



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**Monitoreo de la calidad del aire en un espacio concurrido aplicando Internet  
de las Cosas y Redes Neuronales Artificiales**

**ALEJANDRO BENAVIDEZ JOSEPH ALEXANDER  
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MILLAN CRUZ DAVID EMANUEL  
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MACHALA  
2022**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**Monitoreo de la calidad del aire en un espacio concurrido aplicando  
Internet de las Cosas y Redes Neuronales Artificiales**

**ALEJANDRO BENAVIDEZ JOSEPH ALEXANDER  
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MILLAN CRUZ DAVID EMANUEL  
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MACHALA  
2022**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**PROPUESTAS TECNOLÓGICAS**

**Monitoreo de la calidad del aire en un espacio concurrido  
aplicando Internet de las Cosas y Redes Neuronales Artificiales**

**ALEJANDRO BENAVIDEZ JOSEPH ALEXANDER  
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MILLAN CRUZ DAVID EMANUEL  
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**HERNANDEZ ROJAS DIXYS LEONARDO**

**MACHALA  
2022**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**PROPUESTAS TECNOLÓGICAS**

**Monitoreo de la calidad del aire en un espacio concurrido  
aplicando Internet de las Cosas y Redes Neuronales Artificiales**

**ALEJANDRO BENAVIDEZ JOSEPH ALEXANDER  
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MILLAN CRUZ DAVID EMANUEL  
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**HERNANDEZ ROJAS DIXYS LEONARDO**

**MACHALA  
2022**

# Calidad Aire

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1	Submitted to Universidad Técnica de Machala	1%
	Trabajo del estudiante	
2	electronilab.co	1%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	<1%
	Fuente de Internet	
4	www.slideshare.net	<1%
	Fuente de Internet	
5	dokumen.tips	<1%
	Fuente de Internet	
6	tesis.ipn.mx	<1%
	Fuente de Internet	
7	doku.pub	<1%
	Fuente de Internet	
8	Submitted to South Dakota Board of Regents	<1%
	Trabajo del estudiante	
9	www.robotshop.com	<1%
	Fuente de Internet	

---

## **CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL**

Los que suscriben, ALEJANDRO BENAVIDEZ JOSEPH ALEXANDER y MILLAN CRUZ DAVID EMANUEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN UN ESPACIO CONCURRIDO APLICANDO INTERNET DE LAS COSAS Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



---

ALEJANDRO BENAVIDEZ JOSEPH  
ALEXANDER  
0750552093



---

MILLAN CRUZ DAVID EMANUEL  
0750523300

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado principalmente a mis padres, ya que, sin su esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional no hubiese podido establecerme en esta carrera. Además, lo dedico a toda mi familia y amigos que estuvieron presentes en todo el proceso dándome apoyo, esencialmente a mis compañeros quienes han sido parte de todo el desarrollo académico y con quienes he compartido muchos momentos de mi vida.

**Alejandro Benavidez Joseph Alexander**

El presente trabajo de integración curricular está dedicado a mis padres, quienes con su esfuerzo han aportado para mi formación humana que es base primordial para lograr objetivos. De igual manera se lo dedico a mi demás familiares, amigos y compañeros que han estado presente en el transcurso del tiempo aportando de una u otra manera en mi crecimiento profesional y humano.

**Millan Cruz David Emanuel**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a mis padres porque siempre han estado apoyándome en todo momento hasta la culminación de esta gran etapa. De igual manera, agradezco a todas las personas que formaron parte de todo este proceso. También, una mención de agradecimiento hacia el Ing. Oscar Efren Cárdenas Villavicencio, quien me brindó la confianza para seguir por este camino. Finalmente, agradezco al Ing. Dixys Hernández quien estuvo dando su apoyo durante todo el proceso de titulación y a todos los profesores que formaron parte de mi formación profesional en esta carrera.

**Alejandro Benavidez Joseph Alexander**

Antes que nada, quiero agradecer a Dios porque me ha dado la oportunidad de seguir logrando objetivos en mi vida además de haberme otorgado una familia maravillosa que siempre han estado apoyándome y dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio. Agradezco a mis padres, mis abuelos, mis tíos y mi hermano que siempre han estado ahí apoyándome cuando los he necesitado. También agradezco a cada uno de los docentes, los mismos que nutrieron con sus conocimientos como parte de mi formación profesional, dando mención especial al Ing. Dixys Hernández quien estuvo dando su apoyo durante el proceso de titulación.

**Millan Cruz David Emanuel**



## RESUMEN

Las actuales tecnologías de comunicación tienen un papel importante que hasta se pueden considerar como imprescindible en todas las áreas relacionadas con la administración de la información o manejo de datos. La polución del aire es un tema considerable tanto así que se ha intentado crear soluciones que ayuden a contrarrestar los daños que causa en la salud ambiental y el de la humanidad.

El presente proyecto consiste en monitorear la calidad del aire en un espacio concurrido para traducir el análisis de los datos que se obtienen, y sí la calidad de este disminuye, proporcionar al usuario en qué estado se encuentra en tiempo real aplicando tecnologías como Internet de las Cosas e Inteligencia Artificial.

Mediante la examinación de trabajos relacionados con el tema se identificaron los diferentes sensores que fueron utilizados para la construcción del prototipo encargado de medir la calidad del aire, previo a la construcción, se realizaron los modelados 3D del prototipo y esquema del circuito. Posteriormente, se realizó el proceso de selección del modelo de la red neuronal para la clasificación, siendo Decision Tree Classification el modelo escogido. Para la entrega de los datos al usuario se codificó un bot de mensajería quien transmitirá información sobre la calidad del aire a través de WhatsApp.

El prototipo fue sometido a diferentes pruebas de campo, exponiéndolo a diferentes ambientes como: Carpintería, un hogar y una cámara de humo; exponiéndolo 10 minutos en cada escenario con 5 minutos de espera antes de tomar los datos, se observaron diferencias notables, sin embargo, el material particulado fue afectado más en la cámara de humo.

Por lo tanto, se comprobó la validez y confiabilidad del prototipo en estos escenarios cuando se observaron variaciones esperadas en los datos producto de los diferentes entornos de prueba.

**PALABRAS CLAVE:** Internet de las cosas – Redes neuronales artificiales – Calidad del Aire – Prototipo sensorial – Salud ambiental

## SUMMARY

Current communication technologies play an important role that can even be considered as essential in all areas related to the administration of information or data management. Air pollution is a considerable issue, so much so that attempts have been made to create solutions to help counteract the damage it causes to environmental health and that of mankind.

The present project consists of monitoring the air quality in a crowded space to translate the analysis of the data obtained, and if the quality of this decreases, provide the user in what state it is in real time by applying technologies such as Internet of Things and Artificial Intelligence.

Through the examination of works related to the topic, the different sensors that were used for the construction of the prototype in charge of measuring the air quality were identified, prior to the construction, the 3D modeling of the prototype and circuit diagram were made. Subsequently, the selection process of the neural network model for the classification was carried out, being Decision Tree Classification the chosen model. For the delivery of data to the user, a messaging bot was coded to transmit information on air quality through WhatsApp.

The prototype was subjected to different field tests, exposing it to different environments such as: Carpentry, a home and a smoke chamber; exposing it 10 minutes in each scenario with 5 minutes of waiting before taking the data, notable differences were observed, however, the particulate matter was affected more in the smoke chamber.

Therefore, the validity and reliability of the prototype was tested in these scenarios when expected variations in the data from the different test environments were observed.

**KEYWORDS:** Internet of Things – Artificial neural network – Air quality – Sensory prototype - Environmental health

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
SUMMARY .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
GLOSARIO.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	12
i.    Declaración y formulación del Problema .....	12
ii.   Objeto de estudio y Campo de acción .....	13
iii.  Objetivos.....	14
iv.   Hipótesis y variables o Preguntas de investigación.....	14
v.    Justificación.....	15
vi.   Organización del documento .....	16
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO.....	17
1.1   Antecedentes de la Investigación .....	17
1.2   Antecedentes históricos .....	19
1.3   Antecedentes Teóricos.....	20
1.3.1  Internet de las cosas.....	21
1.3.2  Inteligencia Artificial .....	26
1.3.3  Contaminación del aire.....	27
1.3.4  IoT Methodology.....	31
1.4   Antecedentes Contextuales.....	32
1.4.1  Ámbito de aplicación .....	32
1.4.2  Establecimiento de requerimientos .....	32
CAPITULO II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO .....	33
2.1   Definición del prototipo.....	33
2.2   Metodología de desarrollo del prototipo .....	34
2.2.1  Enfoque, alcance y diseño de investigación.....	34
2.2.2  Unidades de análisis .....	34
2.2.3  Técnicas e instrumentos de recopilación de datos .....	34

2.2.4	Técnicas de procesamiento de datos para la obtención de resultados.....	35
2.2.5	Metodología o métodos específicos .....	35
2.2.6	Herramientas y/o Materiales .....	35
2.3	Desarrollo del prototipo.....	36
2.3.1	Diseño del prototipo .....	36
2.4	Ejecución del prototipo.....	47
CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO .....		51
3.1	Plan de evaluación .....	51
3.1.1	Planificación de las pruebas .....	51
3.1.2	Diagrama o estructura de los escenarios .....	51
3.2	Resultados de la evaluación.....	53
CONCLUSIONES .....		71
RECOMENDACIONES .....		73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		74
ANEXOS.....		77
APÉNDICES .....		83

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Conceptualización de hipótesis .....	14
<b>Tabla 2.</b> Operacionalización de las variables .....	15
<b>Tabla 3.</b> Preguntas de investigación .....	17
<b>Tabla 4.</b> Criterios de inclusión y exclusión .....	18
<b>Tabla 5.</b> Herramientas y/o materiales .....	35
<b>Tabla 6.</b> Responsables del desarrollo del prototipo.....	37
<b>Tabla 7.</b> Requisitos funcionales y no funcionales .....	37
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de los parámetros.....	46
<b>Tabla 9.</b> Planificación de pruebas.....	51
<b>Tabla 10.</b> Promedio de variables por escenario.....	53
<b>Tabla 11.</b> Datos estadísticos del Material Particulado (PM <sub>10</sub> ) de los escenarios. ....	53
<b>Tabla 12.</b> Datos estadísticos del Material Particulado (PM <sub>2.5</sub> ) de los escenarios.....	55
<b>Tabla 13.</b> Datos estadísticos del Monóxido de Carbono de los escenarios. ....	56
<b>Tabla 14.</b> Datos estadísticos del Dióxido de Carbono (NO <sub>2</sub> ) de los escenarios.....	58
<b>Tabla 15.</b> Datos estadísticos del Ozono (O <sub>3</sub> ) de los escenarios.....	59
<b>Tabla 16.</b> Datos estadísticos de la Temperatura de los escenarios. ....	61
<b>Tabla 17.</b> Datos estadísticos de la Humedad de los escenarios.....	62
<b>Tabla 18.</b> Intervalo de Prueba de Latencia .....	64
<b>Tabla 19.</b> Prueba de Latencia .....	64
<b>Tabla 20.</b> Parámetros de la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire .....	66
<b>Tabla 21.</b> Métricas de la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire .....	67
<b>Tabla 22.</b> Resultado de clase "buena" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire.....	68
<b>Tabla 23.</b> Resultado de clase "moderada" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire .....	68
<b>Tabla 24.</b> Resultado de clase "dañina a la salud para grupos sensibles" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire .....	69
<b>Tabla 25.</b> Resultado de clase "dañina a la salud" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire .....	69
<b>Tabla 26.</b> Resultado de clase "muy dañina a la salud" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire.....	69
<b>Tabla 27.</b> Resultado de clase "peligrosa" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire.....	69
<b>Tabla 28.</b> Resultado de clase "fatal" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Declaración del problema .....	13
<b>Figura 2.</b> Proceso y resultados de búsqueda.....	18
<b>Figura 3.</b> Diagrama de cantidad de trabajos por año.....	19
<b>Figura 4.</b> Antecedentes teóricos .....	21
<b>Figura 5.</b> Sensor láser de concentración de partículas digital PMS5003 PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub> .....	22
<b>Figura 6.</b> Módulo de sensor de gas de ozono MQ131.....	23
<b>Figura 7.</b> Grove - Multichannel Gas Sensor v2.....	23
<b>Figura 8.</b> BME688 – Sensor de Presión, Temperatura, Humedad y Gas VOC .....	24
<b>Figura 9.</b> ESP32 .....	25
<b>Figura 10.</b> ESP32 Pin Layout (QFN 6*6, Top View) .....	25
<b>Figura 11.</b> ESP32 Pin Layout (QFN 5*5, Top View) .....	26
<b>Figura 12.</b> Definición del prototipo general .....	33
<b>Figura 13.</b> Procesos de la Metodología .....	35
<b>Figura 14.</b> Diseño del prototipo .....	36
<b>Figura 15.</b> Arquitectura del proyecto .....	38
<b>Figura 16.</b> PlataformIO IDE.....	39
<b>Figura 17.</b> Código del sensor PMS5003 para captura de datos.....	40
<b>Figura 18.</b> Código del sensor Grove - Multichannel Gas Sensor V2 para captura de datos. ....	41
<b>Figura 19.</b> Código del sensor MQ131 para captura de datos. ....	41
<b>Figura 20.</b> Código del sensor BME688 para captura de datos.....	42
<b>Figura 21.</b> Codificación del protocolo de comunicación. ....	42
<b>Figura 22.</b> Configuración del flujo en Node-Red.....	43
<b>Figura 23.</b> Estructura de almacenamiento de datos en InfluxDB.....	44
<b>Figura 24.</b> Dashboard en Grafana .....	44
<b>Figura 25.</b> Consultas para obtención de datos.....	44
<b>Figura 26.</b> Modelo predictivo.....	47
<b>Figura 27.</b> Instanciado de Node-red .....	48
<b>Figura 28.</b> Gateway .....	48
<b>Figura 29.</b> Prototipo .....	49
<b>Figura 30.</b> Comunicación entre el bróker MQTT, ESP32 y almacenamiento en InfluxDB .....	49
<b>Figura 31.</b> Emisión de información del estado del aire.....	50
<b>Figura 32.</b> Intervalos de tiempo del segundo escenario. ....	52
<b>Figura 33.</b> Promedio del Material Particulado (PM <sub>10</sub> ) de los escenarios.....	54
<b>Figura 34.</b> Promedio del Material Particulado (PM <sub>2.5</sub> ) de los escenarios. ....	55
<b>Figura 35.</b> Promedio del Monóxido de Carbono (CO) de los escenarios. ....	57
<b>Figura 36.</b> Promedio del Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) de los escenarios.....	58
<b>Figura 37.</b> Promedio de Ozono (O <sub>3</sub> ) de los escenarios. ....	60
<b>Figura 38.</b> Promedio de la Temperatura de los escenarios.....	61
<b>Figura 39.</b> Promedio de la Humedad de los escenarios. ....	63
<b>Figura 40.</b> Análisis de los resultados de la Latencia .....	65
<b>Figura 41.</b> Matriz de Confusión Red Neuronal de Clasificación .....	68

## **GLOSARIO**

Internet de las Cosas: La interconexión de dispositivos u objetos a través de internet, permitiendo la recolección y transferencia de datos usando protocolos de comunicación inalámbrica.

Inteligencia Artificial: Tecnología que emplea la combinación de algoritmos con el objetivo de crear sistemas informáticos capaces de actuar cognitivamente como un ser humano.

Polución del aire: Conjunto de partículas diminutas o gases que involucran el daño, riesgo y molestia para las personas y otros seres vivos.

Prototipo sensorial: Conjunto de dispositivos con la capacidad de realizar mediciones de diferentes aspectos como la temperatura, humedad, etc. Programados como uno solo.

Red Neuronal Artificial: Parte de la Inteligencia Artificial que simula al cerebro humano de forma computacional para realizar el procesamiento de datos mediante diferentes conexiones similar a las neuronas cerebrales.

## INTRODUCCIÓN

Los dispositivos sensoriales actualmente forman una cantidad importante dentro de los hogares formando un papel fundamental para mejorar la calidad de vida de las personas, la integración con internet de las cosas los ha convertido en un paradigma más amplio para el beneficio de esos dispositivos y quienes le den uso en cuando a la calidad del aire consumido diariamente. Actualmente los bajos índices en los estándares de calidad del aire en espacios concurridos es notablemente un problema que afecta el desempeño de las personas por la nocividad existente por la contaminación.

Este trabajo tiene como finalidad la satisfacer la necesidad de realizar un monitoreo de la calidad del aire en un espacio concurrido, de tal forma que, a partir del monitoreo emitir el estado del ambiente de dicho espacio.

### **i. Declaración y formulación del Problema**

La contaminación del aire es una problemática que se ha presentado en el mundo entero y actualmente con mucho más rigor, considerando el efecto negativo que ha estado causando la pandemia con el covid-19. Aunque no es solamente por la pandemia los problemas que se encuentra en el aire, ya sea también por alguna contaminación como la basura, aguas servidas, hasta la toxicidad de los componentes de las pinturas que se utilizan para el mejoramiento estético de dichos lugares; o por enfermedades como la gripe, tos, etc.

