo.

En la imagen podemos observar que, dependiendo de la iluminación, los reflejos pueden causar cambios en la imagen, causando errores en la clasificación de objetos, así como una iluminación insuficiente puede dificultar el funcionamiento del sistema.

### 3.3 Componentes electrónicos

#### 3.3.1 Modulo ESP-32 Cam

Para el funcionamiento del prototipo, se utiliza como enlace wifi el módulo ESP32. Se ha elegido este módulo debido a su precio y a que, en caso de no contar con una opción mejor, podría ser utilizado como cámara. Este módulo cuenta con suficientes salidas como para programar en él el funcionamiento de los motores, por lo tanto, no será necesario el uso de ninguna placa Arduino, abaratando el costo de producción. Además de contar con un cable que facilita su conexión al ordenador mediante USB para facilitar su programación. También es una buena opción debido a la fama con la que cuenta el módulo, contando con numerosas librerías y ejemplos que han sido de ayuda para el desarrollo.

El módulo ESP32-CAM puede alimentarse con 5V o 3V, se recomienda el uso de una fuente de 5VDC/1A.

Características electrónicas	
Conectividad	WiFi 802.11 + Bluetooth 4.2
Conexiones	UART, SPI, I2C y PWM
Frecuencia de reloj	Hasta 160Mhz
Potencia del microcontrolador	Hasta 600 DMIPS
Memoria	520 SRAM + 4MB PSRAM
Cámara	2MP

Tabla 3.2 Características ESP32-CAM (Fuente: Datasheet ESP32-CAM)

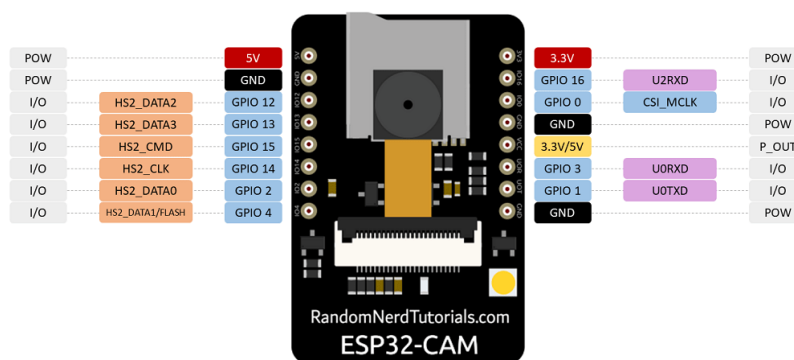


Figura 3.5 ESP32-CAM (Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/>).

### 3.3.2 Servomotor SG-90

Es un servomotor muy sencillo y barato, de unas dimensiones muy reducidas, una característica importante para la selección de este componente es que puede girar 180 grados (90 en cada dirección), lo cual nos va a permitir desplazar la placa superior hasta los puntos deseados sin problemas.

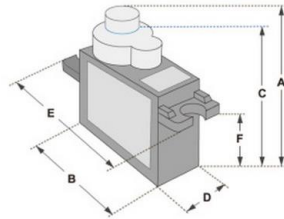


Figura 3.6 Servomotor SG-90 (Fuente: Datasheet SG-90)

Dimensiones y especificaciones	
A(mm): 32	F(mm):19.5
B(mm):23	Velocidad (sec):0.1
C(mm):28.5	Torque(kg-cm): 2.5
D(mm):12	Masa (g): 14.7
E(mm): 32	Voltaje (V): 4.8-6

Tabla 3.3 Dimensiones del SG-90 (Fuente:Datasheet SG-90)

Este servomotor funciona con un voltaje de 4.8 a 6 voltios, lo cual nos permite alimentarlo mediante una pila de 9 voltios y un adaptador que nos permite enviar únicamente 5 voltios al propio servomotor.

### 3.3.3 Xiaomi Mi-A2

Este teléfono móvil cuenta con una cámara externa de 20 megapíxel, lo cual la hace perfecta para reconocer de forma exacta los elementos que aparecen en su encuadre. Fue lanzado en 2018 por la marca Xiaomi.



*Figura 3.7 Xiaomi MI A2 (Fuente: idéalo, artículo en venta).*

Utilizar el teléfono nos aporta numerosas ventajas a la hora de utilizar el prototipo, ya que facilita mucho la labor de entrenamiento, su uso y, además, estéticamente le da una apariencia mejor.

Cuenta con dos cámaras traseras, de las cuales he obtenido las características en la página web oficial del producto Cámara trasera: 12 MP, SONY IMX486; píxeles de 1,25  $\mu\text{m}$ , gran apertura de  $f/1,75$ . Cámara trasera: 20 MP, SONY IMX376; Superpíxel 4 en 1 basado en la tecnología píxel binning, píxeles de 2,0  $\mu\text{m}$  y gran apertura de  $f/1,75$ . (<https://www.mi.com/es/mi-a2/specs/>, 2019)

Otra de las ventajas es que tenemos una cámara con una mayor calidad que las que podemos obtener en los módulos cámara, por lo tanto, la labor del separador será más precisa y esto se notará en los resultados finales. También contamos con la linterna del teléfono, que soluciona el problema de los cambios de iluminación, que pueden causar errores. El uso de la linterna nos aporta una fuente fiable de luz.

### 3.3.4 Servomotor D3620MG

Para el movimiento de la placa superior, ya que tendrá que soportar más peso y trabajar a una distancia mayor del mismo, utilizaremos un motor más potente, se ha elegido el servomotor D3620MG, ya que es un motor de alta potencia (20kg de par motor).

Este motor tiene mayor calidad que el sg-90, siendo completamente metálico, también tiene un bajo consumo de energía a pesar de su gran par.

Otra característica importante de este motor es su alta rotación, que nos permite desplazarlo 180 grados, lo cual es necesario para nuestro proyecto.

Para 4.8V, este motor tiene una fuerza de 18kgcm, lo cual es suficiente para completar su tarea. (Datasheet D3620MG, sin fecha).



Figura 3.8 Servomotor D3620MG (Fuente: Amazon)

### 3.3.5 Esquema de conexiones.

Esquema realizado utilizando OrCAD Capture. Se ha obtenido el diseño del ESP32\_CAM de la web SnapEDA. El diseño de los servomotores fue editado de uno presente en la librería “Electromechanical”, al cual se le añadió un pin extra para la entrada de datos.

Los servomotores cuentan con alimentación independiente, ya que el consumo procedente de estos podría causar errores en el sistema.

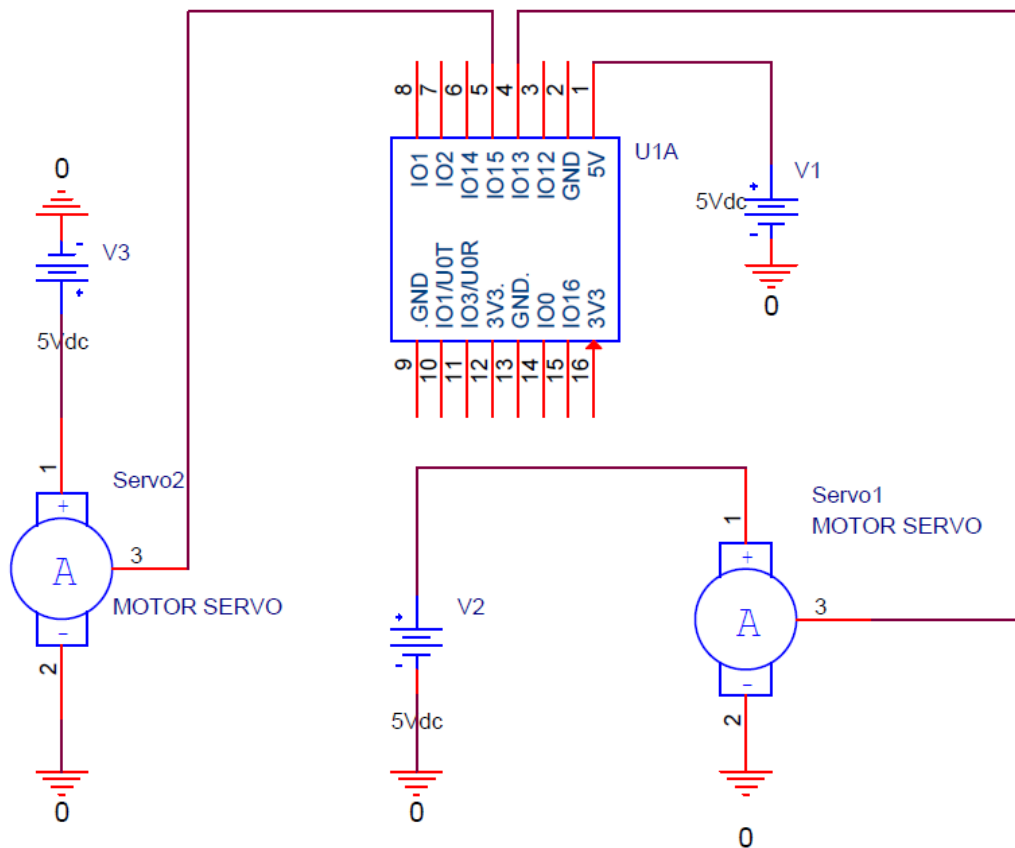



Figura 3.9 Esquema de conexiones (Fuente: Elaboración propia)



### 3.4 Tabla de costes

Componente	Precio en Aliexpress	Precio en Amazon	Obtención	Cantidad necesaria	Gasto
 <p>Figura 3.10 ESP-32 CAM (Fuente: Programafacil.com)</p>	8,00 €	10 €	Amazon	1	10 €
 <p>Figura 3.11 D3620MG (Fuente: Amazon)</p>	15€	15€	Amazon	1	15€
 <p>Figura 3.12 sg-90 (Fuente: Amazon)</p>	1,80 €	3 €	Aliexpress	1	1,80 €
 <p>Figura 3.13 Baterías Amazon (Fuente: Amazon)</p>	3,80 €	1,90 €	Amazon	1	1,90 €

Componente	Precio en Aliexpress	Precio en Amazon	Obtención	Cantidad necesaria	Gasto
<p>Módulo de alimentación</p>  <p><i>Figura 3.14 Modulo de alimentación (Fuente: Amazon)</i></p>	1,90 €	5,50 €	Aliexpress	1	1,90 €
Cable de alimentación Arduino	1,20 €	2,70 €	Aliexpress	1	1,20 €
Contenedor			Bazar	1	20 €
				Total:	50€

TABLA 3.4 TABLA DE COSTES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).