La OMS [1] declaró que en América Latina el mayor riesgo ambiental que le afecta en directamente a la salud de las personas es la contaminación del aire, más de 150 millones de habitantes a diario viven con niveles de intoxicación del ambiente que superan las normas de calidad. Los niveles recomendados respecto al aire y su calidad son atribuidos a cinco contaminantes tomando en cuenta los datos más recientes que relación con sus afecciones sobre la salud de las personas. Al actuar sobre estos contaminantes clásicos como el material particulado (PM), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>), también se ven afectados otros contaminantes nocivos [1].

Los lugares concurridos son un foco de acumulación de contaminantes del aire que se encuentra en el espacio de dichos lugares por el mismo hecho de que las personas son un medio que contamina el mismo. Hoy en día se ha estado buscando como abatir este problema y conocer aquellas variables que sean de instrumento de ayuda para la reducción de contaminantes del aire y mejorar su calidad.



La calidad del aire es comprendida por una serie de identificadores cuyos valores determinan si esta es accesible para el ser humano, por ende, se encuentra con la necesidad de realizar un estudio con respecto a la calidad del aire encontrado en espacios concurridos con una gran aglomeración de personas, basándose en el uso de dispositivos sensoriales quienes se encargarán de la recolección de información de forma periódica para ser analizadas a través de la aplicación de una red neuronal.

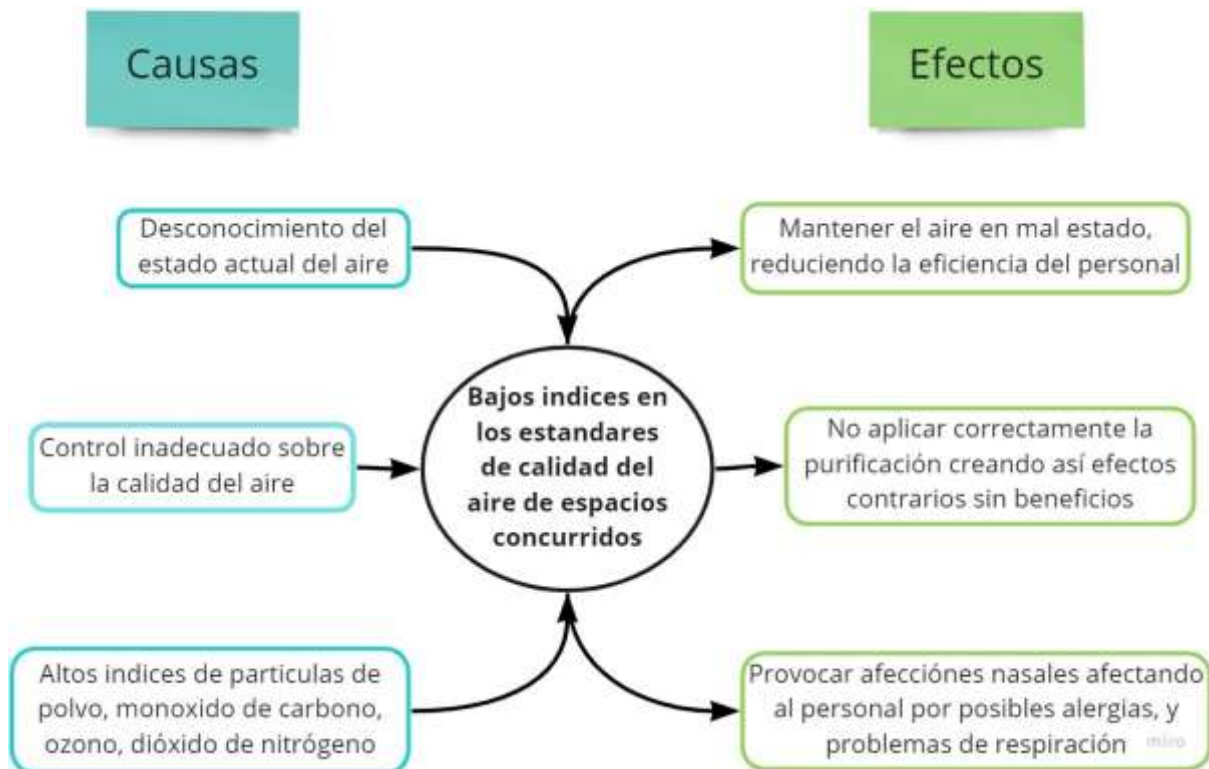


Figura 1. Declaración del problema

En la **Figura 1**, se describen las causas y los efectos planteados dentro de la problemática dirigida al proyecto de investigación, el cual pretende abordar los bajos índices en los estándares de calidad de espacios concurridos.

## ii. Objeto de estudio y Campo de acción

### Objeto de estudio

- Monitoreo de la calidad del aire en espacios concurridos.

### Campo de acción

- Internet de las cosas y redes neuronales artificiales aplicados al monitoreo de la calidad del aire.

### iii. Objetivos

#### Objetivo General

- Construir un prototipo sensorial que monitoree la calidad del aire aplicando tecnologías de internet de las cosas, redes neuronales artificiales y bot de mensajería para la emisión de información del estado del aire.

#### Objetivos específicos

- Examinar trabajos relacionado con el tema para la construcción del estado del arte y marco teórico.
- Modelar un circuito electrónico sensorial para la construcción de un prototipo.
- Modelar una red neuronal artificial mediante el entrenamiento profundo.
- Verificar la validez del prototipo exponiéndolo a diferentes escenarios de pruebas.
- Codificar un bot de mensajería para la proyección de reportes sobre la calidad del aire.

### iv. Hipótesis y variables o Preguntas de investigación

#### Hipótesis

- El desarrollo de un prototipo sensorial que monitoree la calidad del aire aplicando tecnologías de internet de las cosas, redes neuronales artificiales y bot de mensajería, permitirá la emisión de información del estado del aire.

#### Variables y dimensionamiento

Tabla 1. Conceptualización de hipótesis

Variable	Concepto
Variable Independiente:  Desarrollo de un prototipo sensorial que monitoree la calidad del aire aplicando tecnologías de internet de las cosas, redes neuronales artificiales y bot de mensajería.	<p>El prototipo consiste en el monitorear la calidad del aire de un espacio concurrido se refiere a la implementación de un dispositivo constituido de sensores encargados de medir diferentes aspectos en relación con el aire mediante la implementación de internet de las cosas.</p> <p>Se encargará de medir las diferentes variables que son determinantes para cuantificar la calidad del aire, tales como monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, etc.</p> <p>La red neuronal consiste en el entrenamiento en base a una cantidad de datos previamente recolectados cuyo propósito será comparar los datos provenientes del prototipo proveyendo una solución acertada para el mejoramiento del aire.</p> <p>El bot de mensajería consiste en la elaboración de un bot conectado a una red social, se refiere a la implementación de un bot de mensajería encargándose de mostrar lo decidido por la red neuronal.</p>

Variable	Concepto
Variable Dependiente:  Emisión de información del estado del aire y recomendaciones de mejora del ambiente.	La emisión de la información del estado del aire consiste en un reporte especificando los datos, dependiendo del resultado de las variables y luego de haberlas analizado, se proveerán sugerencias de cómo mejorar el ambiente.

**Tabla 2.** Operacionalización de las variables

Variable	Categorías	Indicadores	Técnicas
Variable Independiente: Desarrollo de un prototipo sensorial que monitoree la calidad del aire aplicando tecnologías de internet de las cosas, redes neuronales artificiales y Bot de mensajería	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internet de las cosas aplicadas al monitoreo de la calidad del aire.</li> <li>• Redes neuronales artificiales.</li> <li>• Bot de mensajería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores medidores de variables del aire.</li> <li>• Redes neuronales para la clasificación de los estados de la calidad del aire.</li> <li>• Bot de mensajería informar el estado de la calidad del aire y recomendar mejoras en el ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificar sensores.</li> <li>• Especificar redes neuronales.</li> <li>• Especificar Bot de mensajería</li> </ul>
Variable Dependiente: Emisión de información del estado del aire y recomendaciones de mejora del ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reporte de emisión del estado de la calidad del aire.</li> <li>• Recomendación de mejora del ambiente.</li> <li>• Categorías para evaluar el prototipo de forma general, por ejemplo, satisfacción del usuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicadores del estado del aire.</li> <li>• Sugerencias emitidas a través del Bot de mensajería.</li> <li>• Precisión de las mediciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Monóxido de carbono (CO), Ozono (O<sub>3</sub>).</li> <li>• Emisión de reportes y sugerencias sobre el estado del aire hacia una red social.</li> <li>• Empleo de encuestas, mediciones de rendimiento en tiempo de respuesta de los sensores, medición del comportamiento del prototipo en su trabajo continuo.</li> </ul>

## v. Justificación

Hoy en día, con la cúspide de la evolución tecnológica, nuevas tecnologías han aparecido y ganado terreno, tales como el Internet de las Cosas en el campo de dispositivos sensoriales inteligentes, esta área consiste en la implementación de prototipos sensoriales y captura de datos. Ochoa, Cangrejo y Delgado [2] declaran que los sensores no solo tienen el objetivo de traducir cantidades

físicas en visualización más simples, sino que también forman parte de una gran cantidad de áreas tecnológicas, contemplando la posibilidad de la integración con sistemas de internet de las cosas. Cuando se trata de Internet de las Cosas y sus sistemas, se trata de recopilar datos de sensores y enviar comandos a dispositivos que interactúan o integran el mundo. También puede estar al tanto de los eventos y cambios, además, pueden responder de forma autónoma y adecuada [3]. Al ser una tecnología muy versátil puede ser adaptada a diferentes campos como agricultura, domótica, calidad ambiental, entre otros. En la actualidad, se vive una crisis ambiental severa por las diversas maneras de contaminación, un área que se ha visto afectada, teniendo como consecuencia la condición de vida de las personas, es la calidad del aire. Por lo tanto, el desarrollo de un prototipo sensorial que tiene como objetivo monitorear de la calidad del aire, a través de las tecnologías de internet, encargándose de la medición sensorial junto a una red neuronal artificial, responsable de proveer sugerencias en cuanto a mejorar la condición del aire enviando reportes y recomendaciones a través de un Bot de mensajería, siendo de esa manera un método para mejorar el aire en un espacio concurrido, proveyendo un mejor entorno impulsando un mejor desempeño en sus actividades diarias.

#### **vi. Organización del documento**

La estructura planteada para el presente documentos consta con tres etapas. A continuación, se detallará cada etapa:

**Capítulo 1:** En este primer capítulo se enfatiza el marco teórico donde se detallan aspectos necesarios para la comprensión de los términos y herramientas envueltas en el desarrollo del proyecto.

**Capítulo 2:** En este capítulo se detalla al proceso de desarrollo del prototipo, conjuntamente las definiciones del estudio, la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, la finalización del desarrollo del prototipo y su puesta en marcha.

**Capítulo 3:** Finalmente, en este capítulo se presentan las evaluaciones y los resultados derivados de estas, además, lo concluido y recomendaciones.

## CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes de la Investigación

La revisión sobre cada tema de investigación de este trabajo se elaboró mediante el uso de la metodología de Revisión Sistemática de la Literatura, en donde el gran objetivo de cada una de las mencionadas investigaciones es identificar, evaluar y resumir resultados de trabajos pasados ayuden como aporte eficiente a la presente investigación que se realiza actualmente.

#### a) Preguntas de investigación

Tabla 3. Preguntas de investigación

Pregunta de investigación	Descripción y motivación
1. ¿Cuáles son las variables que se encargan de determinar la polución del aire?	El objetivo de esta pregunta es conocer aspectos que están relacionados con la calidad del aire, en especial compuestos químicos.
2. ¿Cuáles son los diferentes sensores que se encargan de monitorear la polución del aire?	La finalidad de esta pregunta es comprender los diferentes sensores que se emplearan en la medición de las variables que determinan la calidad del aire.
3. ¿Qué tipos de comunicación existen para la transmisión de datos desde un punto a otro?	El objetivo de esta pregunta es conocer sobre los tipos de comunicación existentes para transmitir los datos medidos.
4. ¿Cómo cuantificar la polución del aire medido basándose en los sensores del 1?	El propósito de esta pregunta es la comprensión del análisis a realizar para determinar la calidad del aire en base a los datos medidos.

#### b) Palabras claves y Cadena(s) de búsqueda

Las palabras claves o cadenas de búsqueda se formularon tomando en cuenta los términos principales en base a investigación, a través de la ejecución de búsquedas iniciales para la mejora de la cadena de búsqueda constantemente. Existieron algunas palabras que no proporcionaba artículos con información valida en donde se las descartaron. Luego de algunas búsquedas se logró definir la siguiente cadena de búsqueda para palabras clave, resumen, titulo e información completa de publicaciones:

- ("air quality" OR "air pollution") AND ("monitoring system" AND "internet of things") OR ("artificial neural network" AND "air quality") OR ("artificial neural network" AND "Bot").

### c) Criterios de inclusión y exclusión

Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión

#	Criterio de inclusión
1	Estudios primarios.
2	Estudios que contemplan el estudio de la calidad ambiental a través de internet de las cosas y dispositivos sensoriales.
3	Estudios publicados en el lapso de años 2017 a 2022.
4	Estudios relacionados con la integración de redes neuronales artificiales y la calidad del aire.
5	Estudios que abarcan la integración de Bot de mensajería acoplado a redes neuronales artificiales.
#	Criterio de exclusión
1	Estudios secundarios
2	Artículos cortos ( $\leq 6$ páginas)
3	Estudios duplicados
4	Estudios que no hayan sido redactados en el idioma español o inglés.
5	Estudios que no aborden los temas de interés o relacionados basándose en las preguntas de investigación.
6	Estudios que no estén completamente culminados.
7	Estudios cuyo rango tiempo de publicación sea menor a 2017.

### d) Proceso y resultados de la búsqueda

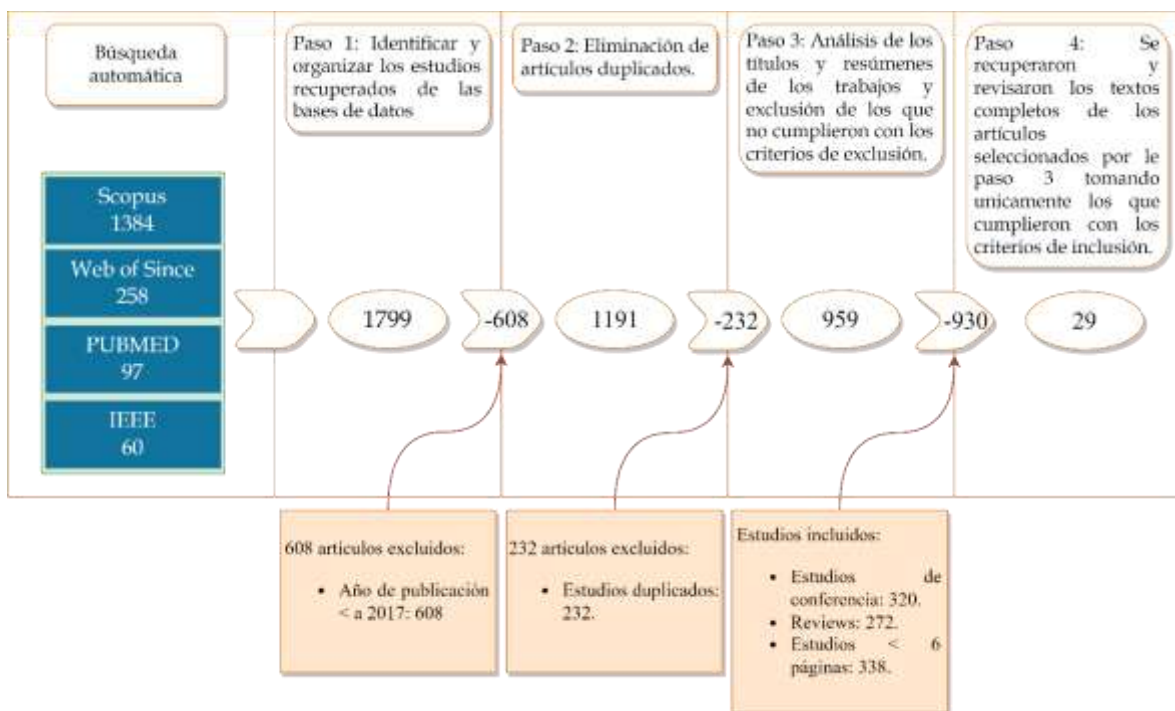


Figura 2. Proceso y resultados de búsqueda

En la **Figura 2**. Se detalla el proceso y resultado de la búsqueda bibliográfica, donde se especifican las bases de datos bibliográfica por ser utilizadas dentro del proyectos de investigación del presente trabajo, destacando las bases de datos SCOPUS, IEEE, PUBMED y WEB OF SCIENCE. En función de la revisión general realizada, se organizaron y distinguieron los estudios obtenidos de

las bases de datos electrónicas. Más adelante se clasificaron los diferentes artículos en base a los filtros dando como resultado la cantidad de 19 artículos por ser examinados.