## 4. Programación.

Para realizar la interfaz, se utiliza el software “Atom”, el cual se puede encontrar en la página web <https://atom.io/> . Este software nos permite además utilizar un paquete denominado “atom live server”, la cual nos permitirá crear una simulación de un servidor privado en el cual aparecerá la imagen de la cámara, así como los botones con los que seremos capaces de interactuar.

El desarrollo de esta interfaz está basado en varios procesos de la siguiente forma:

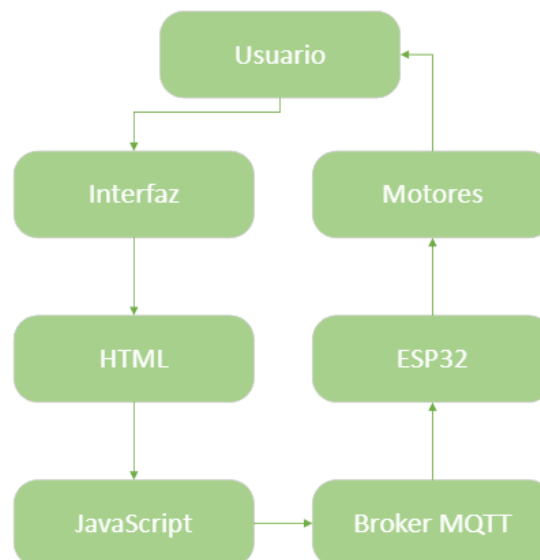


Figura 4.1 Estructura SW del sistema (Fuente: Elaboración propia)

### 4.1 Archivo HTML

En este archivo requeriremos el uso de librerías, así como llamaremos al archivo de código.js, un documento que está programado en JavaScript y contiene la información del servidor.

El archivo HTML es muy sencillo, ya que ninguna parte del desarrollo de la web ha sido diseñada en este formato, sino completamente en JavaScript, por lo tanto, este archivo consiste en 15 líneas de código, en las cuales se llama a

varios scripts, que actuarán como librerías para nuestra interfaz, facilitando la programación en JavaScript y la comunicación entre el código realizado en JavaScript y nuestro código de Arduino. Las bibliotecas principales a las que llamamos en este archivo son:

## 4.2 P5.JS

P5.js es una biblioteca gratuita y de código abierto, la cual está destinada a facilitar la programación en JavaScript, contando con muchas funciones preprogramadas que ayudarán mucho en nuestra programación en este lenguaje. ( <https://p5js.org/es/>, 2018).

En la propia página de P5.js podemos encontrar numerosos ejemplos, así como bibliotecas basadas en p5.js que hacen más llevadero el diseño de nuestra interfaz. También cuenta con un editor online, el cual sirve para comprobar y entender bien el funcionamiento de las diferentes funciones mediante ejemplos antes de utilizarlas en nuestro código.

Las principales ventajas que aporta P5.js a nuestro proyecto son, tanto los objetos HTML5 como la cámara web, como su compatibilidad con la siguiente librería que hemos utilizado, ml5.js.

Dentro de P5.js hemos necesitado también incluir la biblioteca p5DOM.js, la cual incluye funciones que necesitamos, como la función createCapture(VIDEO), la cual nos permitirá recibir la imagen de la cámara web en streaming.



Figura 4.2 p5.js (Fuente: <https://discourse.processing.org/t/interactive-tutorials-using-p5/17091> , 01/2020)

### 4.3 ML5.js

ML5.js es una biblioteca de JavaScript que facilita el uso de la inteligencia artificial para hacerla más accesible (<https://ml5js.org>, 2018), dentro de esta página, al igual que anteriormente con p5.js, podemos encontrar numerosos ejemplos y bibliotecas más concretas que nos ayuden a realizar la tarea que nos proponamos.

Entre las ventajas que nos aporta esta librería está poder contar con numerosos ejemplos, así como mucha documentación y explicaciones que nos ayudan a comprender y a utilizar de forma lo más correcta posible las herramientas que nos ofrece esta biblioteca.

Entre todas las funciones que podemos encontrar en la librería ml5.js, la más interesante nos permite utilizar un algoritmo “k-nearest neighbors algorithm” en un clasificador de objetos.

La alternativa a esta librería sería utilizar TensorFlow.js, que es la versión que utiliza JavaScript de la TensorFlow de Google para Python.

Al estar basado ml5.js en el propio TensorFlow.js pero añadir varias funciones más a la librería original sin tener necesidad de tener otros requerimientos para funcionar se tomó la decisión de usar esta librería para el desarrollo del machine learning en este proyecto.



Figura 4.3 ml5 (Fuente: <https://ml5js.org/>, 2018).

## 4.4 Eclipse Paho JavaScript Client

Paho fue creado para proporcionar una fuente abierta y confiable de protocolos de comunicación, apuntando a aplicaciones para M2M (Machine to machine) y el internet de las cosas. (<https://www.eclipse.org/paho/> , 2012).

Paho nos proporciona las herramientas necesarias para completar la programación de la comunicación entre nuestra red neuronal y nuestro prototipo. Utiliza el protocolo MQTT.



Figura 4.4 Paho (Fuente: <https://www.eclipse.org/paho/> ,2012).

Dentro de nuestro proyecto, Paho será utilizado a la hora de programar el envío de mensajes desde el script de JavaScript. Este protocolo, así como su función se explicará detalladamente más adelante en el documento.

Eclipse Paho no es la única librería que permite la programación de mensajes utilizando protocolo MQTT, sin embargo, al ser la desarrollada por Eclipse es la que cuenta con una mayor cantidad de documentación, además de ser la más utilizada en JavaScript para realizar este tipo de conexiones.

## 4.2 Archivo de código en JavaScript

Dentro de este código será donde se realice la parte más importante del proyecto, dentro de este código se programará tanto la distinción de objetos como el envío de mensajes MQTT, es el documento que posee toda la información de la visión artificial, además de contener los actuadores de la página web, por ejemplo, los diferentes botones de esta.

Para empezar, en la función principal contamos con un mosaico, en el cual tenemos el streaming de la cámara. Además, tenemos la programación de los botones, y, dentro de la misma, las llamadas a las funciones que ejecutará cada botón.

```
Canvas = createCanvas(320,240);  
background(0, 255, 0);  
Cam = createCapture(VIDEO);  
Cam.size(320, 240);  
Cam.hide();
```

Figura 4.5 Código mostrar cámara (Fuente: Elaboración propia).

En la interfaz podemos encontrarnos, además de los botones que utilizaremos para entrenar la red neuronal, tres botones más: uno destinado a comenzar el proceso de clasificación, evitando así que la neurona esté trabajando de forma constante y eliminando los errores que se podrían causar por este motivo. Los otros dos botones están destinados a guardar un archivo JSON, que contendrá el estado acumulado de la red neuronal. Podrás cargar este archivo y guardarlo para mantener el estado de entrenamiento de la red neuronal.

La parte que será necesaria al accionar los botones se encuentra en las funciones `EntrenarKnn()` y `clasificar()`. En ambas creamos una constante llamada "Imagen", esta imagen será la que aparece en ese momento en streaming en la página web, la cual será utilizada mediante comandos de la biblioteca del `knnclassifier` para, en el primer caso, ser utilizada como un ejemplo para entrenar la red neuronal mediante el botón correspondiente a uno de los grupos de residuos y, en el segundo caso, clasificarla eligiendo ejemplos que se han obtenido mediante entrenamiento anteriormente.

```
function EntrenarKnn(ObjetoEntrenar) {  
  const Imagen = modelo.infer(Cam);  
  knn.addExample(Imagen, ObjetoEntrenar);  
}
```

Figura 4.6 Captura comando añadir ejemplos al KNN (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, la función clasificar, creará un mensaje mediante la ya mencionada librería Paho, que será enviado mediante el protocolo MQTT y equivaldrá al resultado de la clasificación, es decir, al nombre del objeto detectado por la cámara.

Para conectarse al broker MQTT utilizaremos las siguientes líneas de código.

```
client = new Paho.MQTT.Client("broker.hivemq.com", 8080, "ReciclajeNeurona22");
client.onConnectionLost = onConnectionLost;
client.onMessageArrived = onMessageArrived;
client.connect({
    onSuccess: onConnect,
```

*Figura 4.7 Captura características de conexión a broker (Fuente: Elaboración propia).*

### 4.3 Enlace MQTT

Para la comunicación, como se mencionó anteriormente se ha elegido el protocolo MQTT.

MQTT es un protocolo diseñado para ser usado en microcontroladores, con mensajes cortos y pensando en el internet de las cosas. Los mensajes se envían mediante un broker, el cual se comunica con los clientes mediante un puerto definido, que debe estar abierto en el router al cual están conectados, así como en el propio equipo para funcionar. (<https://mqtt.org/>, 2006).

La conexión se realiza con un esquema muy sencillo: Todos los clientes están conectados a un broker. A través de este broker, todos los clientes pueden tanto enviar como recibir mensajes. Para hacer esto, se creará un tópico, que actuará como tema, pudiendo ser cualquier cosa. Uno de los clientes, publicará un mensaje en este tema y, en caso de haber más clientes suscritos al tópico mencionado anteriormente, estos recibirán ese mensaje.



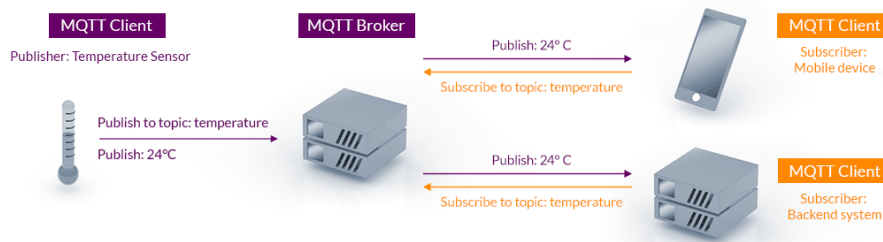


Figura 4.8 Funcionamiento de la comunicación MQTT (Fuente: <https://mqtt.org/>, 2006)

Existen varios broker a los que podemos conectarnos para realizar la comunicación (mosquitto, shiftr.io, hivemq...) en este caso, se ha utilizado el broker público de hivemq, ya que utiliza el puerto 8000 para web sockets, siendo este el único puerto que se encontraba disponible tanto en el wifi compartido por el teléfono móvil, como en el módulo ESP32, como en el portátil que proporciona la conexión al servidor.