- Cantidad de estudios por año

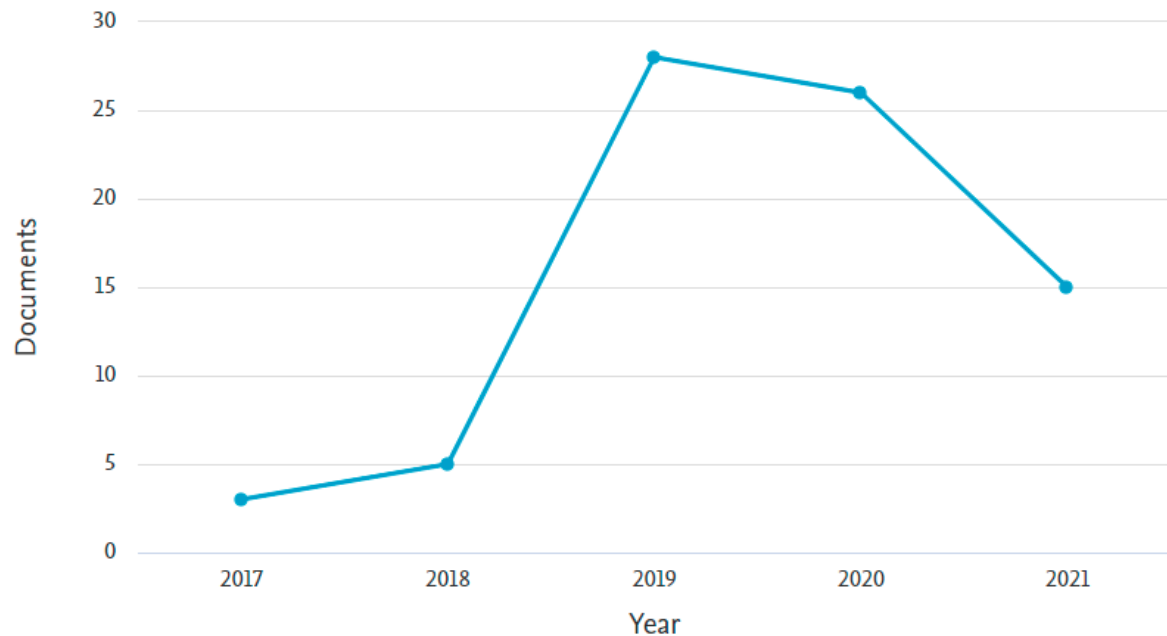


Figura 3. Diagrama de cantidad de trabajos por año

En la **Figura 3**. Se pone en evidencia la cantidad de trabajos publicados por un rango específico de años, para posteriormente los trabajos recolectados ser examinados y analizados para valerse en el proyecto de investigación. La recolección se basó en el rango de 2017 a 2021 dentro de las diferentes bases de datos electrónicas.

## 1.2 Antecedentes históricos

Desde hace algún tiempo considerable ya se han planteado temas investigativos sobre el monitoreo de la calidad del aire, las investigaciones en base al tiempo se iniciaron con la intención de monitorear los contaminantes atmosféricos y lograr caracterizarlos, como también otras investigaciones que se enfocan en la construcción de sistemas electrónicos que también se centran en proporcionar una solución a la problemática de la calidad del aire como por ejemplo el año 2019 en una investigación en donde realizaron un sistema de monitoreo de la calidad del aire interior capaz de realizar mediciones en tiempo real de una amplia gama de parámetros del aire ambiental para luego mediante gráficos estadísticos mostrarlos para que las partes interesadas puedan tomar decisiones con respecto a la información que le proporciona el sistema.

Además, se han realizado investigaciones en el año 2020 sobre los impactos que genera en la salud de las personas sobre las partículas en el aire (PM) y conocer el estado actual de la calidad del aire

y también el incumplimiento de aquellas normas establecidas por organizaciones encargadas[4]. Ahora con respecto a un punto importante que son los lugares donde se va a realizar el monitoreo, en las investigaciones de otros autores varia siempre según su enfoque, aunque es importante nombrar a una que se centra en la correlación de la calidad del aire interior y exterior. En el año 2020 una investigación le da importancia a la calidad del aire interior porque la mayoría de las personas pasan mucho tiempo en el interior y menciona que una proporción significativa de la contaminación interior es causada por la contaminación exterior[5]. Se menciona este tipo de investigaciones que especifica lugares interiores porque en el presente trabajo de titulación se enfoca en varios lugares de interior concurrido como una oficina del trabajo o alguna habitación de un hogar.

En el año 2021 realizaron la comparación de la obtención de datos de un sensor que adquirieron, cual se identifica como “AirBeam2” el cual realiza mediciones de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ; y aquellos datos se compararon con los datos del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire del DAGMA, que es el regulador ambiental de la ciudad de Cali, y con el fin de completar información a la ya existente de la calidad del aire en el lugar mencionado en la investigación que es la ciudad de Cali[6]. También existen investigaciones que se concentran en parámetros específicos de acuerdo a la ruta de investigación y sus limitaciones, como la investigación realizada en el año 2020, trabajo que se encarga de evaluar las concentraciones atmosféricas, de igual manera que el tema anterior mencionado con los parámetros de revisión[7].

### **1.3 Antecedentes Teóricos**

A continuación, se describen los temas y subtemas que va a ser tratados dentro del proyecto de investigación, en donde se destaca los temas sobre Internet de las Cosas (IOT) e Inteligencia Artificial (IA).



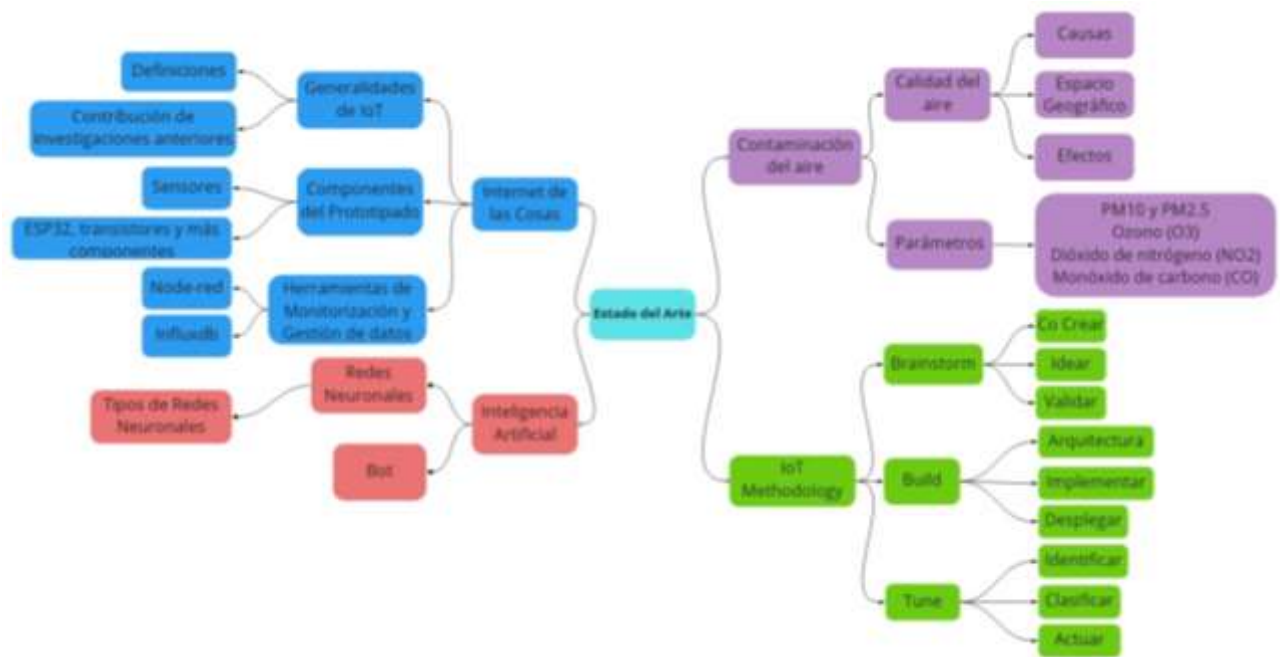


Figura 4. Antecedentes teóricos

### 1.3.1 Internet de las cosas

#### Generalidades de Internet de las Cosas (IoT)

El internet de las cosas y sus tecnologías van evolucionando con el pasar del tiempo, cumpliendo diferentes tipos de propósitos mediante sus arquitecturas robustas[8], proporcionando mayores beneficios para el desarrollo de soluciones a problemáticas para las cuales se pueden implementar su uso, siendo los dispositivos de internet de las cosas (IoT) los que tienen la capacidad de actuar, detectar, controlar, limitar energía con el mundo físico creándose interconexiones con sistemas [9]. Además, esta tecnología influye positivamente en el conocimiento de los usuarios teniendo en cuenta la privacidad o seguridad[10]; afectando de buena manera en la confiabilidad de las personas[11], logrando que se use de forma continua[12].

Entonces ayudándonos con un concepto general del internet de las cosas de otros autores[13], a través de un conjunto de objetos inteligentes con excelentes capacidades de autorreconocimiento que pueden interactuar a distancia entre sí y con el resto de los artefactos esenciales enlazados a internet con un mínimo tiempo de espera, consiguen el monitoreo la calidad del aire ambiente en un lugar concurrido.

## Componentes del Prototipado

### Sensores

#### Sensor de polvo partículas láser PM<sub>2.5</sub> Arduino Raspberry



**Figura 5.** Sensor láser de concentración de partículas digital PMS5003 PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub>

Sensor de concentración de partículas digital universal basado en el principio de dispersión láser. Este puede recoger y calcular continuamente la cantidad de partículas suspendidas en diferentes volúmenes de aire por unidad, o, en otras palabras, la distribución de la concentración de partículas, y luego la convierte en concentración de masa. El sensor se puede integrar en una variedad de partículas suspendidas en el aire relacionadas con la concentración de instrumentación o equipo de mejora ambiental, para proporcionar datos de concentración puntuales y precisos[14].

Su funcionamiento utiliza el principio de dispersión láser. Esto es gracias a que la luz láser golpea las partículas en el aire y provoca la dispersión, mientras captura la luz dispersada en un ángulo específico, dando como resultado la intensidad de la luz dispersada con una curva de tiempo. Además, se utiliza un algoritmo que ha sido fundamentado por MIE, con el objetivo de obtener una variedad de tamaños de partículas por unidad de volumen[14].

## Módulo de sensor de gas de ozono MQ131



Figura 6. Módulo de sensor de gas de ozono MQ131

El sensor MQ, que consiste en un microtubo de cerámica LA2O3, una capa perceptible de dióxido de estaño (SnO2), un electrodo de medición y un calentador, están montados en una carcasa de acero inoxidable y una malla de plástico. El calentador entrega condiciones para componentes sensibles. Este sensor tiene seis pines, lo cual 4 de ellos utiliza para obtener señales, mientras tanto los restantes proporciona corriente de calentamiento[15].

El sensor mencionado contiene el componente trióxido de tungsteno (WO3) para detectar. Al haber una concentración de ozono este tiene mayor conductividad del aire y menor conductividad en el aire puro[15].

## Grove - Multichannel Gas Sensor v2

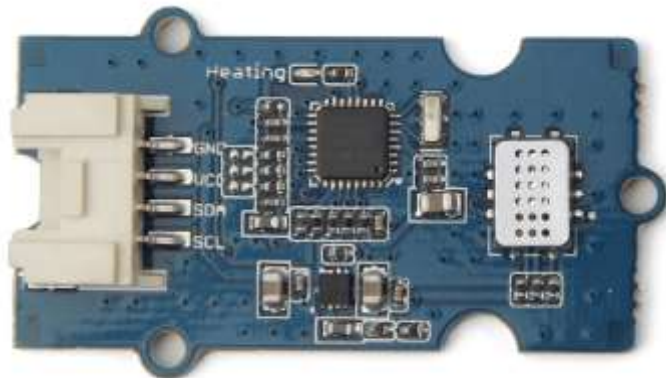
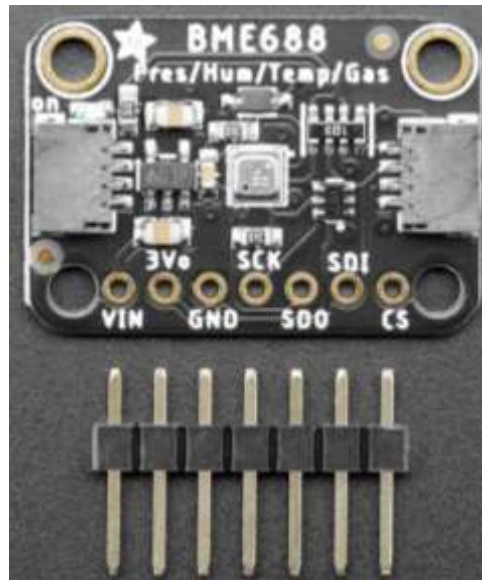


Figura 7. Grove - Multichannel Gas Sensor v2

Sensor de gas multicanal Seeed Studio Grove v2 facilita la función de detectar gases estable y confiable dentro de cualquier otro tipo de gases. Este sensor detecta una variedad de gases, excepto gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO2), alcohol etílico (C2H5CH), y compuestos orgánicos volátiles (COV). Este sensor viene en un tamaño compacto para facilitar el despliegue y evalúa los sensores GM-102B, GM-302B, GM-502B y GM-702B. El sensor de gas se basa en la tecnología MEMS y es más adecuado para la medición cualitativa que cuantitativa [16].

Sobre las funcionalidades del sensor hay que mencionar que es basado en la tecnología MEMS, los elementos del mismo son independientes en el mismo, logra detectar variedad de gases poco saludables como fueron especificados anteriormente y los puede realizar de forma cualitativa y cuantitativa[16].

### **BME688 – Sensor de Presión, Temperatura, Humedad y Gas VOC**



**Figura 8.** BME688 – Sensor de Presión, Temperatura, Humedad y Gas VOC

El BME688 es un sensor de gas de inteligencia artificial (IA) que integra sensores con capacidades de detección de gas temperatura, humedad, presión barométrica y gases de VOC mediante protocolo SPI o I2C. Al igual que los modelos BME280 y BMP280, este sensor de precisión de Bosch mide la humedad con una precisión de  $\pm 3\%$ , la presión barométrica con una precisión absoluta de  $\pm 1$  hPa y la temperatura con una precisión de  $\pm 1.0$  °C con cambios de presión. Mide muy bien la altitud y la presión, igualmente, emplearlo como altímetro con una precisión de  $\pm 1$  metro o más[17].

## ESP32, transistores y más componentes

### ESP32



Figura 9. ESP32

ESP32 es una placa de desarrollo que integra el microcontrolador ESP32. Este permite controlar todo tipo de sensores, módulos y actuadores mediante WIFI y BLUETOOTH, que es útil para el desarrollo de proyectos de Internet de las cosas (IoT) de una forma eficiente y económica. Este cuenta con micro USB tipo B para ser alimentado y para programar el mismo que igual integra el controlador USB a UART CP2102[18].

Y para el funcionamiento tiene su estructura de uso mediante los pines que se lo representa mediante la siguiente figura:

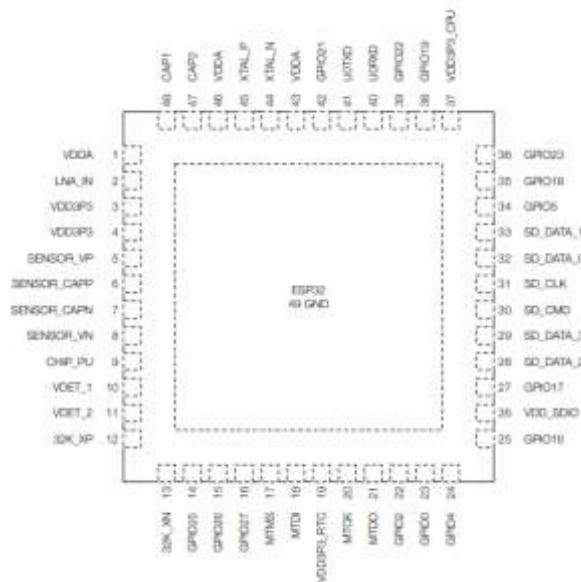


Figura 10. ESP32 Pin Layout (QFN 6\*6, Top View)  
Fuente: Datasheet [18]

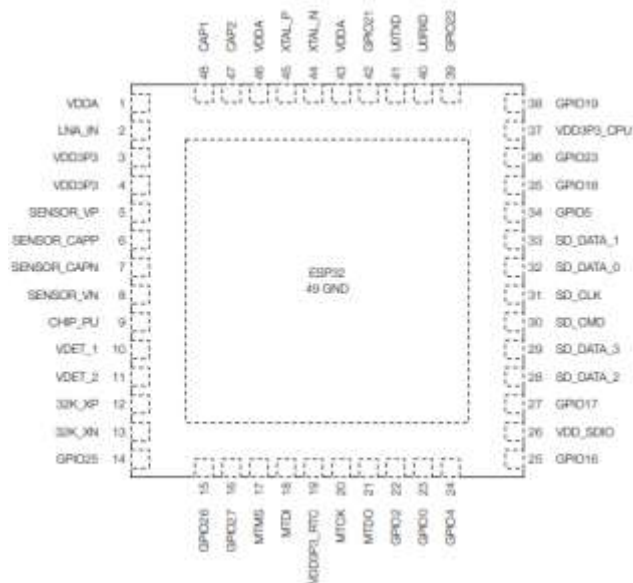


Figura 11. ESP32 Pin Layout (QFN 5\*5, Top View)  
Fuente: Datasheet [18]

## Herramientas de Monitorización y Gestión de datos

### Node-red

Node-red es una herramienta de desarrollo en base a el flujo de código abierto para la integración de dispositivos de hardware IoT, API (Interfaces de programación de aplicaciones) y servicios en línea de IBM [19]. Milica Lekić y Gordana Gardasević en su investigación[20], mencionan que Node-RED es una herramienta gratuita basada en JavaScript, creada sobre Node.js que proporciona un editor de flujo visual basado en navegador. El sistema consta de botones como por ejemplos los nodos y tiene varias funciones como el monitoreo, depuración, lectura y escritura utilizando los pines GPIO de la Raspberry PI. Con Node-red se puede realizar variedad de tareas como el uso de protocolos de red, presentar datos de flujos realizados y agregar plugins como bases de datos.