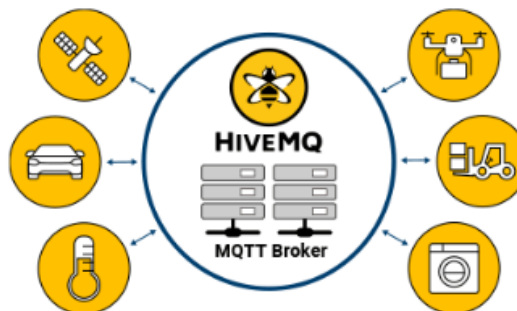


Figura 4.9 HiveMq (Fuente: <https://www.hivemq.com/>, 2013)

Durante la selección de broker se han estudiado numerosas opciones, sin embargo, a pesar de que la mejor opción podría ser utilizar un broker privado realizado en mosquitto, las ventajas que se obtienen de utilizar esta opción son muy reducidas en comparación con los problemas que pueden encontrarse al utilizarlo.

En primer lugar, Mosquitto funciona utilizando el puerto 1883, el cual es muy común en brokers, sin embargo, algunos routers tienen este puerto bloqueado, por lo que se debe desbloquear antes de utilizarlo, además, en el equipo, hay que añadir una excepción en el firewall de Windows para que el ordenador permita el paso de datos a través de este puerto.

Al estar utilizando un módulo ESP-32 y un punto de acceso wifi, es imposible modificar el estado de los puertos tanto del router como de uno de los equipos, por lo tanto, la única opción en este caso era renunciar al uso de un broker privado.

Sin embargo, a pesar de que el broker es público y, por lo tanto, no requiere un nombre de usuario y una contraseña y cualquiera puede utilizarlo, es necesario suscribirse a un tópico para enviar o recibir mensajes a través de un broker, lo cual nos permitirá elegir un nombre complejo para el tópico, así evitaremos un solapamiento de nuestro proyecto con el de otra persona, lo cual evitará recibir mensajes indeseados.

#### 4.4 Programación en Arduino

El último código se puede dividir en 3 partes: La parte que está destinada al wifi, para realizar la conexión del ESP-32, la parte que está destinada a MQTT, para recibir los mensajes enviados por la red neuronal y la parte destinada a programar los servomotores, los cuales tendrán que actuar cuando reciban un mensaje.

La primera parte (la destinada al wifi) consiste en realizar la conexión al mismo utilizando el usuario y la contraseña de la red. Esta red debe ser la misma a la cual está conectado el portátil y el teléfono móvil.

La segunda (destinada a la conexión mqtt) consiste en, primero, realizar la conexión con el broker hivemq mediante el comando `client.begin()` y el enlace que se proporciona en su web. Tras esto, tendremos que suscribirnos al tema que nos interesa mediante el comando `client.subscribe()` , en este caso, hemos

elegido un nombre complejo para evitar interferencias ya que como ya hemos mencionado estamos utilizando un broker público. Después es necesario programar la función que actuará con el comando `client.onMessage()`, la cual se ejecutará cada vez que recibamos un mensaje.

Para programar los servomotores se ha estudiado la disposición de los pines de la placa ESP-32 cam, utilizando dos de los pines que corresponden a salidas PWM para la programación de los servos, en este caso hemos elegido los pines 13 y 14 de la placa. Se utilizó la biblioteca `Servo.h`, la cual facilita mucho la programación. La programación final de los servos se realiza dentro de la función `messageRecieved`, que ha sido creada para actuar cuando aparece un mensaje.

Dentro de esta función, se escribe el código que causa el movimiento de los servomotores cuando la placa recibe un mensaje, para que esto funcione, se debe crear una variable, que tomará el mismo valor que `payload` cuando la placa reciba un mensaje.

El valor de esta variable será el que decida cómo actuarán los servomotores. Al tomar el valor de `payload` tendrá el valor de tipo `char` que ha recibido en el mensaje recibido por MQTT, por lo tanto, en este caso actuará cuando reciba mensajes con valores como `“Latas”`, `“Vidrios”` o `“Pilas”`. Sin embargo, estos grupos pueden cambiarse para adaptarse a la necesidad del usuario, pudiendo utilizarse para cualquier grupo de residuos.

Este código es la parte final, que conseguirá que el servomotor que desplaza la placa superior se posicione en 180, 90 o 0 grados dependiendo del residuo que se quiera desechar, en cualquier caso, la tapa se abrirá tras realizarse el movimiento.

#### 4.5 Team Viewer

Para utilizar nuestra interfaz en el móvil, utilizaremos la aplicación Team Viewer, de esta forma no necesitaremos utilizar el portátil con este prototipo, podremos

utilizar la interfaz en un elemento integrado en el propio prototipo, aumentando la comodidad.

La aplicación team viewer consiste en un control remoto de dispositivos mediante el uso de otro dispositivo previamente configurado.

Esta aplicación tiene un uso muy común en servicio al cliente para solucionar problemas con programas instalados en el ordenador.

La aplicación nos muestra el estado actual de la pantalla en streaming, permitiéndonos interactuar con la misma como si estuviéramos utilizando un mando a distancia.

#### 4.6 Droid cam

La aplicación Droid Cam se encarga de convertir nuestra cámara en una cámara IP, mientras que el cliente instalado en el ordenador convierte la cámara IP en una cámara web. Esto permite que la librería P5 sea compatible con esta cámara en su captura de imagen.

Podríamos utilizar la ESP32-Cam de esta misma forma, ya que se puede utilizar como cámara IP.

## 5. Puesta en marcha.

Una vez explicados los elementos que forman este proyecto, explicaré de forma breve y resumida como interactúan todos entre ellos.

Para empezar, tenemos la cámara, la cual envía en streaming una señal de imagen de forma constante mediante la aplicación DroidCam al ordenador portátil, desde el cual se ejecutará el servidor.

Este servidor será el que controle todo el prototipo, por lo tanto, será necesario tener el mismo abierto en el teléfono móvil que se encuentra integrado en el prototipo.

Dentro de este servidor contamos con los botones anteriormente mencionados, en caso de contar con un estado anterior para la red neuronal utilizaremos el botón “Cargar Neurona”, el cual nos servirá para recuperar datos de anteriores usos.

Tras esto, podremos acceder al botón clasificar desde el propio teléfono móvil, el cual, al accionarlo, puede dar dos resultados: Un error o un mensaje que nos indica qué desecho aparece en la pantalla.

En caso de que recibamos un error, deberemos utilizar el botón de entrenamiento para dotar a la red neuronal de ejemplos que pueda utilizar posteriormente en otros usos, sin embargo, en caso de que recibamos el texto que nos indica qué ha reconocido la visión artificial, el funcionamiento continuará.

La función clasificar se encargará de enviar un mensaje MQTT mediante el broker público de HiveMQ, al cual nos hemos conectado utilizando la librería paho de eclipse para simplificar la tarea.

El mensaje se publicará en nuestro tópico, el cual tiene como nombre “redneuronalangelgonzalezreciclaje”, lo cual hace poco probable que otra persona se suscriba al mismo por accidente como ya hemos comentado.

Al mismo tiempo, el módulo ESP-32 estará encendido, conectado a una red wifi y, con el uso de otra librería para MQTT disponible para Arduino, conectado al mismo broker que el otro cliente. Dentro de este broker estará suscrito al tópico ya mencionado, lo cual causará que reciba todos los mensajes publicados en el mismo.

Tras recibir el mensaje enviado por la función clasificar, la programación del módulo ESP32-CAM indicará a la misma que una variable debe tomar el valor de este mensaje. El valor de esa variable será comparado con varias opciones posibles.

Esta variable puede tomar cuatro valores, tres de los cuales equivalen a los diferentes tipos de desechos que pretendemos distinguir mediante este prototipo, mientras que el otro sirve como código de error en caso de que se haya depositado basura, pero sea de otro tipo, no es una situación común, sin embargo, en caso de un uso compartido, esto puede evitar que una persona entrene de forma errónea el aparato.

## 6. Funcionamiento del sistema.

Un flujograma o diagrama de flujo es una forma de representar gráficamente un proceso o grupo de actividades. Dentro de un flujograma no solo utilizaremos texto para indicar los diferentes pasos de un proceso, sino que los símbolos en los cuales se encuentra el texto también tienen un significado. A continuación, plasmaré una leyenda del significado de los símbolos que se van a utilizar dentro de los flujogramas presentes a continuación.







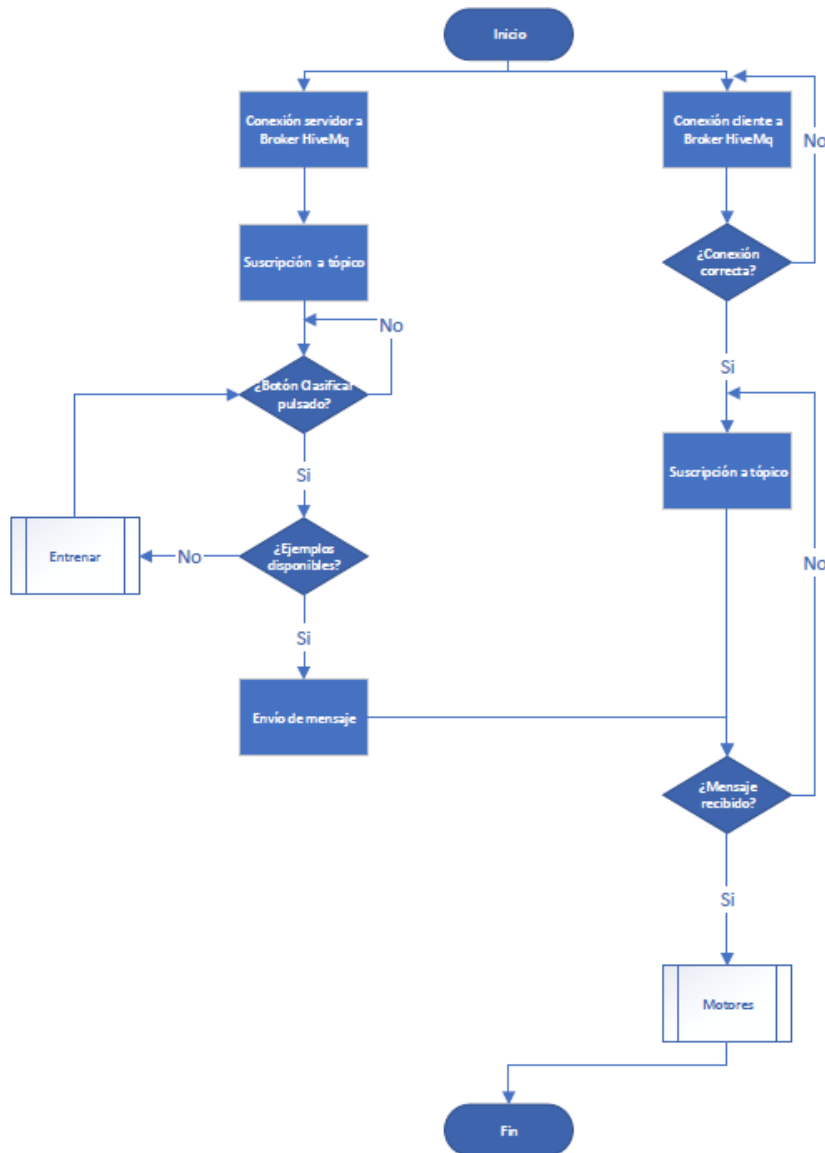
Símbolo	Función
	Marca el inicio y final del proceso
	Proceso simple
	Decisión
	Operación manual del usuario
	Retardo
	Proceso que puede estar definido en otro flujograma

Tabla 6.1 Leyenda para los flujogramas (Fuente: Elaboración propia).

### 6.1.1 Resumen de funcionamiento del prototipo,

Este flujograma presenta un resumen del funcionamiento del prototipo, sin centrarse específicamente en ninguno de sus procesos, para que tengamos una imagen general de qué sucesión de actividades realizará el prototipo en cada interacción.

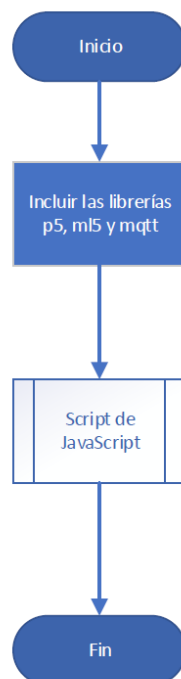


Flujograma 6.1 Flujograma resumen (Fuente: Elaboración propia)



### 6.1.2 Proceso del HTML y script “código.js”.

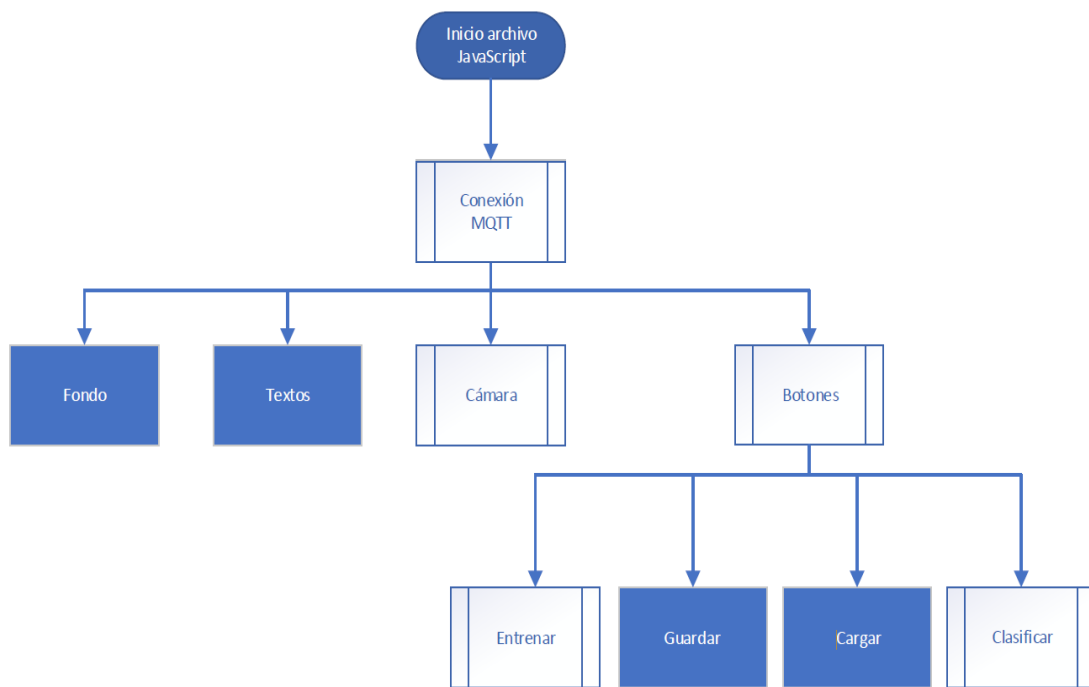
En el siguiente flujograma podemos ver el proceso que se lleva a cabo dentro del archivo HTML, el cual se dedica a agregar las librerías necesarias y a llamar al script de JavaScript. Es un esquema simple, ya que los procesos incluidos en el archivo de código de JavaScript aparecen en otro flujograma, sin embargo, es una de las bases del prototipo, ya que es el documento que hospeda el servidor que vamos a utilizar.



*Flujograma 6.2 Flujograma HTML (Fuente: Elaboración propia)*

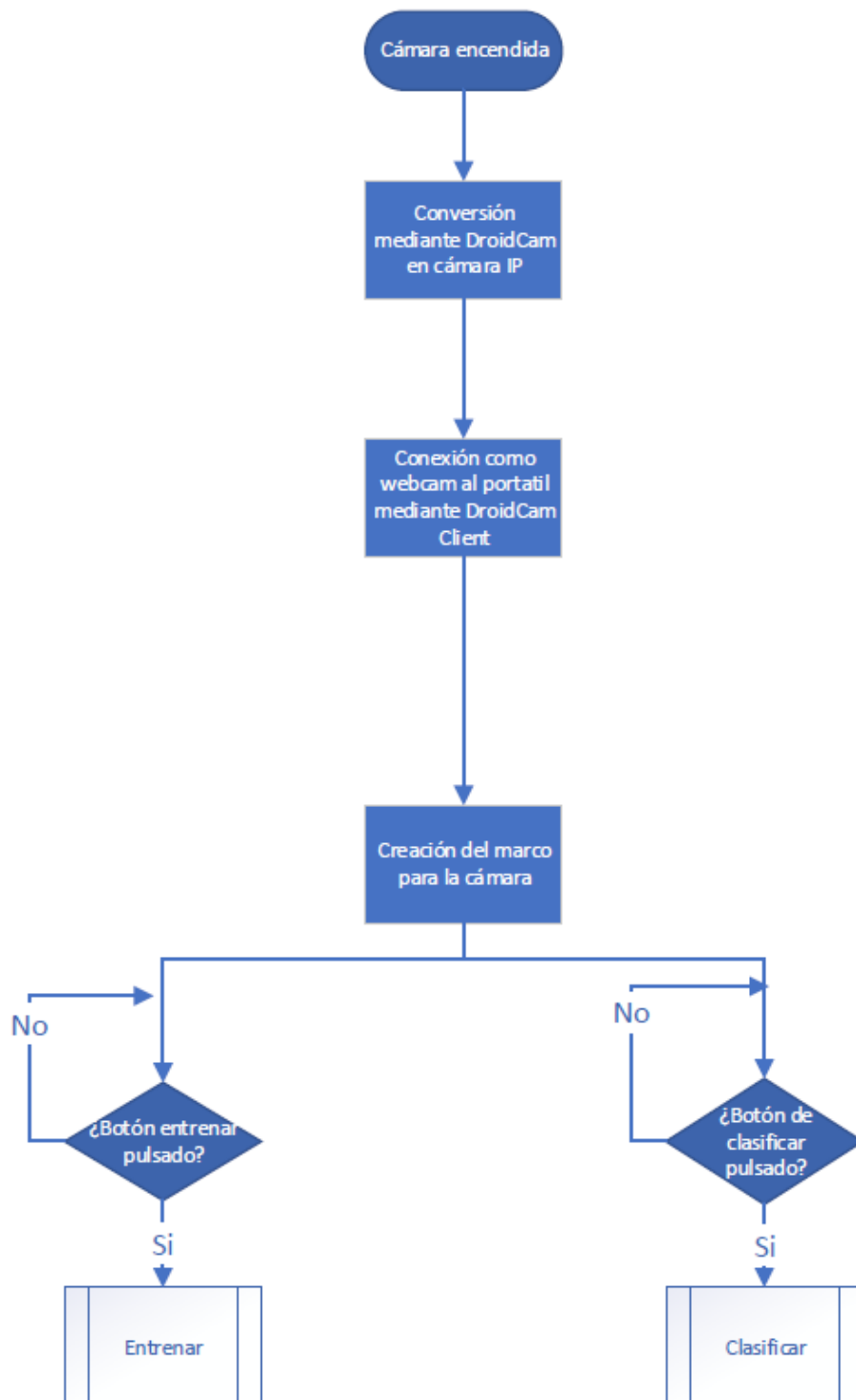
Como podemos ver, contamos con un proceso que está explicado en el siguiente flujograma. El cual consiste en una explicación resumida de los procesos llevados a cabo dentro del script “código.js”. Dentro de este flujograma encontraremos varios procesos que consisten en las diferentes funciones del propio script, las cuales precisan de un esquema propio debido a su importancia en el prototipo.

Como podemos ver, al iniciarse “código.js”, se realiza la conexión MQTT, tras esto, se genera el marco en el cual aparece la cámara, los textos, el fondo de pantalla de la web y los botones. Se ha decidido incluir las funciones en los botones, ya que son los que causan el inicio de estos procesos.