Los protocolos que soporta esta herramienta son MQTT, Modbus, CoAP, BLE, y otros más que al ser almacenados, lo hacen mediante el formato json siendo favorable para la importación y exportación de estos.

### InfluxDB

InfluxDB es un sistema de almacén de datos de series de tiempo de código abierto, que permite almacenar datos que ya pueden ser de tipo numérico como también de texto[21].

### 1.3.2 Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial se ha expandido rápidamente y es una de las áreas de investigación más destacadas en la actualidad[22], entendiéndose como la capacidad de las máquinas para valerse de

procesos algorítmicos, adquirir resultados como datos e instruirse de ellos, capacidades inmensas de procesamiento, incluyendo un comportamiento adaptativo, como la inclusión de sensores, y otras capacidades, que le permiten tener una cognición y habilidades funcionales similares a las humanas, y de hecho, que mejoran la interacción con los seres humanos[23]. De forma abreviada, se la puede definir como una rama de la informática que se ocupa de tareas que normalmente requieren inteligencia humana[24], siendo así un proceso previo tiene como meta principal es valerse del conocimiento adquirido para tomar decisiones de manera idéntico a la humana. Sin embargo, a diferencia de los humanos, los dispositivos imbuidos de inteligencia artificial no tienen la necesidad de tomarse descansos y pueden analizar grandes cantidades de información a la vez [25].

### **Redes Neuronales**

Una red neuronal artificial es una representación artificial de la estructura del sistema cerebral humano, trata de imitar el proceso de aprendizaje, o en otras palabras, comprender el proceso de aprendizaje a través de la experiencia de procesamiento de información[26].

Una vez entendido sobre la definición de una red neuronal cabe recalcar sobre definiciones específicas como de las redes neuronales profundas que es un término general a redes neuronales multicapa y sobre redes neuronales convolucionales que se refiere a las arquitecturas de redes neuronales diseñadas específicamente para analizar datos de imagen, que generalmente incluyen múltiples capas de capas convolucionales y capas de agrupación[27].

### **Bot de mensajería**

Las plataformas de mensajería instantánea han ido tomando más protagonismo y son considerados como una de las principales tecnologías para la comunicación[28]. Los Bots de mensajería en consideración al tiempo de implementación se puede identificar como útiles para la automatización de comunicación con el usuario[29]. Este método de automatización de comunicación ha enfatizado la necesidad de poder construir rápidamente aplicaciones que los tenga implementado y así admitan el procesamiento de lenguaje natural basado en Inteligencia Artificial[30].

### **1.3.3 Contaminación del aire**

#### **Calidad del aire**

Con el pasar del tiempo se han realizado variedad de monitoreos del aire interior de lugares concurridos, como concentraciones de oficinas de trabajo, laboratorios, etc.[31] y [32]. En donde para conocer o monitorear la calidad del aire se presta atención a las variables o parámetros como

el CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, VOC, PM<sub>10</sub> y TVOC[33]. Cuales son la parte esencial para categorizar la calidad del aire, siendo de vital importancia los avances tecnológicos en las áreas de ingeniería eléctrica y redes inalámbricas, ya que se han desarrollado sensores de calidad del aire de "bajo costo" y se ha ampliado el monitoreo del aire en una dirección más asequible y portátil[34]. Los sensores de bajo costo son dispositivos diseñados para monitorear niveles de partículas (PM) tanto en exteriores como en interiores, probándose la validez de los mismos para realizar todo tipo de evaluación de calidad del aire [35], y existen artículos que evidencian la viabilidad de los sensores de bajo costo para el monitoreo de contaminantes capturando con precisión las diferencias y variaciones en diferentes tipos de exposiciones de los sensores [36]. Es muy importante tener en cuenta que es un método válido la comparación de variaciones y escenarios a donde se expone los sensores que se encargan de medir que tan contaminado está el ambiente, por ejemplo, en el artículo "The Correlation between Indoor and Outdoor Particulate Matter of Different Building Types in Daqing, China" demuestra lo mencionado, ya adelantándonos a un tema más evaluativo[37].

Existe alguna influencia en la calidad del aire de un determinado ambiente con respecto a el desarrollo económico, niveles de ciencia y tecnología, la ubicación y características históricas[38]. Con respecto a las propiedades o variables que se analizan para conocer la calidad del aire, es importante mencionar que de acuerdo a las investigaciones de otros autores realizadas[39], [40], [41] y [42], recalcan cada uno que su estudio se llevó a cabo dependiendo del espacio geográfico o lugar, por ejemplo, como ciudades, oficinas de empresas y hasta habitaciones de hogares, y como dato peculiar no se enfocan en todos los parámetros mencionados sino en algunos específicos según lo que limite su investigación. Es decir, el presente trabajo de igual manera hará uso de aquellos parámetros necesarios para cumplir con el objetivo planteado desde un principio.

### **Causas**

Las causas de la contaminación del aire son variadas, se las puede dividir por consecuencias naturales y por consecuencias de la acción humana. La contaminación natural es aquella que generalmente son ocasionadas por incendios forestales, erupciones volcánicas, tsunamis o terremotos; tienen un porcentaje menor que otro tipo de contaminación, pero contribuye a que el aire tenga una menor calidad, aunque también se tiene en cuenta que estos acontecimientos naturales están en un alza por la contaminación generada por las personas. Entonces se puede argumentar que la mayoría de causas son por consecuencias de la acción humana como por



ejemplo quemas de residuos agrícolas, malezal, basura, motores y el uso de máquinas industriales [43].

La contaminación antropogénica es aquella que se considera como el resultante de las actividades del hombre centrándose en áreas de forma específica como zonas urbanas o industriales, donde son más importantes que las emisiones provenientes de la naturaleza y donde la existencia de sumideros como la vegetación o el suelo son menores. Es importante señalar que las emisiones naturales no son susceptibles de ser controladas por sí mismas, mientras que para toda emisión antropogénica se conceptualiza factible. Muchas causas que se pueden considerar como principales de este tipo de contaminación están relacionadas con la industrialización, las emisiones vehiculares, la producción de energía, los gases provenientes de la ganadería y agricultura; en donde se emplea combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, contribuyendo así al incremento de la contaminación atmosférica y por ende ocasionando que el aire tenga menor calidad[43].

### **Espacio Geográfico**

El espacio geográfico en el presente trabajo de investigación hace referencia al lugar concurrido cual se va a monitorear la calidad del aire, en este caso serán varios sitios que se definen como escenarios de prueba de veracidad del prototipo. Cuales son una Carpintería, un Hogar Sano y una Cámara de Humo.

### **Efectos**

Como se conoce, el aire es un recurso natural importante para nuestra vida, pero lamentablemente, los únicos que causamos una pérdida grave en la calidad del aire somos nosotros mismos debido a la contaminación, y grandes impactos importantes en el medio ambiente y la salud humana, ya que están asociados con padecimientos respiratorios y cardiovasculares, destrucción de la vegetación, acidificación y eutrofización del suelo y el agua, pérdida de cultivos, entre otros efectos adversos[43].

El peligro de la salud de las personas es el efecto principal que se tiene en cuenta con respecto a la contaminación del aire. A medida que nuestra sociedad evoluciona y más fuentes de contaminación están presentes en el medio ambiente, el impacto de la contaminación del aire se vuelve cada vez más elevado. Especialmente en ciertas áreas densamente pobladas que ofrecen una amplia gama de infraestructura, como transporte público, fábricas y otras instalaciones urbanas[44].

## **Parámetros**

### **PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>**

PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> son una combinación de un gran número de diferentes especies químicas emitidas por una serie de fuentes diferentes. La falta de una definición química clara ha dado lugar a muchos problemas en áreas como la medición, la distribución de fuentes y, en última instancia, la causalidad de los efectos sobre la salud propuestos. Estos parámetros surgen como emisiones directas de algunas fuentes, tanto naturales como de actividades humanas, y también como resultado de interacciones de contaminantes en la atmósfera. Las fuentes potenciales de las actividades humanas incluyen las centrales eléctricas de carbón, la industria y el transporte por carretera[45].

### **Ozono (O<sub>3</sub>)**

El ozono (O<sub>3</sub>) es un gas que está ubicado comúnmente en la atmósfera de la capa más baja de la atmósfera. Cada molécula de ozono contiene tres átomos de oxígeno y se producen por alteraciones de químicos y fotoquímicas entre las principales irradiación humanas y naturales de sus precursores, óxidos de nitrógeno (NO), compuestos orgánicos volátiles (COV) o hidrocarburos (HC) que están presentes en la radiación solar, junto con condiciones geográficas, climáticas y meteorológicas que son parte importante en la ocurrencia de estas reacciones[46].

### **Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se produce principalmente en el proceso de combustión de motores, calderas, estufas y sistemas de calefacción domésticos, etc. y también se libera en caso de incendio. El compuesto más importante que afecta esta salud es el NO<sub>2</sub>, que puede surgir principalmente de la oxidación del nitrógeno en la atmósfera durante la combustión, o luego de la oxidación del NO atmosférico, siendo su principal fuente el dióxido de carbono. Se oxida a NO<sub>2</sub> en la atmósfera. Ejerce en la formación de ozono troposférico en entornos urbanos y rurales un papel importante, donde el NO es un precursor de los aerosoles de nitrato de amonio[47].

### **Monóxido de carbono (CO)**

El monóxido de carbono es un gas tóxico que se dispersa fácilmente. Incoloro, no irritante e inodoro, con estas cualidades puede pasar descuidado hasta que provoque síntomas. Es importante tener en cuenta que dependiendo de la concentración del monóxido de carbono este es absuelto, además, también influye el tiempo que se encuentre en el sitio y la cantidad de aire consumido. Después de la aspiración, es difundido de a gran velocidad atravesando las membranas alveolares se difunde rápidamente transversalmente por las membranas alveolares, llegando al torrente

sanguíneo y finalmente dispersarse a los órganos y tejidos. Tiene una fuerte afinidad por la hemoglobina en el plasma superando al oxígeno en una cantidad de 230 veces su tamaño, incluso afectando la mioglobina y los citocromos que están ubicados en los tejidos[48].

### 1.3.4 IoT Methodology

La presente investigación se desarrollará con la implementación de la metodología IoTM o también IoT Methodology cual es una metodología de tipo iterativa creada por Consultancy for Internet of Things team en donde se clasifica de 3 fases principales siendo su ciclo de vida y cada uno contiene 3 sub-fases[49].

#### Brainstorm

- **Co-crear:** Integrantes del proyectos y más interesados se reúnen a discutir los problemas reales que experimentan, definir el dominio del problema y se proponen soluciones creativas mediante una lluvia de ideas haciendo uso de las diferentes tecnologías y recursos disponibles.
- **Idear:** Se comienza a formar nociones en conceptos reales que demuestran a los creadores un medio para deconstruir y describir realmente el potencial y el valor de la idea.
- **Validar:** Medición y comparación de las diferentes formas que se puede avanzar para así asegurar dependiendo de las habilidades, es decir, la aplicabilidad de este. Además, se definen los roles de acuerdo con las habilidades de cada integrante del equipo.

#### Build

- **Arquitectura:** Se elabora una arquitectura apropiada para el proyecto IoT, teniendo en cuenta los riesgos que puedan suceder y las oportunidades para un crecimiento sostenido.
- **Implementar:** Construcción del prototipo cual tiene que ser probado y medido para certificar el funcionamiento y usabilidad.
- **Desplegar:** Lanzamiento de la versión final y también de futuras actualizaciones. Cabe recalcar que este punto no se tomará en cuenta porque se va a realizar un prototipo.

#### Tune

- **Identificar:** Identificación de problemas en el prototipo y posibles problemas que puedan ocurrir en el mismo.
- **Clasificar:** Clasificación de los problemas o fallas de acuerdo con un orden clasificatorio o nivel de riesgo como, por ejemplo: Muy alto, Alto y Bajo.

- **Actuar y ajustar:** De acuerdo con la clasificación de riesgos se actúa en la corrección de estos y ajustes necesarios para prevenir que estos vuelvan aparecer.

## **1.4 Antecedentes Contextuales**

El proyecto de investigación está enfocado en el monitoreo de la calidad del aire de varios lugares concurridos, tomando en cuenta las diferentes variables que contribuyen a la calidad del aire, tales como el material particulado (PM), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>) específicamente en una oficina ubicada en la universidad técnica de Machala, sitio que está comprometido por la circulación de personas, donde además el personal desarrolla sus actividades diarias.

### **1.4.1 Ámbito de aplicación**

Se realizó la recolección y monitoreo de los datos de calidad del aire, es decir, los parámetros PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, Ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y Monóxido de carbono (CO) que están en el ambiente del sitio concurrido, en este caso los escenarios seleccionados para la prueba de veracidad son: Carpintería, Hogar Sano y una Cámara de Humo. Esto se logró mediante el uso de un prototipo modelado y construido por los autores del presente trabajo de titulación utilizando dispositivos informáticos e Internet de las Cosas.

### **1.4.2 Establecimiento de requerimientos**

El monitoreo sobre los niveles de los factores de la calidad del aire otorgado a través de la integración de sensores en un prototipo de internet de las cosas, este monitoreo hace la entrega de datos comprendidos en diferentes factores de los parámetros de la calidad del aire, los cuales serán enviados transversalmente desde el prototipo hacia un Bot. Los datos trasladados de un punto a otro con el objetivo de analizar, para posteriormente emitir sugerencias sobre el mejoramiento ambiental mostrados en una red social.

## CAPITULO II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

### 2.1 Definición del prototipo

El desarrollo del prototipo esta dividido en 3 partes donde se utilizan las tecnologías de Internet de las cosas que nos ayuda con la recolección de los datos mediante los sensores que integre, Inteligencia artificial que mediante una red neuronal se pueda clasificar los datos ya recolectados y desarrollo que mediante un Bot de mensajería logre mostrar de forma visual los datos con más detalles y recomendaciones en base a la calidad del aire. A continuación, se detallan de forma general en la siguiente figura:



Figura 12. Definición del prototipo general

Este prototipo contará con 4 capas, primero de trabajará en tres capas:

**Capa de hardware:** en este aspecto es donde se implementa un dispositivo de internet de las cosas que consta con un módulo de Arduino en conjunto de sensores encargados de la recolección de datos sobre la calidad del aire, su alojamiento y envío.

**Capa de red:** en la capa de red se encuentra la comunicación de todos los dispositivos, donde actúa el servicio de MQTT.

**Capa de servicio:** los datos serán trabajados mediante una red neuronal artificial, cuyo propósito será clasificar el conjunto de datos encontrando el estado de los índices de la calidad del aire.

**Capa de presentación:** por último, la presentación de datos es mediante un Bot de mensajería cuyo objetivo es mostrar visualmente los datos obtenidos por los sensores, además, si existe un índice preocupando sobre la calidad del aire se mostrará sugerencias para mejorar el ambiente del espacio.

## **2.2 Metodología de desarrollo del prototipo**

### **2.2.1 Enfoque, alcance y diseño de investigación**

#### **Enfoque del estudio**

La dirección del enfoque de la investigación perteneciente a este trabajo será cuantitativa ya que se realizará la recopilación de datos a partir de la medición de sensores permitiendo la evaluación de los mismo a través de la implementación de una red neuronal artificial, la cual proveerá recomendación para mejoramiento de la calidad del aire.

#### **Alcance de la investigación**

El alcance de la investigación fue descriptivo, porque se estudiaron características que conlleva a calificar la calidad del aire con algunas variables y todo mediante el uso del prototipo con sus sensores que posteriormente fueron puestos bajo análisis.

#### **Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación será cuasiexperimental, dado que la elección del sujeto de estudio es planeada, se lo selecciona de forma preliminar al inicio de la investigación, en el caso del presente trabajo el sujeto son los diferentes aspectos que se evalúan para medir la calidad de aire en un espacio concurrido.