*Flujograma 6.3 Flujograma JavaScript (Fuente: Elaboración propia)*

### 6.1.3 Flujograma desde el punto de vista de los diferentes elementos.

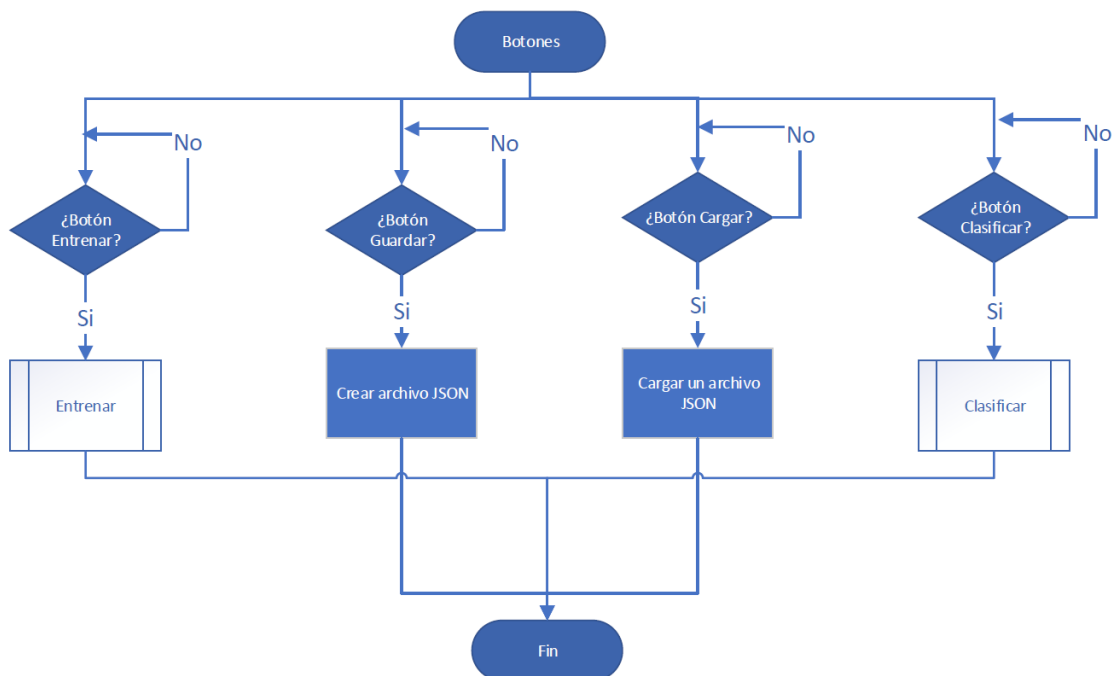


Flujograma 6.4 Flujograma cámara (Fuente: Elaboración propia)

La cámara también requiere algunos procesos previos para realizar la conexión, así como tiene un esquema de funcionamiento propio.

Para los botones, se ha decidido utilizar un esquema propio de la misma manera, ya que ayudará a la comprensión del funcionamiento: Cuando presionas uno de los diferentes botones, se lleva a cabo una acción diferente.

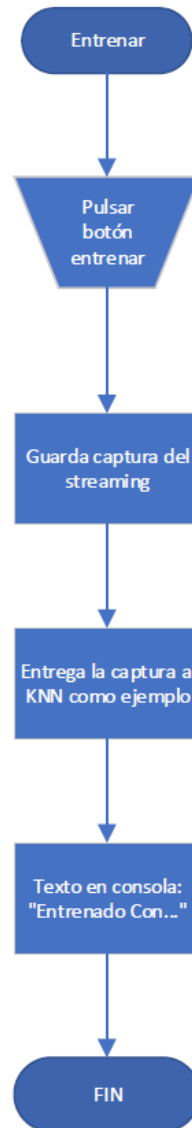
La decisión de realizar este esquema se debe a la sencillez de la comprensión del funcionamiento si combinamos este esquema con los correspondientes a la función clasificar y a la función entrenar.



Flujograma 6.5 Flujograma Botones (Fuente: Elaboración propia)

### 6.1.4 Función entrenar

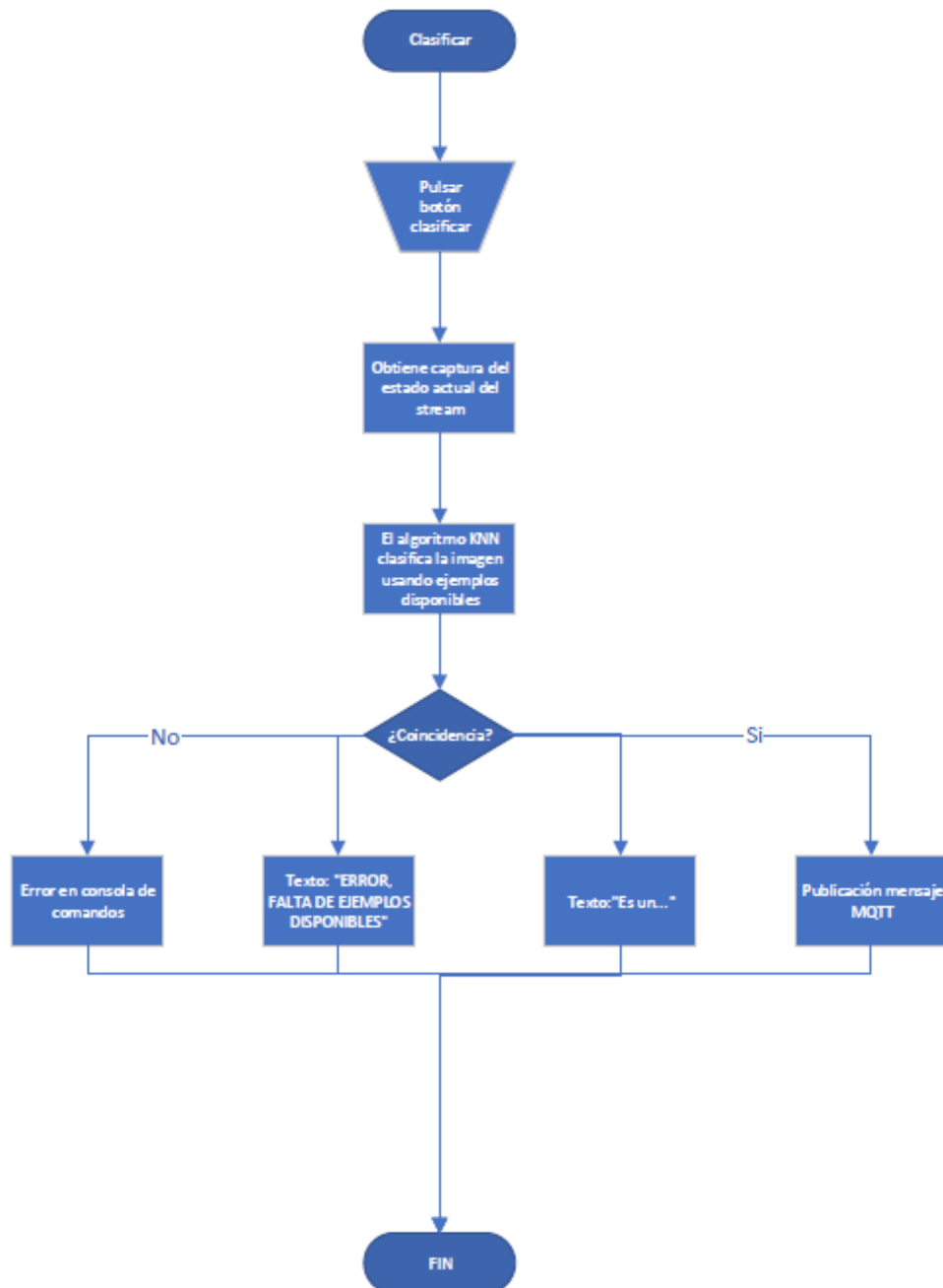
Este esquema pertenece a la función que se dedica a entrenar la red neuronal al pulsar uno de los botones de entrenamiento.



Flujograma 6.6 Flujograma entrenar (Fuente: Elaboración propia)

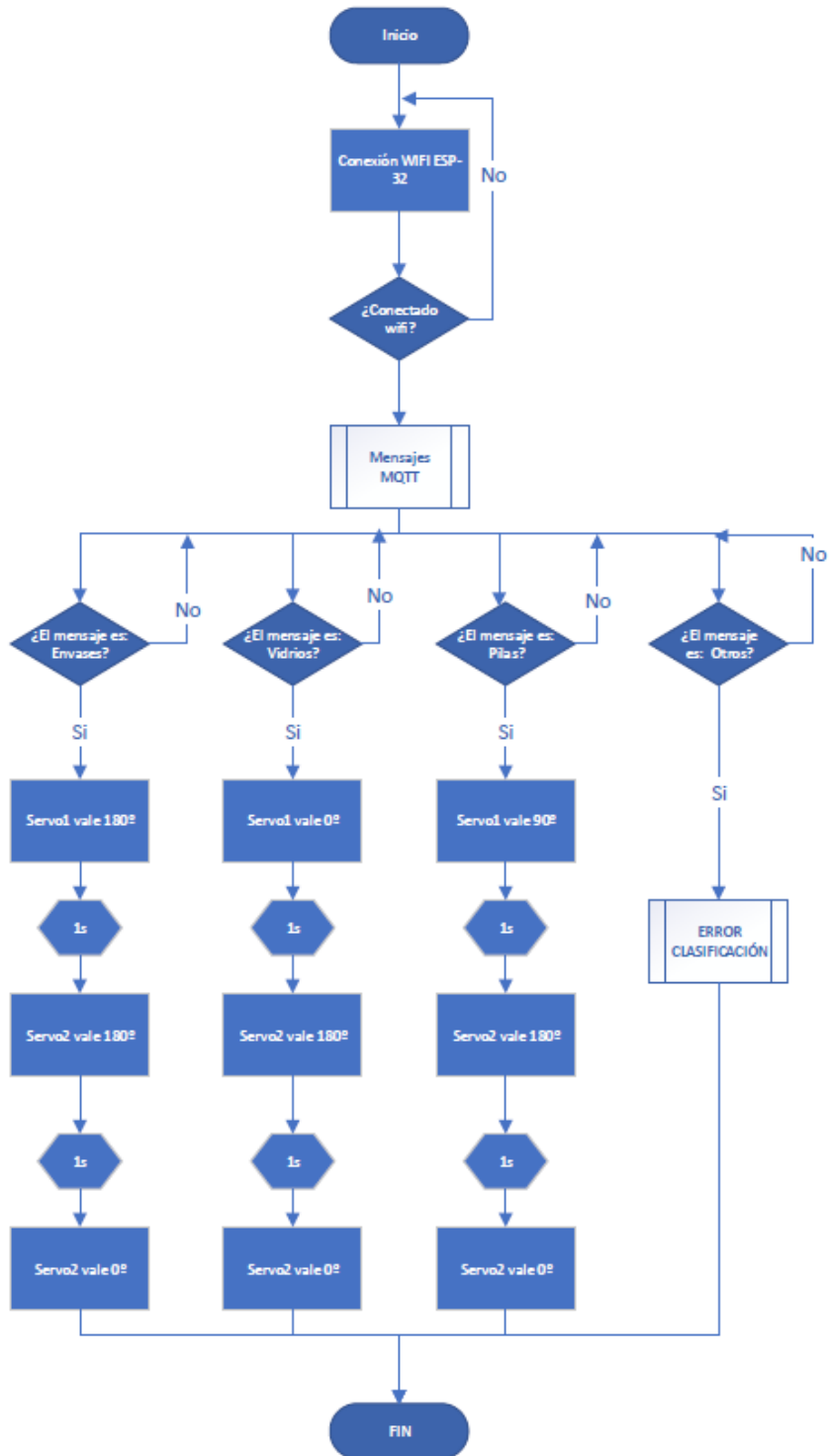
### 6.1.5 Función clasificar

Aquí podemos ver el funcionamiento de la función clasificar. Se puede ver los procesos que se llevan a cabo desde que se pulsa el botón clasificar hasta que se envía el mensaje hacia la ESP-32.



Flujograma 6.7 Flujograma clasificación (Fuente: Elaboración propia)

## 6.1.6 Control de los servos por el módulo ESP32



Flujograma 6.8 Flujograma Servos (Fuente: Elaboración propia)

## 7. Página web.

Para presentar los diferentes vídeos, instrucciones de uso y recibir un feedback sobre el producto se ha desarrollado el blog <https://reciclajeautomatico.blogspot.com>, en el cual, los usuarios podrían compartir mediante entradas sus archivos JSON, facilitando la tarea de entrenamiento del separador mediante la colaboración.

También permite la propuesta de mejoras hacia el prototipo mediante comentarios, nos da la posibilidad de preguntar su opinión sobre futuras mejoras a los usuarios mediante encuestas y nos permite mostrar el funcionamiento del separador para atraer la atención de más personas.

Las páginas actuales presentes en el blog están destinadas a explicar el funcionamiento del prototipo específico.

Sin embargo, en un futuro podrían añadirse diferentes explicaciones para versiones futuras del proyecto, por ejemplo, una versión que utilice como cámara el módulo ESP-32 cam en lugar de un teléfono antiguo.



Figura 7.1 Blog reciclaje automático (Fuente: Elaboración propia)



## 8. Normativa.

El funcionamiento del prototipo dependería de las normativas europeas y estatales de reciclaje. Además de requerir adaptarse a los planes autonómicos actuales en su uso cotidiano.

Normativa europea de reciclaje:

- Directiva 2008/98/CE, Parlamento Europeo y Consejo 19-11-2008
- Directiva 2004/12/CE, Parlamento Europeo y Consejo 11-02-2004

Normativa estatal de reciclaje:

- Ley 11/2012, 19/12/2012, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
- Ley 7/2022, 8/04/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

Planes y programas de reciclaje:

- Programa Estatal de Prevención de Residuos.
- Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.
- Planes y Programas de Comunidades Autónomas.

Los aparatos electrónicos deben cumplir también las directivas sobre residuos electrónicos, que están orientadas a evitar la generación de residuos peligrosos cuando el aparato cese su funcionamiento.

Normativa para Residuos electrónicos:

- Directiva 2011/65/UE, Parlamento Europeo y Consejo, 08/06/2008, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en AEE
- Real Decreto 219/2013, 22/03, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- La Directiva 2012/19/UE, Parlamento Europeo y Consejo, 04/07/2014, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
- Real Decreto 110/2015, 20/02, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

La numeración presente en el documento está basada en las recomendaciones presentes en la norma UNE 50132.

## 9. Conclusiones

Finalmente, podemos observar que se han cumplido los objetivos iniciales, consiguiendo desarrollar un separador automático de basuras, que, además de permitirnos entrenarlo sobre la marcha para que se adapte a nuestras necesidades sin necesidad de un operario ni ningún tipo de conocimiento de programación, está orientado a la reparación y no a la sustitución de sus partes, de esta forma hemos conseguido un aparato que no generará demasiados desechos electrónicos.

También se han cumplido a nivel de software varios objetivos iniciales, como la funcionalidad de la red neuronal, la comunicación en tiempo real del prototipo con el servidor, el uso de un aparato antiguo como cámara, pantalla y interfaz, la conexión del servidor con el prototipo sin necesidad de cableado adicional entre el ordenador portátil y el propio prototipo, el desarrollo de una interfaz intuitiva que nos permite utilizar el prototipo sin necesidad de ningún tipo de conocimiento previo sobre el mismo.

Se ha añadido además una característica que permite guardar el estado de la inteligencia artificial en caso de que el sistema deje de funcionar, de esta forma, podremos tener una copia de seguridad en caso de que el servidor caiga. Esto nos permite proteger el progreso de la red neuronal y evitar tener que volver a comenzar con el entrenamiento de esta.

Los resultados obtenidos han sido adecuados a las expectativas. El prototipo requiere de tiempo para adaptarse a los productos que se utilizan en un ambiente residencial, sin embargo, cada producto requiere de muy pocas interacciones para añadirse a la lista de ejemplos disponibles del KNN. Debido a esto, incluso su entrenamiento hace más sencillo para el usuario la tarea de reciclaje, ya que a pesar de tener que diferenciar manualmente los residuos, la distribución se realiza de forma automática y, con el tiempo, se convierte en un aparato completamente funcional que nos ahorra cualquier tipo de esfuerzo a la hora de separar la basura.

## 9.1 Posibles mejoras futuras

Contando con un mayor presupuesto y con una mayor cantidad de tiempo podrían añadirse algunas mejoras al prototipo de cara a su utilización a una escala mayor y distribución.

Por ejemplo, podría recolectarse una gran base de datos, acumulando todos los datos obtenidos por todas las unidades del prototipo, haciendo una función entrenar interactiva que aprenda de muchos usuarios y no solo de uno, basándonos en el funcionamiento de los chatbots que ya hemos visto anteriormente en este documento. El problema de esto sería la reducción de la fiabilidad de este prototipo, debido a la facilidad para modificar el estado de la red neuronal.

Otra mejora podría ser obtener un servidor que no dependa de nuestro equipo principal (El ordenador). De esta forma, podría estar siempre en funcionamiento sin necesidad de depender de un ordenador que ejecute el código en todo momento mientras que el prototipo esté funcionando.

También podría mejorarse el sistema de alimentación, unificando la alimentación de los motores, el teléfono móvil y el módulo ESP-32, lo cual reduciría la necesidad de cableado externo, de tomas de corriente y, en definitiva, convertiría el prototipo en una versión más estética y funcional de sí mismo.

Otra posible mejora es sustituir el sistema actual de visión artificial por un método más directo, ejecutándose directamente desde el teléfono móvil que utilizamos como cámara e interfaz, eliminando así también la necesidad de contar con otro equipo.

Podría también contarse con un prototipo de mayores dimensiones, que permita una división en más grupos de residuos, incluso llegando a igualar al número de tipos de contenedor existente actualmente.

Para terminar, otra mejora futura podría ser añadir un modo de bajo consumo, para que el consumo se reduzca al mínimo cuando el sistema no se encuentre en funcionamiento.

## 9.2 Posibles usos futuros

En mi opinión, la evolución lógica del funcionamiento de este tipo de tecnología es en dirección hacia una tecnología colaborativa. Las características de las redes neuronales hacen que su eficacia aumente cuantas más personas utilicen el mismo sistema, ya que la cantidad de información que reciben es exponencialmente mayor cuanto mayor sea el número de usuarios.

Pensando en esa dirección, otro proceso que sería sencillo automatizar haciendo ciertos cambios en el diseño sería el uso de contenedores comunitarios en los bloques de edificios. Estos contenedores recibirían mediante conductos la basura que se desecha en los hogares. Este tipo de conductos, siendo ya existentes, evitarían tener que cambiar la bolsa del propio prototipo y tener que bajar la basura a diario.

No es demasiado difícil pensar en un futuro en el que simplemente sea necesario posar la basura en una plataforma para que la misma se recicle de forma completamente autónoma e inmediata, siendo solamente necesaria su recogida de los contenedores, pero evitando todos los demás procesos que es necesario llevar a cabo actualmente.

Esta nueva tecnología adaptada a estos conductos (denominados conductos shaft y mencionados anteriormente) podría tener un diseño diferente al desarrollado a lo largo del proyecto, pretendiendo adaptarse a estos conductos, quizás teniendo un diseño que pueda ser incorporado en el interior del conducto, cambiando también el diseño del propio conducto para adaptarse mejor a la división de basuras.

### 9.3 Resoluciones finales

En la época en la que vivimos, el internet de las cosas toma cada vez un valor más importante, ya no solo a nivel industrial sino también a nivel doméstico. Cada vez es más común encontrarse con lámparas inteligentes, televisores inteligentes, persianas inteligentes y muchos más aparatos que, interactuando entre ellos, nos permiten llevar una vida no solo más fácil, sino también más comprometida con el futuro y con el medio ambiente, por eso, me parece que esta tecnología es necesaria y que debería de comenzar a utilizarse inteligencia artificial en muchos más ámbitos de la vida diaria.

Es necesario comenzar una revisión de los métodos utilizados en el día a día en la resolución de problemas y una adaptación de estos a la época actual. Ahora que este tipo de tecnologías son más accesibles para el público general, este tipo de mejoras podrían cambiar la forma de vida de las personas y reducir al mínimo el trabajo necesario por parte de los humanos.

En mi opinión la inteligencia artificial es actualmente el campo de estudio con mayores posibilidades para el futuro, primero se facilitaron lo máximo posible los trabajos físicos mediante el uso de máquinas, relevando a los humanos al trabajo de operarios de estas, lo siguiente en la evolución tecnológica debe ser sustituir estos operarios por máquinas, dotándolas de inteligencia y, por lo tanto, automatizando completamente todos los procesos posibles.

### 9.4 Organización del tiempo

A excepción de algunas correcciones del prototipo que requerían un tiempo de espera debido a los tiempos de envío de las tiendas online, se ha podido cumplir con el plan adecuadamente.

A pesar de esto, en algunas etapas el tiempo ha sido ajustado, por lo tanto, sería adecuado dedicarle más tiempo a la construcción, así como planear más tiempo para las pruebas ya que estas han incluido añadir correcciones que llevaban más tiempo del esperado.

También, el tiempo dedicado a la investigación podría haber sido compatible con el desarrollo de otras tareas, sin embargo, debido a circunstancias externas no fue posible comenzar el desarrollo hasta ya finalizado el mes de junio.