### **2.2.2 Unidades de análisis**

#### **Población**

La población utilizada en la siguiente investigación será los datos que van a proporcionar los sensores (Material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.0</sub>), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>)) de los lugares concurridos. (cantidad de datos estimado – periodo de tiempo)

#### **Muestra**

No se obtendrá una muestra para el presente trabajo.

### **2.2.3 Técnicas e instrumentos de recopilación de datos**

Las técnicas e instrumentos que serán utilizados en este trabajo son la observación (ver Anexo 2) y el análisis de datos (ver Anexo 3), ejecutándose de forma estratégica en los procesos de pruebas, receptando los datos arrojados por parte del prototipo sensorial, de forma que esos datos serán analizados en base al instrumento pertinente.

### 2.2.4 Técnicas de procesamiento de datos para la obtención de resultados

Luego de realizar la revisión bibliográfica de estudios previamente realizados que guardan relación con la presente investigación, posteriormente se concluyó que el método con mayor conveniencia para procesar los datos es el aprendizaje supervisado dirigido a la red neuronal artificial, en concreto se usara el aprendizaje estocástico basado en la dirección y objetivo del proyecto.

### 2.2.5 Metodología o métodos específicos

Para la actual investigación se empleará la metodología IoTM o también conocida como IoT Methodology, La metodología está constituida por 3 etapas cuyas etapas contienen 3 subetapas que son las siguientes:

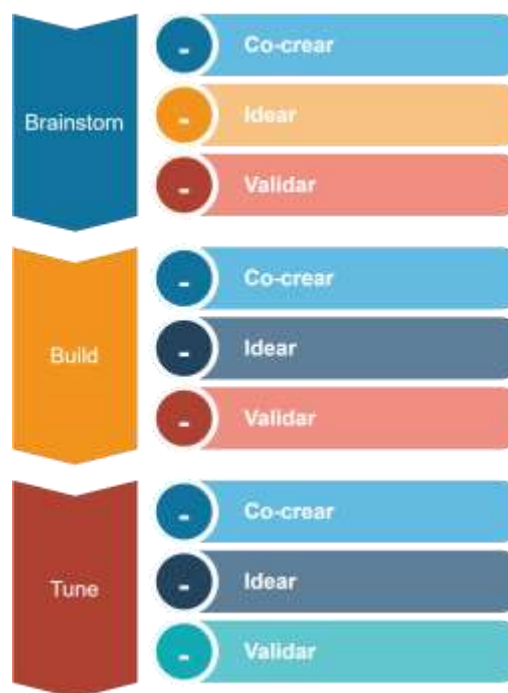


Figura 13. Procesos de la Metodología

### 2.2.6 Herramientas y/o Materiales

Tabla 5. Herramientas y/o materiales

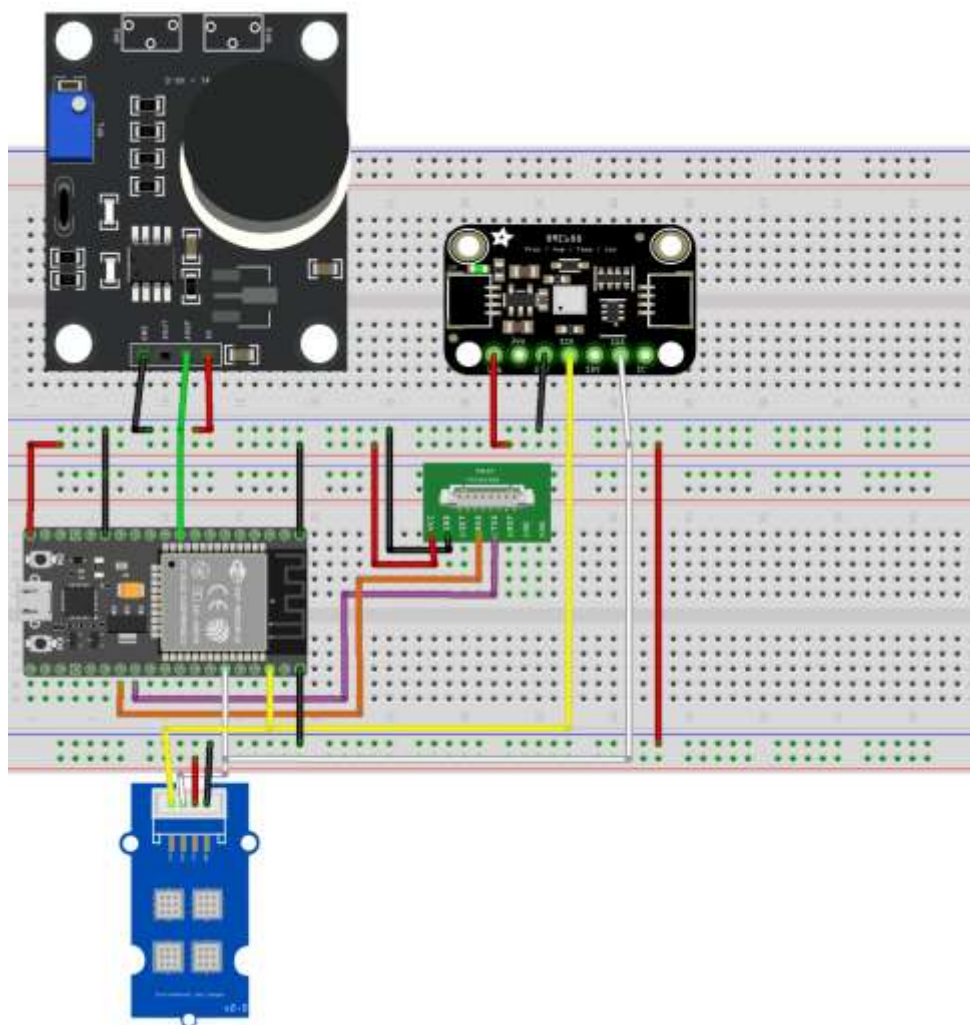
Categoría	Herramientas y/o materiales
Software	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Google Colab</li> <li>• Arduino IDE</li> <li>• Visual Studio Code</li> <li>• KiCad</li> <li>• InfluxDB</li> </ul>
Hardware	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores IoT</li> <li>• Raspberry PI</li> <li>• Esp32</li> </ul>
Lenguajes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Python</li> <li>• C++</li> <li>• JavaScript</li> <li>• InfluxQL</li> </ul>

Categoría	Herramientas y/o materiales
Datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dataset de datos sobre calidad del aire.</li> </ul>
Algoritmos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algoritmos de Clasificación.</li> </ul>

## 2.3 Desarrollo del prototipo

### 2.3.1 Diseño del prototipo

El desarrollo del prototipo que se realizó se divide en tres capas que son capas de hardware, de análisis de datos y de presentación, para lo cual se utilizaron las siguientes metodologías para cada una respectivamente: Metodología IoTM, Metodología IA y Metodología de BotCenter.



**Figura 14.** Diseño del prototipo

En la **Figura 14.** Se muestra de forma gráfica los 4 sensores que serán los encargados de medir las diferentes variables sobre la calidad del aire, con sus respectivas conexiones al módulo de ESP32 DevKitc v4.



## Capa de hardware

### I. Brainstorm

#### Co-crear

Como primer paso, se realizaron ciertas actividades cuyos propósitos fueron idear y validar un caso a ser resuelto a través de la aplicación de las tecnologías previamente mencionadas, dando como resultado un prototipo funcional, justo a ello se establecieron el personal que será involucrado en todo el proceso de construcción. En la **Tabla 6** se mencionan los nombres y sus roles de los responsables del desarrollo.

**Tabla 6.** Responsables del desarrollo del prototipo

Nombre	Rol
Ing. Dixys Hernandez	Supervisor
Alejandro Benavidez Joseph	Desarrollador
Millan Cruz David	Desarrollador

Además, en este paso se determinaron los requisitos funcionales, de igual manera los no funcionales del prototipo por desarrollar. En la **Tabla 7** la lista de los requisitos funcionales y no funcionales.

**Tabla 7.** Requisitos funcionales y no funcionales

Requisitos Funcionales	Requisitos no funcionales
Instanciar Node-red, InfluxDB y Grafana en un entorno local	Definir los dispositivos IoT y sensores que se utilizan.
Establecer los roles de cada dispositivo, como el Gateway.	Presentar el estado y recomendación sobre los datos obtenidos de la calidad del aire al usuario.
Configurar los dispositivos como sensores con sus respectivas librerías	
Realizar la clasificación mediante la red neuronal.	
Enviar notificaciones a través del Bot de mensajería.	

#### Idear

En este paso se desarrolló un boceto del prototipo de forma gráfica, dando como resultado la definición de implementación de un dispositivo IoT en un espacio concurrido, este dispositivo está conformado por 4 sensores encargados de medir aspectos de aire, se tomaron en cuenta los sensores BME688, MQ131, PMS5003 y Grove - Multichannel Gas Sensor. El conjunto de sensores estará integrado únicamente en un dispositivo, los datos recolectados por los sensores serán transferidos hacia un dispositivo Gateway previamente configurado, quien será ubicado en la ciudad de Machala, por consiguiente, los datos serán dirigidos hacia Node-Red, quien se encargará de realizar el proceso dirigiéndose a la capa de análisis de datos.

## Validar

En este paso se realizó la validación a través de reuniones en conjunto con los encargados del trabajo de investigación, estando presentes el supervisor y los desarrolladores, se presentaron los bocetos elaborados del prototipo en la etapa actual, obteniendo el aprobado del boceto dando fin a esta etapa de la metodología.

## II. Build

### Arquitectura

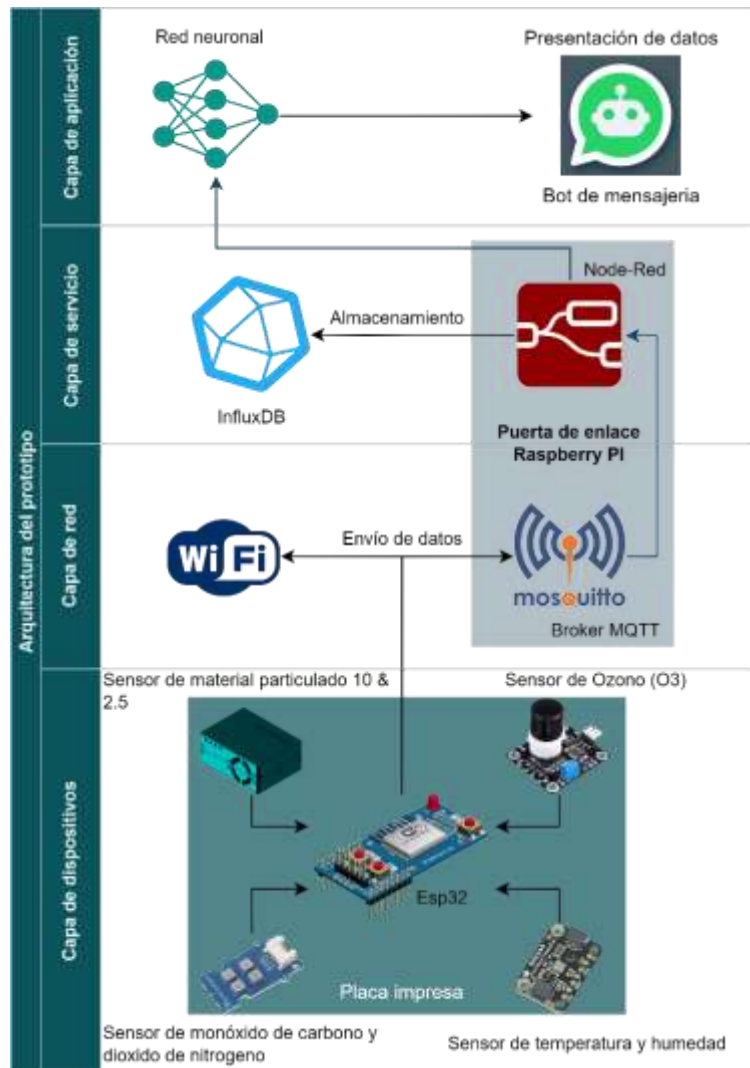


Figura 15. Arquitectura del proyecto

## Implementar

### PlatoformIO IDE

Para la programación del esp32 devkitc v4 y calibración de los sensores, se utilizó el software Platformio integrado en Visual Studio Code, dada la integración de Espressif IDF junto a su placa de programación Esp32, para ello, se necesitó realizar la instalación a través del administrador de

extensiones en VS Code. Se selecciono este software debido a su gran capacidad de depuración y facilidad de uso.

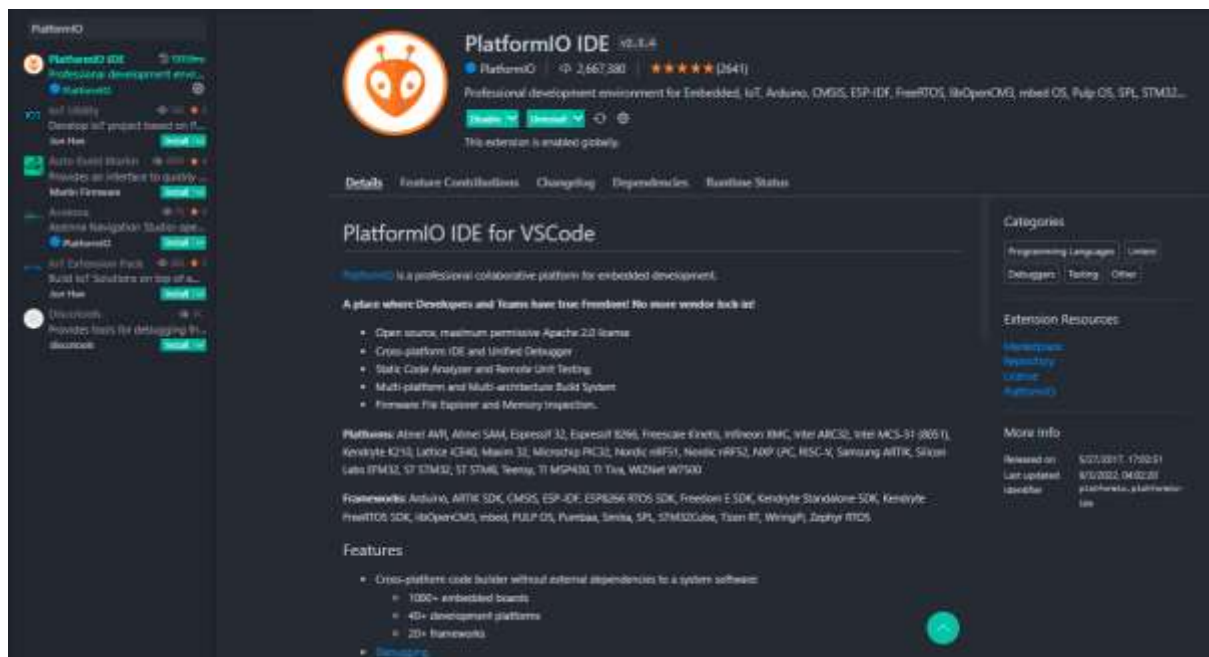


Figura 16. PlataformIO IDE

En la Figura 16. Se muestra dentro del editor de texto Visual Studio Code la herramienta de programación PlataformIO IDE, encontrada en el administrador de extensiones.

## Desplegar

En la subfase de despliegado, se construyeron los aspectos que permiten la recolección de datos, donde los actores principales son los sensores, su programación, desarrollo del back-end en el Gateway Node-red y configuración del almacenamiento de los datos, permitiendo toda la comunicación en un solo conjunto.

## Programación de sensores

Como punto de partida de la programación de los sensores, se revisaron los Datasheets pertinentes de cada sensor, obteniendo información acerca de sus voltajes de entra, salida de datos, etc. Además, se utilizaron librerías alojadas en GitHub, facilitando ciertos aspectos al momento de calibrar los sensores y procesar sus datos.

## Programación del sensor PMS5003

Para la programación y recolección del material particulado 10 y 2.5 a través del sensor PMS5003 se utilizó una librería que permite recolectar los datos de forma rápida, la librería esta nombrada como PMSerial, se encuentra disponible su codificación en el repositorio de GitHub:

<https://github.com/avaldebe/PMserial.git>. Para la integración de esta librería se utilizó el administrador de librerías ofrecido por PlatformIO IDE.