# Lista de referencias.

Ahmad, S.R. (2004) 'A New Technology for Automatic Identification and Sorting of Plastics for Recycling', *Environmental Technology*, 25(10), pp. 1143–1149. Available at: <https://doi.org/10.1080/09593332508618380>.

Deng, Z. *et al.* (2016) 'Efficient kNN classification algorithm for big data', *Neurocomputing*, 195, pp. 143–148. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2015.08.112>.

Derksen, L. and Gartrell, J. (1993) 'The Social Context of Recycling', *American Sociological Review*, 58(3), pp. 434–442. Available at: <https://doi.org/10.2307/2095910>.

Ghobakhloo, M. (2020a) 'Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing', *International Journal of Production Research*, 58(8), pp. 2384–2405. Available at: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630775>.

Ghobakhloo, M. (2020b) 'Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability', *Journal of Cleaner Production*, 252, p. 119869. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119869>.

Hao, T. *et al.* (2016) 'Cross domain mitotic cell recognition', *Neurocomputing*, 195, pp. 6–12. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.06.106>.

Kolade, O. and Owoseni, A. (2022) 'Employment 5.0: The work of the future and the future of work', *Technology in Society*, 71, p. 102086. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2022.102086>.

Memiş, S., Enginoğlu, S. and Erkan, U. (2022) 'Fuzzy parameterized fuzzy soft k-nearest neighbor classifier', *Neurocomputing*, 500, pp. 351–378. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.05.041>.



el Ouadi, J. *et al.* (2022) 'Towards a machine-learning based approach for splitting cities in freight logistics context: Benchmarks of clustering and prediction models', *Computers and Industrial Engineering*, 166. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.107975>.

Santos, M.S. *et al.* (2022) 'The impact of heterogeneous distance functions on missing data imputation and classification performance', *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 111. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104791>.

Zhang, S. *et al.* (2016) 'Self-representation nearest neighbor search for classification', *Neurocomputing*, 195, pp. 137–142. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.08.115>.

Aha, D.W., Kibler, D. and Albert, M.K. (1991) 'Instance-Based Learning Algorithms', *Machine Learning*, 6(1), pp. 37–66. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1022689900470>.

'AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence' (2020). Available at: <https://doi.org/10.2760/801580>.

Atom (2014). Available at: <https://atom.io/>

'BBVA ESPAÑA' (2022). Available at: <https://www.bbva.es/finanzas-vistazo/sostenibilidad/cuales-son-los-contenedores-de-reciclaje-y-sus-colores.html>

Breve historia visual de la inteligencia artificial (2021). Available at: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/breve-historia-visual-inteligencia-artificial\\_14419/1](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/breve-historia-visual-inteligencia-artificial_14419/1)

Campaña de recogida separada de aceites vegetales de uso doméstico para su reciclaje a partir de la producción de biodiesel. (2022). Available at:

[https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/buenas-practicas/Campana\\_recogida\\_separada\\_aceites\\_vegetales\\_Castilla\\_Leon.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/buenas-practicas/Campana_recogida_separada_aceites_vegetales_Castilla_Leon.aspx)

Chatbot de dudas del reciclaje | Ecoembes (2019). Available at: <https://www.ecoembes.com/proyectos-destacados/chatbot-aire/>

Colores de los contenedores de reciclaje 🗑️ | Ecoembes (2020). Available at: <https://ecoembesdudasreciclaje.es/colores-contenedores-de-reciclaje/>

¿Cómo citar una Página Web? – Normas APA (2020). Available at: <https://normas-apa.org/referencias/citar-pagina-web/>

Contenedor azul para papel y cartón en la calle – Conserva Tu Planeta (2020). Available at: <https://conservatuplaneta.com/2011/10/13/reciclarpapel/cuboazul4/>

Cuáles son los contenedores de reciclaje y sus colores | BBVA España (2021). Available at: <https://www.bbva.es/finanzas-vistazo/sostenibilidad/cuales-son-los-contenedores-de-reciclaje-y-sus-colores.html>

Detección de Objetos con Python | Aprende Machine Learning (2020). Available at: <https://www.aprendemachinlearning.com/deteccion-de-objetos-con-python-yolo-keras-tutorial/>

Ecoembes (2008). Available at: <https://www.ecoembes.com/es>

ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE (II) | CIS (01/2005). Available at: [http://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/2580\\_2599/2590/es2590mar.pdf](http://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/2580_2599/2590/es2590mar.pdf)

Especificaciones Mi A2 | Xiaomi España | Mi.com - Xiaomi España (2019). Available at: <https://www.mi.com/es/mi-a2/specs/>

Ferrero, C.A. (2009) 'Algoritmo kNN para previsão de dados temporais: funções de previsão e critérios de seleção de vizinhos próximos aplicados a variáveis

ambientais em limnologia'. Available at:  
<https://doi.org/10.11606/D.55.2009.TDE-19052009-135128>.

home | p5.js (2018). Available at: <https://p5js.org/es/>

Lu, Y. (2019) 'Artificial intelligence: a survey on evolution, models, applications and future trends', Journal of Management Analytics. Taylor and Francis Ltd., pp. 1–29. Available at: <https://doi.org/10.1080/23270012.2019.1570365>.

Marginales, D. (2015) ENCUESTA SOCIAL GENERAL ESPAÑOLA (ESGE) 2015.

Max AI AQC CoBot on aluminum QC line - YouTube (05/2022). Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Lqezg4cbjo0&t=3s>

Max-AI – Sadako Technologies (2019). Available at: <https://sadako.es/max-ai/?lang=es>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2018). Available at: <https://www.miteco.gob.es/es/>

ml5js-Friendly Machine Learning For The Web (2018). Available at: <https://ml5js.org/>

MQTT - The Standard for IoT Messaging (2006). Available at: <https://mqtt.org/>

NocheProgramacion // ChepeCarlos (2020). Available at: <https://nocheprogramacion.com/>

Node.js (2015). Available at: <https://nodejs.org/en/>

Our History - Bulk Handling Systems (2021). Available at: <https://bulkhandlingsystems.com/wp/about/company-history/>

Peterson, L.E. (2009) 'K-nearest neighbor', Scholarpedia, 4(2), p. 1883. Available at: <https://doi.org/10.4249/SCHOLARPEDIA.1883>.

¿Por qué no se puede tirar cristal en los contenedores para vidrio? >> Ecolaboratorio >> Blogs EL PAÍS (03/2011). Available at: <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/03/por-que-no-se-puede-tirar-cristal-en-los-contenedores-para-vidrio.html>

Reciclar Aceite Usado en Avilés - Puntos de Recogida de Aceite (2020). Available at: <https://www.pumariega.com/puntos-recogida-aceite-asturias/aviles/>

'Recycling rate of municipal waste' | Eurostat (12/2021).

Residuos Domésticos (2019). Available at: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/>

DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA MARGINALES DEL ESTUDIO 2682 CUESTIONARIO 0 MUESTRA 0 (2013). Available at: [https://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/2680\\_2699/2682/e268200.html](https://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/2680_2699/2682/e268200.html)

Department of Electrical and Electronic Engineering 'sg90\_datasheet' (2016). Available at: [http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1\\_EE/stores/sg90\\_datasheet.pdf](http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf)

Shaft de basura: ¿En qué consiste su limpieza? (2020). Available at: <https://www.grupo.am/blog/shaft-de-basura-limpieza>

Statistics | Eurostat (2022). Available at: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020\\_rt120/default/line?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rt120/default/line?lang=en)

Un robot capaz de detectar y separar productos en las plantas de reciclaje por sí solo (08/06/2022). Available at: [https://www.elespanol.com/invertia/disruptores-innovadores/america-tech/20220608/robot-capaz-detectar-separar-productos-plantas-reciclaje/677682227\\_0.html](https://www.elespanol.com/invertia/disruptores-innovadores/america-tech/20220608/robot-capaz-detectar-separar-productos-plantas-reciclaje/677682227_0.html)

# Agradecimientos.

Me gustaría dedicar este espacio a dar las gracias a mi familia por todas las oportunidades que me han brindado, a mis padres por todo su apoyo y a mi hermano Álvaro y a su novia Sandra por todo el apoyo y la ayuda que me han dado a lo largo de la carrera.

También quiero agradecer por todo a las personas que he conocido a lo largo de la carrera y a la propia institución universitaria por ayudarme a evolucionar los últimos años.

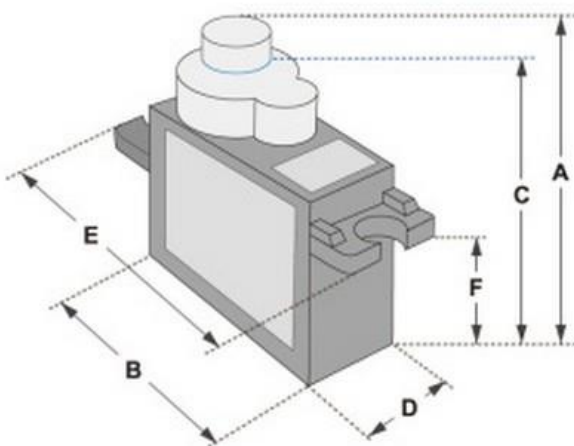
Muchas gracias a mi tutora Ángela por su atención y por la ayuda que me ha prestado estos meses y a lo largo de los cursos que ha sido también mi profesora.

# Anexos

## Anexo A SERVO MOTOR SG90 DATA SHEET



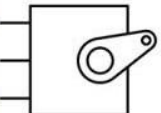
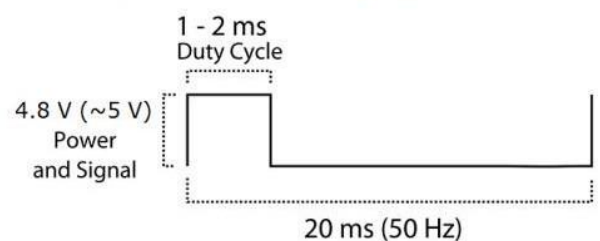
Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but smaller. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.



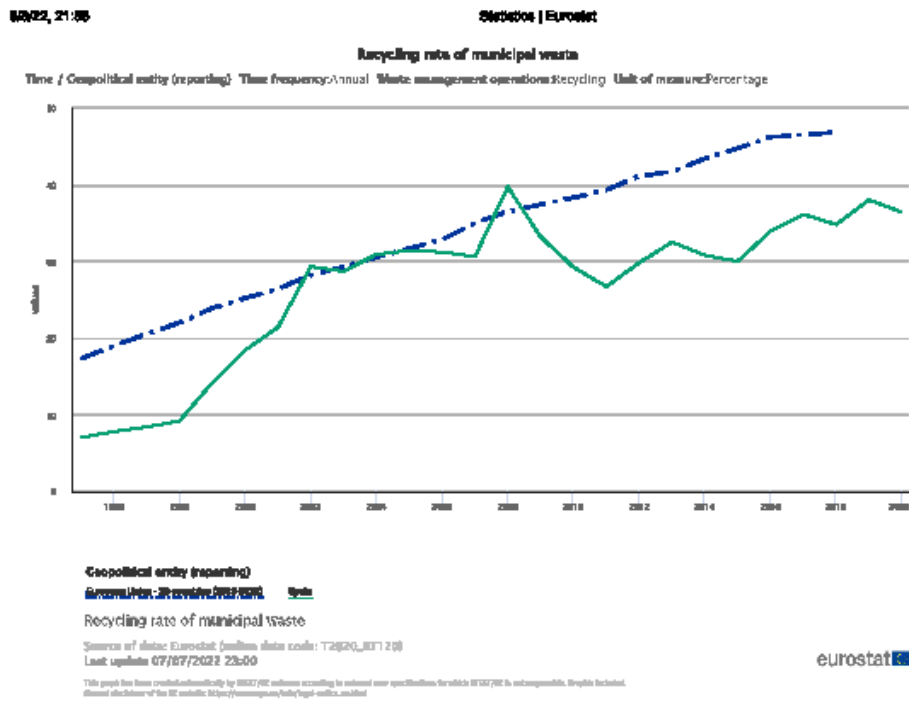
Dimensions & Specifications	
A (mm) :	32
B (mm) :	23
C (mm) :	28.5
D (mm) :	12
E (mm) :	32
F (mm) :	19.5
Speed (sec) :	0.1
Torque (kg-cm) :	2.5
Weight (g) :	14.7
Voltage :	4.8 - 6

Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2ms pulse) is middle, is all the way to the right, "-90" (~1ms pulse) is all the way to the left.

PWM=Orange (⌋⌋)  
Vcc = Red (+)  
Ground=Brown (-)

## Anexo B Estadísticas evolución reciclaje Eurostat



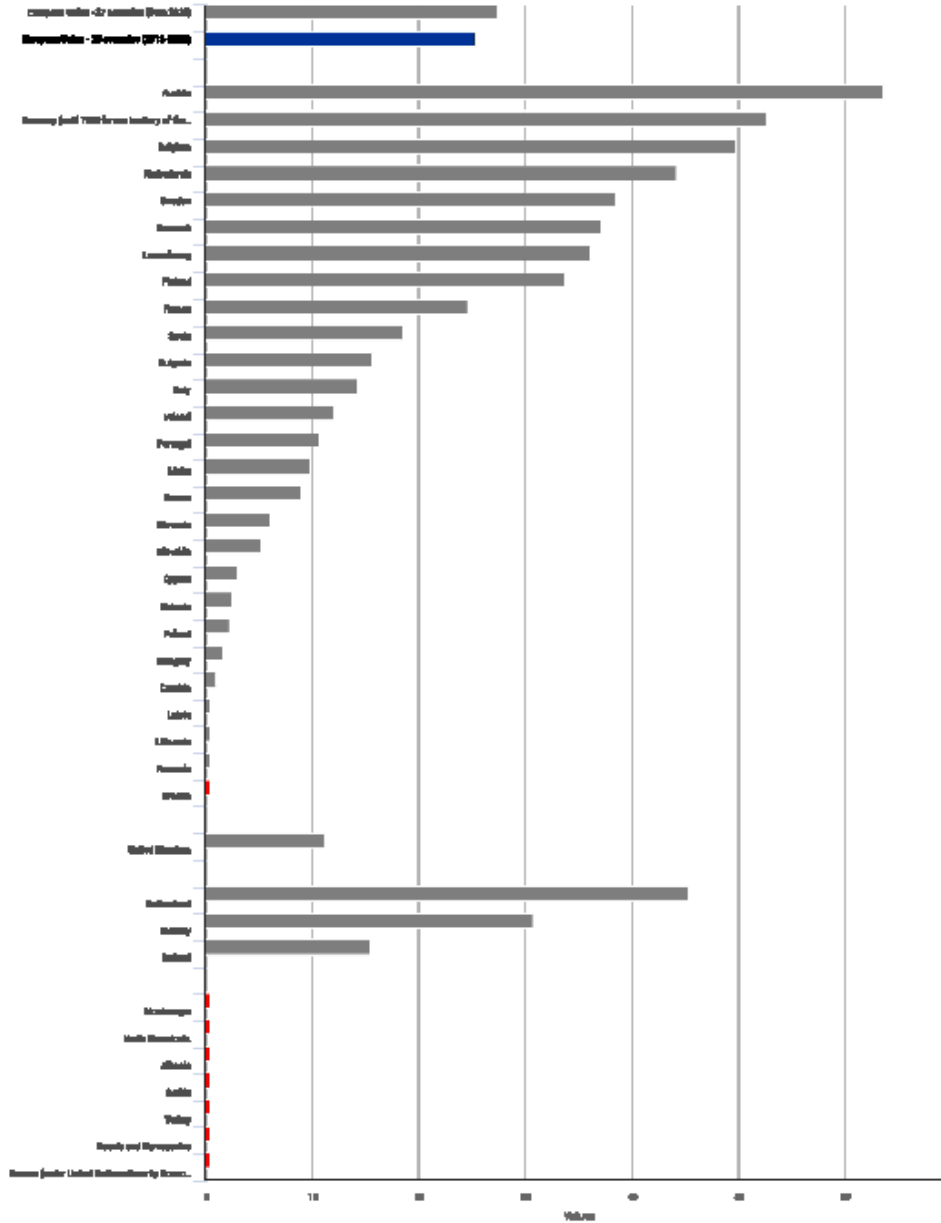
# Anexo C Estadísticas reciclaje Eurostat 2000

04/02, 21:01

Statistics | Eurostat

## Recycling rate of municipal waste

Geographical entity (reporting) / Time: Time frequency: Annual Waste management operation: Recycling Unit of measure: Percentage. Values in 2000. Data is not expressed for available data.



Recycling rate of municipal waste

Source of data: Eurostat (online data code: T2030\_KT120)  
Last update: 07/07/2022 23:08

eurostat

[https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&code=t2030\\_kt120](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&code=t2030_kt120)

1/1



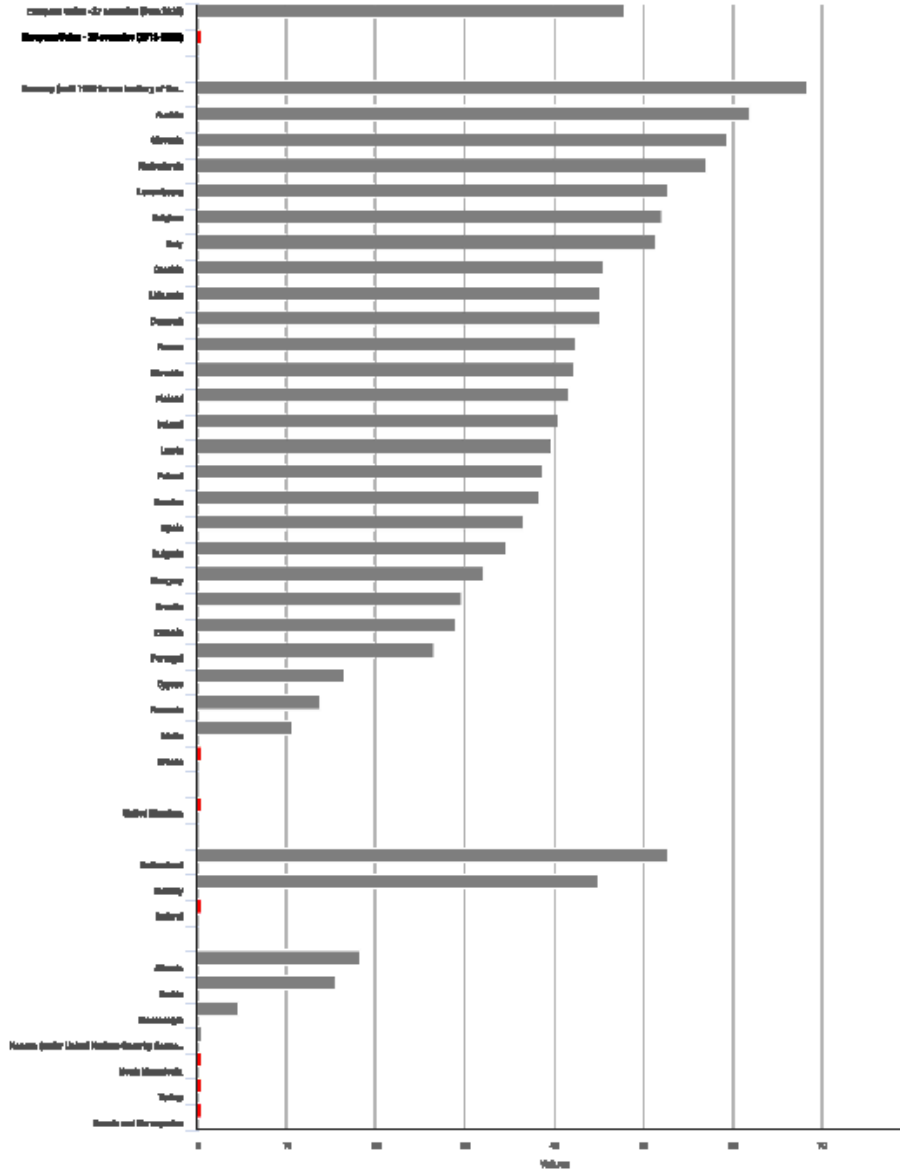
# Anexo D Estadísticas reciclaje EuroStat 2022

04/02, 21:00

Estadística | Eurostat

## Recycling rate of municipal waste

Geographical entity (reporting) / Time: Time frequency: Annual / Waste management operation: Recycling / Unit of measure: Percentage, Values for 2022. Data is not expressed for multiple years.



Recycling rate of municipal waste

Source of data: Eurostat (online data code: T2010\_RT130)  
Last update: 02/07/2022 23:00



<https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en>

1/1