En la **Figura 17**. Se evidencia la codificación realizada para el sensor PMS5003.

```
1 void getDataPmsSensor()
2 {
3   pms.read(); // Lectura del sensor
4
5   if (pms)
6   { // Lectura realizada
7     Serial.print(F("PM2.5 "));
8     Serial.print(pms.pm25);
9     Serial.print(F(", "));
10    Serial.print(F("PM10 "));
11    Serial.print(pms.pm10);
12    Serial.print(F(" [ug/m3] "));
13  }
14  else
15  { // Mensajes de error
16    switch (pms.status)
17    {
18      case pms.OK:
19        break;
20      case pms.ERROR_TIMEOUT:
21        Serial.println(F(PMS_ERROR_TIMEOUT));
22        break;
23      case pms.ERROR_MSG_UNKNOWN:
24        Serial.println(F(PMS_ERROR_MSG_UNKNOWN));
25        break;
26      case pms.ERROR_MSG_HEADER:
27        Serial.println(F(PMS_ERROR_MSG_HEADER));
28        break;
29      case pms.ERROR_MSG_BODY:
30        Serial.println(F(PMS_ERROR_MSG_BODY));
31        break;
32      case pms.ERROR_MSG_START:
33        Serial.println(F(PMS_ERROR_MSG_START));
34        break;
35      case pms.ERROR_MSG_LENGTH:
36        Serial.println(F(PMS_ERROR_MSG_LENGTH));
37        break;
38      case pms.ERROR_MSG_CKSUM:
39        Serial.println(F(PMS_ERROR_MSG_CKSUM));
40        break;
41      case pms.ERROR_PMS_TYPE:
42        Serial.println(F(PMS_ERROR_PMS_TYPE));
43        break;
44    }
45  }
46 }
```

Figura 17. Código del sensor PMS5003 para captura de datos.

### Programación del sensor Grove – Multichannel Gas Sensor V2

Para la programación y recolección de Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) utilizando el sensor Grove – Multichannel Gas Sensor V2, se integró la librería Seed Arduino MultiGas que permite recolectar los datos de forma rápida, se encuentra disponible su codificación en el repositorio de GitHub: [https://github.com/Seed-Studio/Seed\\_Arduino\\_MultiGas.git](https://github.com/Seed-Studio/Seed_Arduino_MultiGas.git). Para la integración de esta librería se utilizó el administrador de librerías ofrecido por PlatformIO IDE.

En la **Figura 18**. Se evidencia la codificación realizada para el sensor Grove – Multichannel Gas Sensor V2.

```
1 void getDataGroveMultichannelSensor()
2 {
3     uint8_t len = 0;
4     uint8_t addr = 0;
5     uint8_t i;
6     uint32_t val = 0;
7
8     val = gas.measure_NO2();
9     Serial.print("NO2: ");
10    Serial.print(gas.calcVol(val));
11    Serial.print(" ");
12    val = gas.measure_CO();
13    Serial.print("CO: ");
14    Serial.print(gas.calcVol(val));
15    Serial.println(" | ");
16 }
```

Figura 18. Código del sensor Grove - Multichannel Gas Sensor V2 para captura de datos.

### Programación del sensor MQ131

Para la programación y recolección de Ozono utilizando el sensor MQ131, se integró la librería MQ131 gas sensor que permite recolectar los datos de forma rápida, se encuentra disponible su codificación en el repositorio de GitHub: <https://github.com/ostaquet/Arduino-MQ131-driver> Para la integración de esta librería se utilizó el administrador de librerías ofrecido por PlatformIO IDE.

En la **Figura 19**. Se evidencia la codificación realizada para el sensor MQ131.

```
1 MQ131.begin(2, AOUT, LOW_CONCENTRATION, 680000);
2 MQ131.setR0(364740.87);
3 MQ131.setTimeToRead(1);
4
5 Serial.println("Calibration parameters");
6 Serial.print("R0 = ");
7 Serial.print(MQ131.getR0());
8 Serial.println(" Ohms");
9 Serial.print("Time to heat = ");
10 Serial.print(MQ131.getTimeToRead());
11 Serial.println(" s");
```

Figura 19. Código del sensor MQ131 para captura de datos.

### Programación del sensor BME688

Para la programación y recolección de Ozono utilizando el sensor BME688, se integró la librería Adafruit\_BME680 que permite recolectar los datos de forma rápida, se encuentra disponible su codificación en el repositorio de GitHub: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_BME680](https://github.com/adafruit/Adafruit_BME680). Para la integración de esta librería se utilizó el administrador de librerías ofrecido por PlatformIO IDE.

En la **Figura 20**. Se evidencia la codificación realizada para el sensor Adafruit\_BME680.

```
1  if (!bme.performReading())
2  {
3      Serial.println("Failed to perform reading :(");
4  }
5  else
6  {
7      Serial.print("Temp: ");
8      Serial.print(bme.temperature);
9      doc["TEMP"] = bme.temperature;
10     Serial.print(F(" "));
11     Serial.print("Hum: ");
12     Serial.print(bme.humidity);
13     doc["HUM"] = bme.humidity;
14     Serial.print(F(" "));
15 }
```

**Figura 20.** Código del sensor BME688 para captura de datos.

## Comunicación MQTT

Para la implementación de la comunicación entre el prototipo con el Gateway se aplicó el protocolo de comunicación MQTT, para la integración del protocolo se utilizó la librería PubSubClien, se encuentra disponible su codificación en el repositorio de GitHub: <https://github.com/knolleary/pubsubclient>. Para la integración de esta librería se utilizó el administrador de librerías ofrecido por PlatformIO IDE. En la **Figura 21**. Se evidencia la codificación realizada para la integración del protocolo.

```
1  while (!client.connected())
2  {
3      Serial.print("Time: ");
4      Serial.print(ctime(&now));
5      Serial.println("MQTT connecting");
6      if (client.connect(HOSTNAME, MQTT_USER, MQTT_PASS))
7      {
8          Serial.println("Connected");
9      }
10     else
11     {
12         Serial.print("failed to connect, status: ");
13         Serial.println(client.state());
14         Serial.println("Wait 5 seconds, We try to reconnect");
15         delay(2000);
16     }
17 }
```

**Figura 21.** Codificación del protocolo de comunicación.

## Configuración de Node-red

Luego de realizar la comunicación del ESP32 con el Broker MQTT y tener transmisión de datos, se construyó el siguiente flujo:

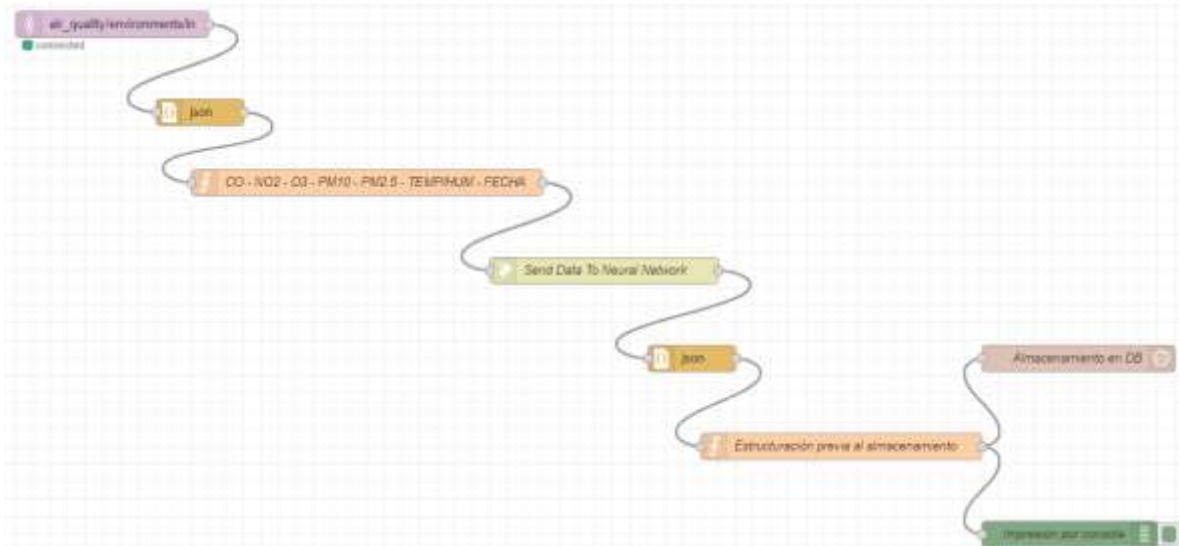


Figura 22. Configuración del flujo en Node-Red

Función de los nodos del flujo:

- **Nodo MQTT In:** Este nodo cumple la función de recibir los datos de Ozono (O3), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO2), Material particulado 10 y 2.3, Temperatura y Humedad de la suscripción en el Broker Mosquito MQTT a través del tipo `air_quality/environments`.
- **Nodo JSON:** Este nodo procesa la información recibida convirtiéndola en formato json de los datos recolectados por los sensores.
- **Nodo Function:** El funcionamiento de este nodo consiste en procesar la estructura, de tal forma que estén listos para ser almacenados en la base de datos.
- **Nodo InfluxDB out:** Este nodo es el encargado de realizar la comunicación con InfluxDB, contenedora de la base de datos `db_air_quality`, enviando los datos proveídos por el nodo Function.

## Configuración en InfluxDB

Una vez instalado Influxdb, se procedió a crear la base de datos nombrada como `db_air_quality` ejecutando la siguiente consulta: `create database db_air_quality`. Posteriormente, se estableció un usuario y contraseña como método de seguridad de acceso. Finalmente, el almacenamiento de datos es automático debido a que se crean los registros automáticamente al ser enviados desde node-red, almacenando todos los elementos medidos por parte de los sensores tomando la siguiente estructura:

```
1 {
2     "PM10": "Dato medido",
3     "PM2_5": "Dato medido",
4     "NO2": "Dato medido",
5     "CO": "Dato medido",
6     "TEMP": "Dato medido",
7     "HUM": "Dato medido"
8 }
```

Figura 23. Estructura de almacenamiento de datos en InfluxDB

### Configuración en Grafana

Posterior a la instalación de Grafana, y su debida configuración, donde se realizó la conexión con InfluxDB justo a la base de datos contenedora de los datos recolectados por los sensores. En la Figura 24. Se muestran los diferentes paneles contenedores de los datos como lo son la temperatura, humedad, material particulado, entre otros.



Figura 24. Dashboard en Grafana

Para poder mostrar los datos en cada panel de Grafana se pusieron en marcha una serie de consultas InfluxDB, usando como visualización los gauges. A continuación, las consultas realizadas para Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno y Ozono se las encuentra en la Figura 25.

```
> A (InfluxDB) SELECT mean("CO") as "Monóxido de Carbono" FROM "air" WHERE $timeFilter GROUP BY time($__interval) fill(null)
> B (InfluxDB) SELECT mean("NO2") as "Dióxido de Nitrógeno" FROM "air" WHERE $timeFilter GROUP BY time($__interval) fill(null)
> C (InfluxDB) SELECT mean("O3") as "Ozono" FROM "air" WHERE $timeFilter GROUP BY time($__interval) fill(null)
```

Figura 25. Consultas para obtención de datos



## **Metodología CRISP-DM**

### **Comprensión del negocio**

El objetivo del desarrollo de un Bot de mensajería para implementarlo en la red social WhatsApp, en el cual el usuario recibe un mensaje en cada determinado tiempo, información correspondiente al tema que es sobre la calidad del aire del lugar concurrido en que se encuentre. Cabe recalcar que el monitoreo se lo ejecutó en varios lugares concurridos para de esa manera entrenar la red neuronal de clasificación y predecir de forma más efectiva los futuros monitoreos.

### **Contexto**

Se posee una base de datos realizada por otros autores sobre la calidad del aire en un proyecto pasado. Esta información se encuentra en un documento de Excel xlsx cual se tuvo que borrar información con campos vacíos y hacer unas operaciones necesarias para de esa manera desarrollar la red neuronal.

### **Objetivos del negocio**

Los objetivos del negocio fueron el conocimiento de en qué estado se encuentra la calidad del aire y de acuerdo con ese estado se da una posible solución para que mejore la calidad de este. En este trabajo se definieron los siguientes objetivos:

- Conocer el estado de la calidad del aire cada determinado tiempo.
- Proporcionar una posible solución para que mejore la calidad del aire en caso de que su estado no esté en buenas condiciones.

### **Criterios de éxitos del negocio**

El criterio de éxito se estableció de acuerdo con la clasificación de los datos que obtenga del prototipo construido mediante sensores, cual recolectó los valores de cada parámetro que sirven para conocer la calidad del aire. Es decir, la capacidad de clasificar en qué estado de calidad se encuentra el aire.

### **Estudios y comprensión de los datos**

En este punto se ejecutó la recolección inicial de los datos para de esa manera lograr familiarizarse con los mismos y así conocer su calidad, los datos que se escogerán en este paso son de acuerdo con los parámetros de calidad del aire que se analizaron o midieron en los lugares concurridos mencionados en el presente trabajo de titulación.

En este caso se hizo la investigación de un dataset ya realizado en otro proyecto similar cual se encontró una con diversidad de parámetros y datos vacíos donde se ejecutó la limpieza del mismo y aparte se añadió una columna más para la red neuronal de clasificación que ayuda a obtener el resultado que se requiere siendo de la siguiente manera:

**Tabla 8.** Clasificación de los parámetros

O3 8h ppm	PM <sub>10</sub> 24h ug/m <sup>3</sup>	PM <sub>2.5</sub> 24h ug/m <sup>3</sup>	CO 8h ppm	NO <sub>2</sub> 1h ppm	COLOR	CLASIFICACIÓN	ICA
0.000 0.059	0 54	0 12	0 4.4	0 0.053	VERDE	BUENA	0 – 50
0.060 0.075	55 154	12.1 35.4	4.5 9.4	0.054 0.100	AMARILLO	MODERADA	51 – 100
0.076 0.095	155 254	35.5 55.4	9.5 12.4	0.101 0.360	NARANJA	DAÑINA A LA SALUD PARA GRUPO SENSIBLES	101 – 150
0.096 0.115	255 354	55.5 150.4	12.5 15.4	0.361 0.649	ROJO	DAÑINA A LA SALUD	151 – 200
0.116 0.374	355 424	150.5 250.4	15.5 30.4	0.650 1.249	PÚRPURA	MUY DAÑINA A LA SALUD	201 – 300
-	425 504	250.5 350.4	30.5 40.4	1.250 1.649	MARRÓN	PELIGROSA	301 – 400
-	505 604	350.5 500.4	40.5 50.4	1.650 2.049	GRIS	FATAL	401 - 500

### Preparación de los datos

En esta fase se seleccionaron los datos que se obtuvieron en la fase anterior de tal manera que sean relevantes para dar respuesta a las solicitudes de información. Entonces se realizó teniendo en cuenta el modelado de la siguiente fase. De dicho modelo se lo reconoce como predictivo cual es entrenado con datos de entrenamiento de acuerdo con los parámetros correspondientes del presente trabajo cuales fueron los del dataset y así luego así poder medir la capacidad del modelo midiendo los datos nuevos.

Cabe recalcar que se tuvieron que crear nuevos campos en el dataset y mediante fórmulas insertar sus datos utilizando los datos del original dataset y así lograr obtener los datos necesarios para el desarrollo de la red neuronal.

## Modelado

El modelado utilizado consta de algoritmos de regresión y clasificación para el aprendizaje supervisado o también definidos como predicción y mediante métricas evalúa el rendimiento del modelo. Este modelo se lo entrena en una etapa inicial con una dataset que es designada como datos de pruebas para de esa manera luego medir la capacidad del modelo y generalizar los nuevos datos, tal como se ejemplifica en la **Figura 26**.

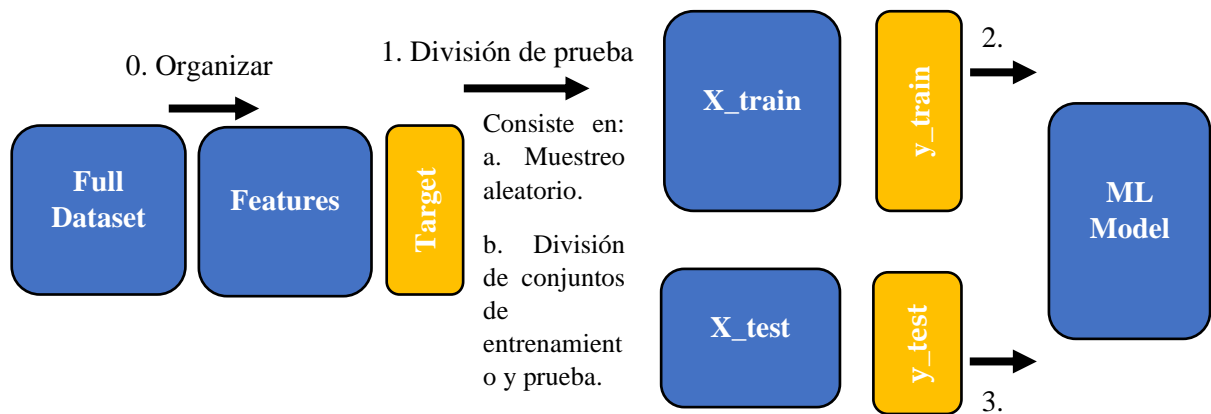


Figura 26. Modelo predictivo

## Construcción del Bot de mensajería

Con respecto a la construcción del bot de mensajería, se desarrolló mediante librerías de Python que ayudan a la publicación de lo que se necesite hacer saber con diferentes redes sociales y en este caso se escogió WhatsApp. Twilio es la biblioteca mencionada y cuenta con características útiles para la construcción del Bot de mensajería automático en WhatsApp, lo que se requiere además es fácil de usar sin requisitos de ninguna configuración adicional.

### 2.4 Ejecución del prototipo

Para la ejecución del prototipo, este se construyó en la ciudad de Arenillas, aunque al momento de monitorear los diferentes datos se tuvo que movilizar el prototipo en cada uno de los escenarios manifestados en el presente documento. En los siguientes puntos se detalla el proceso.

### Instanciado de Node-Red, InfluxDB y Grafana

Construcción de una API que comunique con InfluxDB donde van a ir almacenados los datos mientras que Grafana se encarga de mostrar por pantalla de forma gráfica los datos.

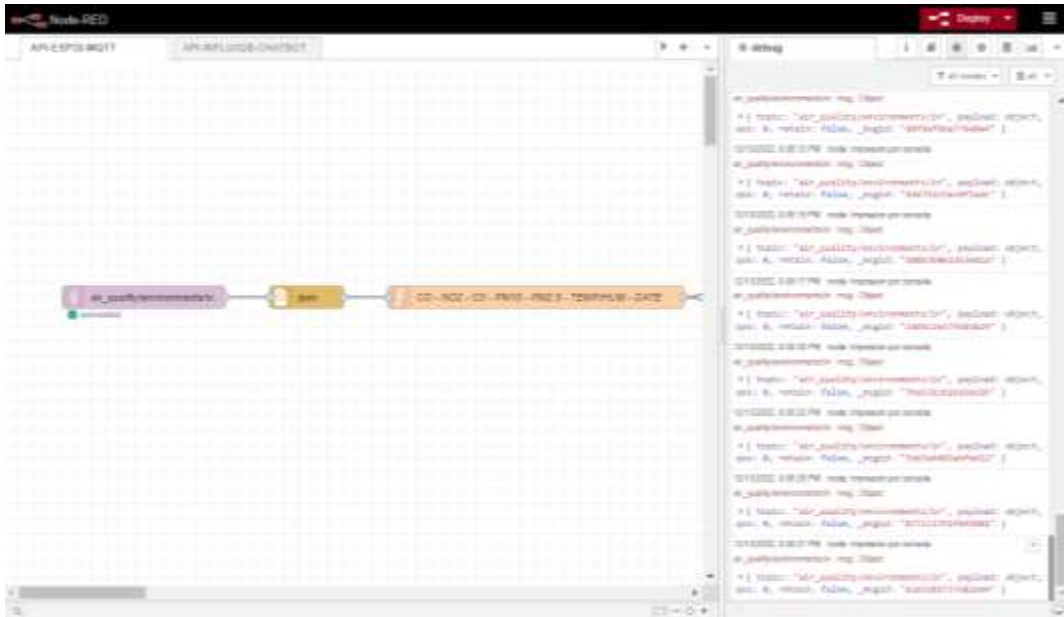


Figura 27. Instanciado de Node-red

### Establecimiento de roles de cada dispositivo

En el diseño del prototipo se establece la función de cada dispositivo como lo es el Gateway cual se encarga de recibir los datos y se envía al Node-Red.



Figura 28. Gateway

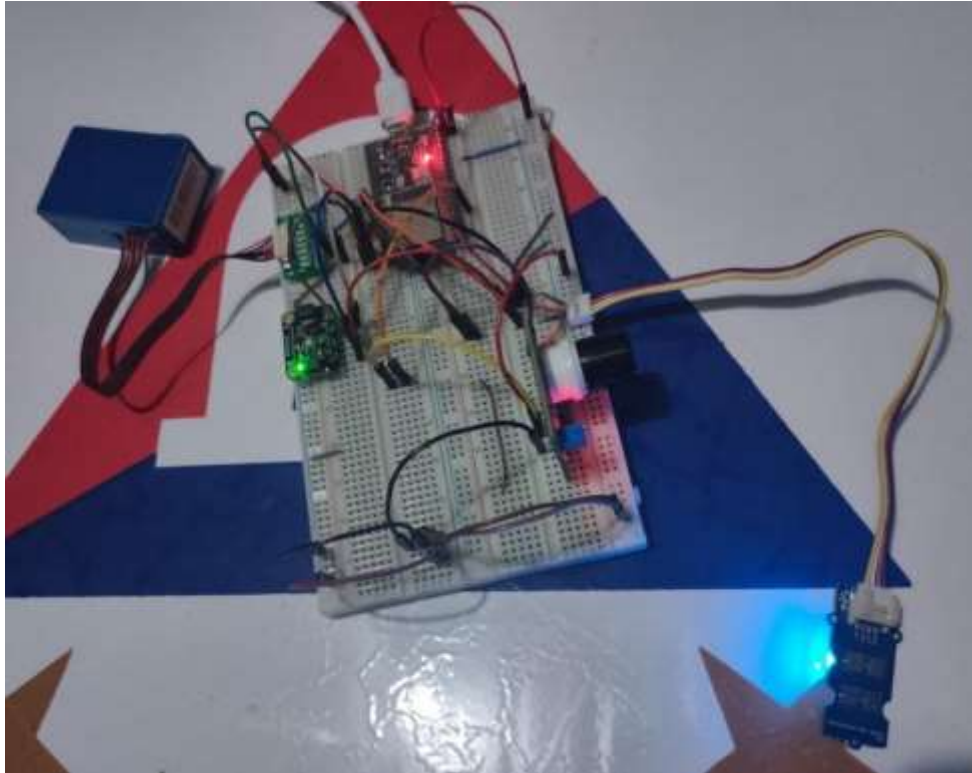


Figura 29. Prototipo

### Comunicación entre los dispositivos del prototipo

Instanciado del API en Node-Red que se encarga de la conexión entre prototipo, Gateway y almacenamiento.

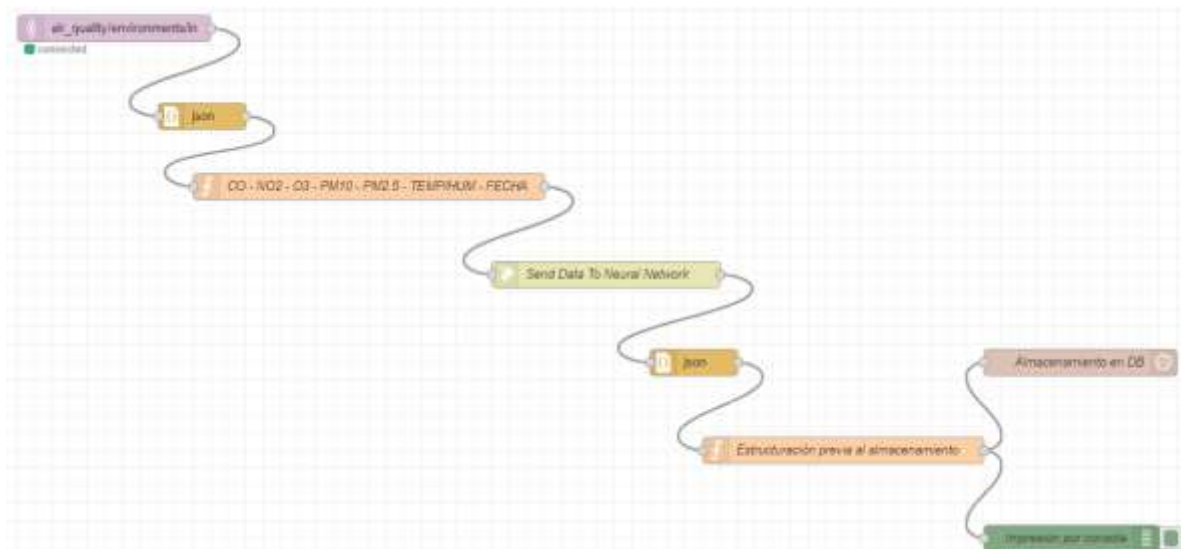


Figura 30. Comunicación entre el bróker MQTT, ESP32 y almacenamiento en InfluxDB

### Emisión de información

Información sobre el estado del aire a través de una red social.



Figura 31. Emisión de información del estado del aire.

## CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

### 3.1 Plan de evaluación

**Objetivo:** Realizar la validación de los datos medidos de nuestro prototipo mediante la comparación con dispositivos calibrados o patrones para la comprobación de la hipótesis planteada en el trabajo de integración curricular.

#### 3.1.1 Planificación de las pruebas

A continuación, en la **Tabla 9** se declaran los tipos de prueba, su objetivo y los resultados esperados por cada prueba:

Tabla 9. Planificación de pruebas

No.	Tipo de prueba	Objetivo de la prueba	Resultados Esperados
1	Veracidad del prototipo por exposición	Exponer el prototipo a diferentes escenarios verificando las variaciones en los diferentes campos.	Imágenes donde se compruebe los cambios por escenario de las mediciones de los sensores en los diferentes casos.
2	Latencia	Medir la latencia total del prototipo.	Resultados de latencia desde la recolección de datos hasta la clasificación.
3	Clasificación de la calidad del aire	Comprobar que la clasificación de los datos satisfaga lo requerido.	Someter el modelo entrenado a pruebas con la matriz de confusión evidenciando los porcentajes de satisfacción.

#### 3.1.2 Diagrama o estructura de los escenarios

##### Prueba 1 – Veracidad de datos medidos

##### Escenario 1 – Carpintería

En la primera prueba del escenario 1, nuestro prototipo será expuesto a una carpintería donde se encarga de recolectar los diferentes datos que son afectados por el tratamiento realizado a la madera por los trabajadores. La exposición será realizada entre un intervalo de 5 – 10 minutos, con 5 minutos de espera a que los sensores arranquen sin complicaciones.

##### Escenario 2 – Hogar Sano

En esta segunda prueba, en un hogar sin exposición a contaminación, se colocará el prototipo en la sala para la recolección de datos, esperando que los datos sean estables, al igual que la primera prueba la exposición será realizada entre un intervalo de 5 – 10 minutos, con 5 minutos de espera a que los sensores arranquen sin complicaciones.

### Escenario 3 – Cámara de Humo

En la tercera prueba, se expondrá el prototipo con los sensores integrados a un espacio cuyo propósito es contener el resultado de la combustión de ciertos materiales, con ello, se notarán los cambios de las diferentes variables de la calidad del aire, la exposición será realizada entre un intervalo de 5 – 10 minutos, con 5 minutos de espera a que los sensores arranquen sin complicaciones.

### Prueba 2 – Latencia

En el segundo escenario que comprende a la latencia o tiempo de respuesta de la captura, transporte y recepción de datos del prototipo. Para la adquisición de los datos de respuesta se establecieron varios intervalos que determinarán una latencia total. Los intervalos establecidos son los siguientes:

- **Encendido del dispositivo – Obtención de datos**

Iniciando desde el encendido del prototipo cuyo propósito es tomar el tiempo desde que se abastece con electricidad hasta cuando realiza las primeras mediciones sobre el estado actual del aire.

- **Envío de datos – Clasificación**

En este intervalo se mide el tiempo que se transcurre desde que realiza la primera obtención de datos hacia el bróker mosquitto y luego hacia la red neuronal donde realiza la clasificación obteniendo una respuesta.

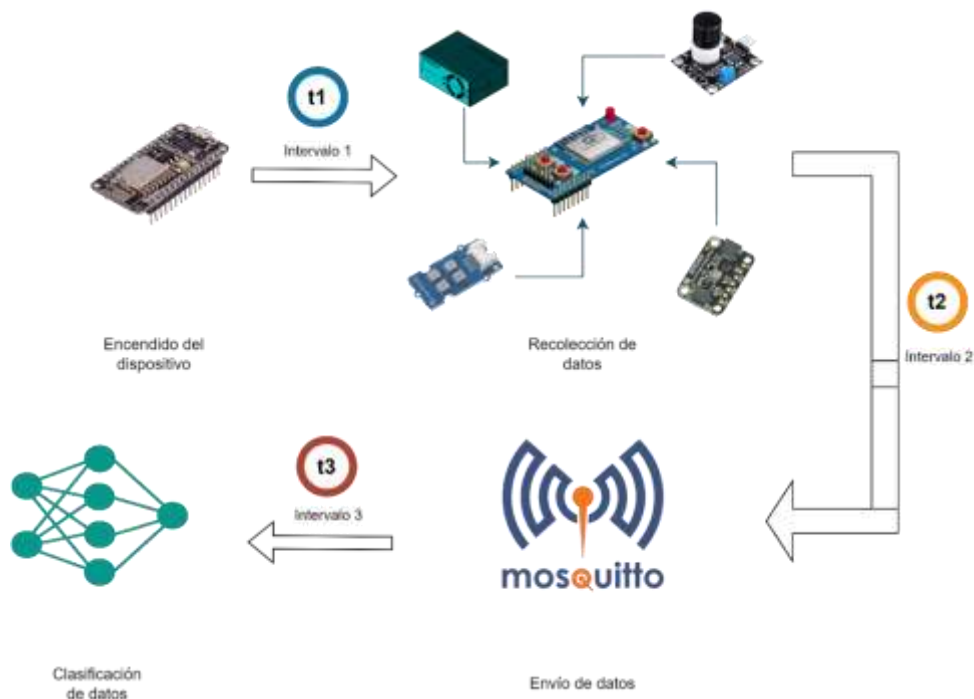


Figura 32. Intervalos de tiempo del segundo escenario.



### Prueba 3 – Clasificación de la calidad del aire

En este escenario se va a evaluar la red neuronal mediante una matriz de confusión, se va a obtener resultados sobre la precisión, exactitud, especificidad y sensibilidad de los datos con que fue entrenada la red neuronal, siendo estos las métricas de eficiencia de la red junto con su capacidad de predicción para clasificar datos futuros.

### 3.2 Resultados de la evaluación

#### Prueba 1

Se realizaron las debidas pruebas exponiendo el prototipo a los escenarios descritos en el punto 1.9.2., los datos provenientes de los sensores expuestos en una totalidad de 10 minutos a cada escenario fueron promediados y analizados posteriormente. En la **Tabla 10** se evidencian los resultados del promedio de cada variable seccionado por escenario.

**Tabla 10.** Promedio de variables por escenario.

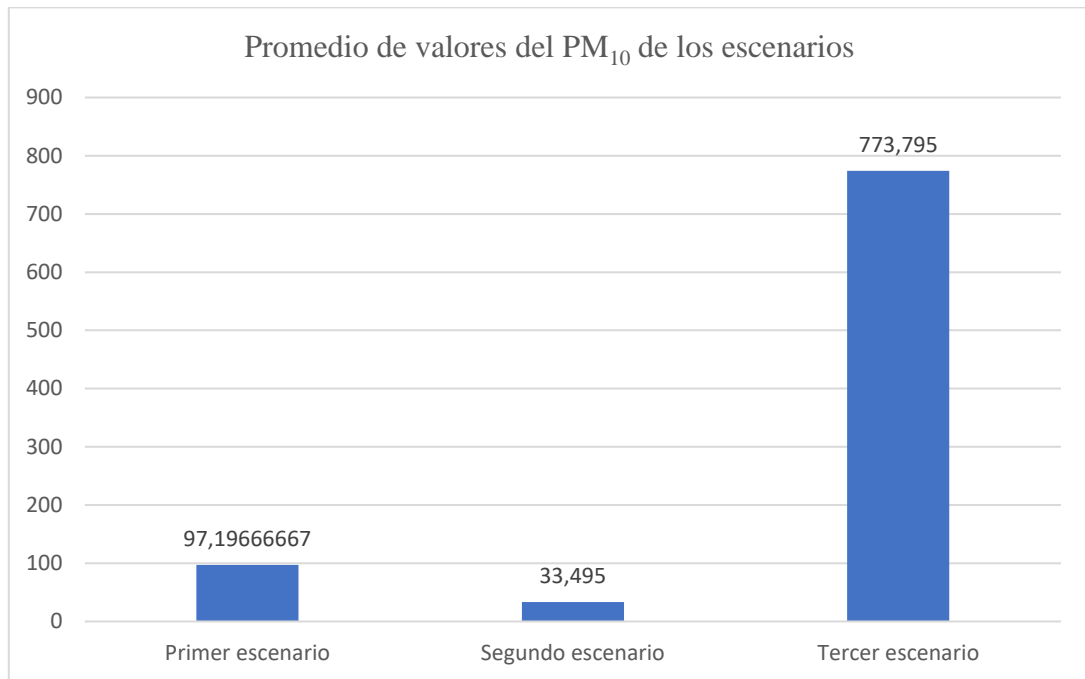
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
Escenario 1	97,1967	83,14478	0,246763	1,574731	6,891750x10 <sup>-06</sup>	31,403029	62,896089
Escenario 2	33,495	31,23064	0,296108	1,349016	7,884027x10 <sup>-06</sup>	31,462762	59,907018
Escenario 3	773,795	556,7491	0,525360	1,471430	3,241826x10 <sup>-02</sup>	30,322983	69,880668

#### Material Particulado (PM<sub>10</sub>)

**Tabla 11.** Datos estadísticos del Material Particulado (PM<sub>10</sub>) de los escenarios.

Primer escenario		Segundo escenario		Tercer escenario	
Mean	97,19666667	Mean	33,495	Mean	773,795
Standard Error	0,608430208	Standard Error	1,641424088	Standard Error	72,05497386
Median	96,83333333	Median	33,16666667	Median	619,5
Mode	90	Mode	38	Mode	212,5
Standard Deviation	6,084302077	Standard Deviation	16,41424088	Standard Deviation	720,5497386
Sample Variance	37,01873176	Sample Variance	269,4273036	Sample Variance	519191,9258
Kurtosis	2,783369926	Kurtosis	-0,29206444	Kurtosis	5,977242569
Skewness	1,190922818	Skewness	0,074600295	Skewness	2,44991102
Range	38,66666667	Range	67	Range	3289
Minimum	83,33333333	Minimum	3	Minimum	191
Maximum	122	Maximum	70	Maximum	3480
Sum	9719,666667	Sum	3349,5	Sum	77379,5
Count	100	Count	100	Count	100

## Promedio de los datos



**Figura 33.** Promedio del Material Particulado (PM<sub>10</sub>) de los escenarios.

## Análisis

Luego de realizar la recolección de datos a través del sensor PMS5003 expuesto a cada escenario por 10 minutos, se obtuvieron 100 datos por escenario. Se obtuvieron datos estadísticos los cuales demuestran que, en el primer escenario se notó que los datos tienen muy poca dispersión entre sí debido a que el valor de su curtosis es de 2,783369926 y no hubo variaciones en el estado de aire, sino que se mantuvo, en el segundo escenario se notó una dispersión más alta en los datos obtenidos debido a que el valor de su curtosis es de -0,29206444 y al momento de tomar las medidas hubo factores como: levantamiento de polvo, personas caminando. Finalmente, en el tercer escenario tampoco se observó una dispersión alta de los datos, dando como resultado el valor de su curtosis de 5,977242569.

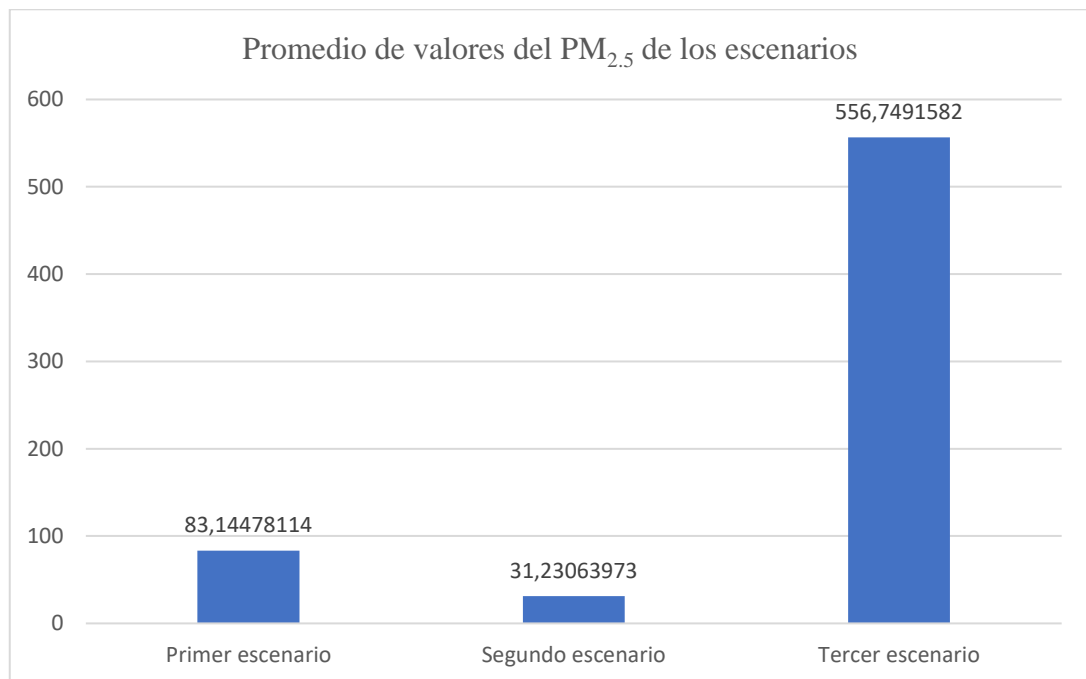
En comparación, en el primer escenario se obtuvo un promedio de 97,19 mg/m<sup>3</sup> debido a que en el aire se encontraba contaminado por las actividades que se desarrollan en la carpintería, en el segundo escenario se obtuvo un 33,49 mg/m<sup>3</sup> dado que el ambiente no estaba comprometido por alguna actividad que genere o altere el material particulado, por último, el tercer escenario se percibió el promedio más alto en relación a los primeros escenarios siendo de 773,79 mg/m<sup>3</sup> por causa del volumen de las partículas encontradas en el humo inyectado a la cámara de humo. Sin embargo, en el tercer escenario se obtuvo una estabilidad más alta en relación con los dos primeros escenarios, siendo el segundo escenario en tener la mayor variación entre los datos recolectados durante los 10 minutos.

## Material Particulado (PM<sub>2.5</sub>)

**Tabla 12.** Datos estadísticos del Material Particulado (PM<sub>2.5</sub>) de los escenarios.

<i>Primer escenario</i>		<i>Segundo escenario</i>		<i>Tercer escenario</i>	
Mean	83,35833333	Mean	31,49833333	Mean	571,1116667
Standard Error	0,663013454	Standard Error	1,473687083	Standard Error	42,64819821
Median	82,5	Median	31,33333333	Median	506,5
Mode	75	Mode	3	Mode	183,5
Standard Deviation	6,630134543	Standard Deviation	14,73687083	Standard Deviation	426,4819821
Sample Variance	43,95868406	Sample Variance	217,175362	Sample Variance	181886,8811
Kurtosis	0,584666734	Kurtosis	-0,583626281	Kurtosis	3,758555269
Skewness	0,801087599	Skewness	-0,307900634	Skewness	1,924583834
Range	34,83333333	Range	55	Range	1824,5
Minimum	69,66666667	Minimum	3	Minimum	168,5
Maximum	104,5	Maximum	58	Maximum	1993
Sum	8335,833333	Sum	3149,833333	Sum	57111,16667
Count	100	Count	100	Count	100

### Promedio de los datos



**Figura 34.** Promedio del Material Particulado (PM<sub>2.5</sub>) de los escenarios.

### Análisis

Una vez calculado el promedio de todos los datos recolectados al exponer el sensor PMS5003 en cada uno de los escenarios en un lapso de 10 minutos, obteniendo 100 datos por cada escenario. Los datos estadísticos demuestran que el primer escenario cuenta con poca dispersión de los datos entre sí ya que el valor de su curtosis es de 0,584666734 y existió poca variabilidad en los estados obtenidos del aire, en el segundo escenario si existió más variabilidad en los datos ya que el valor de su curtosis es de -0,583626281 y por factores como: levantamiento de polvo y personas

caminando. Finalmente, en el tercer escenario la dispersión de los datos es muy poco considerable ya que el valor de su curtosis es de 3,758555269 y en este escenario el humo hizo que el sensor pueda obtener muchos datos con gran variabilidad.

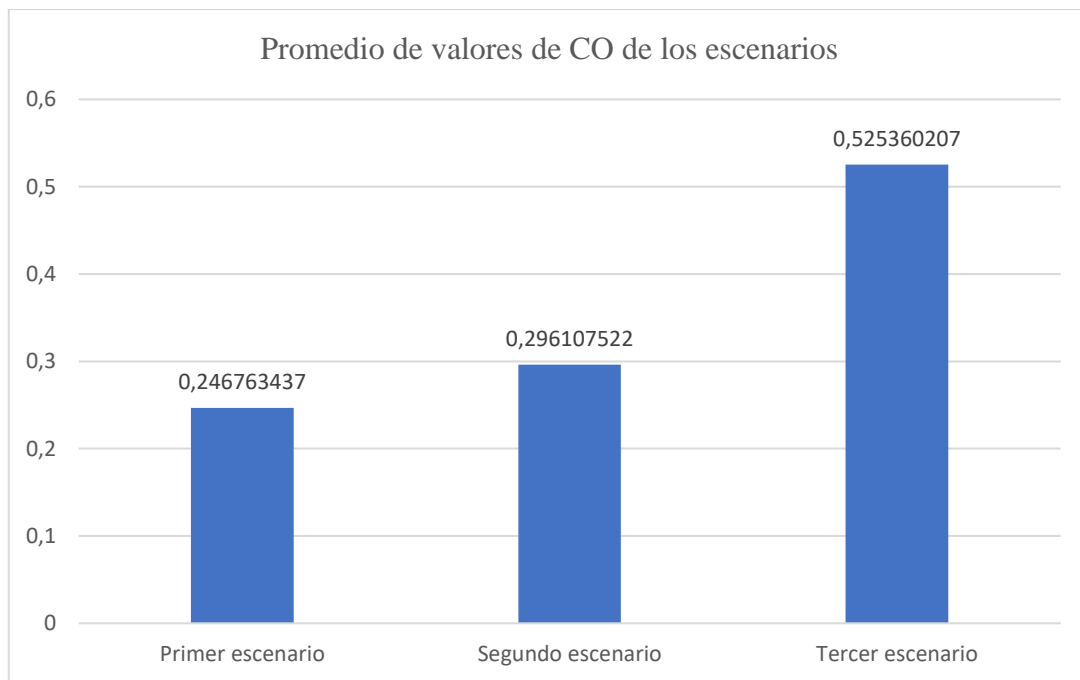
En cuanto a los promedios obtenidos por escenario se determinó lo siguiente: en el primer escenario se obtuvo un promedio de 83,14 mg/m<sup>3</sup> debido a que en el aire se encontraba contaminado por las actividades que se desarrollan en la carpintería, en el segundo escenario se obtuvo un 31,23 mg/m<sup>3</sup> dado que el ambiente no estaba comprometido por alguna actividad que genere o altere el material particulado, por último, el tercer escenario se percibió el promedio más alto en relación a los primeros escenarios siendo de 556,74 mg/m<sup>3</sup> por causa del volumen de las partículas encontradas en el humo inyectado a la cámara de humo. Sin embargo, en el escenario número dos es donde se encuentra una mayor dispersión entre los datos obtenidos por los sensores.

### Monóxido de Carbono (CO)

**Tabla 13.** Datos estadísticos del Monóxido de Carbono de los escenarios.

Primer escenario		Segundo escenario		Tercer escenario	
Mean	0,246763437	Mean	0,296107522	Mean	0,525360207
Standard Error	0,000680316	Standard Error	0,001113844	Standard Error	0,01117519
Median	0,246774189	Median	0,293548375	Median	0,489516117
Mode	0,23548387	Mode	0,293548375	Mode	0,482258052
Standard Deviation	0,006803163	Standard Deviation	0,011138437	Standard Deviation	0,111751904
Sample Variance	4,6283E-05	Sample Variance	0,000124065	Sample Variance	0,012488488
Kurtosis	0,51723047	Kurtosis	21,03892539	Kurtosis	1,250430459
Skewness	0,216226777	Skewness	4,143019586	Skewness	1,203968085
Range	0,034408604	Range	0,083870957	Range	0,437096835
Minimum	0,23548387	Minimum	0,284946233	Minimum	0,398387075
Maximum	0,269892474	Maximum	0,36881719	Maximum	0,835483909
Sum	24,67634368	Sum	29,61075216	Sum	52,53602067
Count	100	Count	100	Count	100

## Promedio de los datos



**Figura 35.** Promedio del Monóxido de Carbono (CO) de los escenarios.

## Análisis

Al realizar la recolección de los datos a través del Grove Multichannel Gas Sensor v2 en cada uno de los tres escenarios obteniendo 100 datos por cada uno se puede argumentar que en el primer escenario la variación de los datos es muy poca porque el valor de su curtosis es de 0,51723047 y también de acuerdo a las condiciones en que se la expuso cual es el caso de la carpintería ya que ahí existían más contaminación con respecto a las partículas moleculares, en el segundo escenario los datos cuentan con menos variación porque su curtosis es de 21,03892539 y por razones como la circulación del aire ya que es un lugar cerrado y cantidades de personas, finalmente en el tercer escenario los datos tiene poca variación aunque si mayor a la del segundo escenario y menor a las del primer escenario y el valor de su curtosis es de 1,250430459.

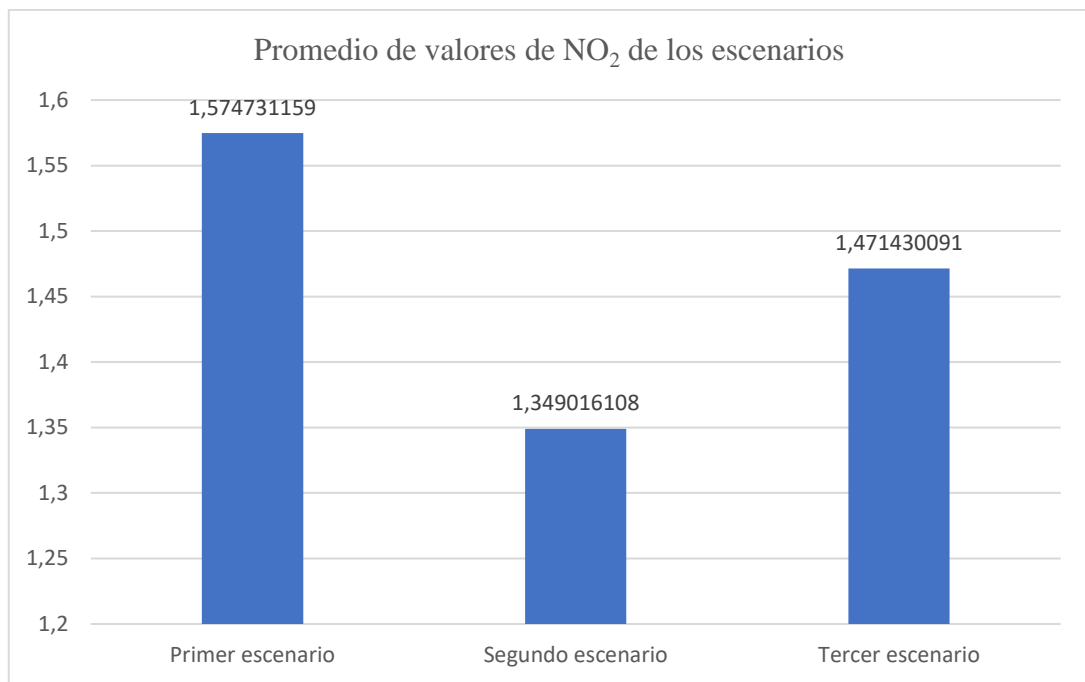
Los promedios obtenidos por cada escenario determinan que hubieron cambios significativos del Monóxido de Carbono en el aire, en el primer escenario se obtuvo un promedio de 0.24 ppm dado que el ambiente se mantuvo estable y al ser un lugar abierto contenía un gran flujo de aire, en el segundo escenario la cantidad de CO aumento con un promedio de 0,29 ppm, esto sucedió debido al tamaño del hogar, al ser un lugar algo cerrado no existía un gran flujo de aire, en donde se notó un cambio gran aumento del gas fue en el tercer escenario incrementando a una cantidad promedio de 0,52 ppm porque la cámara de humo fue un lugar más reducido y encima se le inyectaba humo.

## Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

**Tabla 14.** Datos estadísticos del Dióxido de Carbono (NO<sub>2</sub>) de los escenarios.

Primer escenario		Segundo escenario		Tercer escenario	
Mean	1,574731159	Mean	1,349016108	Mean	1,471430091
Standard Error	0,0090266	Standard Error	0,001981712	Standard Error	0,006477871
Median	1,550537586	Median	1,344623635	Median	1,458870918
Mode	1,756451607	Mode	1,332258105	Mode	1,427419365
Standard Deviation	0,090266001	Standard Deviation	0,019817117	Standard Deviation	0,064778709
Sample Variance	0,008147951	Sample Variance	0,000392718	Sample Variance	0,004196281
Kurtosis	-0,45222903	Kurtosis	-0,238513548	Kurtosis	3,79513122
Skewness	0,819920683	Skewness	0,835647207	Skewness	2,117509497
Range	0,296774209	Range	0,075806498	Range	0,270967782
Minimum	1,459677398	Minimum	1,319354773	Minimum	1,420967698
Maximum	1,756451607	Maximum	1,395161271	Maximum	1,69193548
Sum	157,4731159	Sum	134,9016108	Sum	147,1430091
Count	100	Count	100	Count	100

### Promedio de los datos



**Figura 36.** Promedio del Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) de los escenarios.

### Análisis

Una vez realizada la recolección de los datos con el Grove Multichannel Gas Sensor v2 obteniendo 100 datos en cada uno de los escenarios en donde el primer escenario existe una variabilidad considerable ya que el valor de su curtosis es de -0,45222903, el segundo escenario los datos también tiene variación, pero si menor a la del primer escenario con un valor de curtosis de -0,238513548 y finalmente el tercer escenario los datos cuentan con menor variabilidad con un

valor de curtosis de 3,79513122 y si se las compara con los escenarios anteriores, este tiene menor variabilidad.

Una vez realizada la recolección de datos se promediaron los datos por escenario, esto determino lo siguiente: el primer escenario obtuvo un promedio de 1,57 ppm debido a que el lugar es abierto teniendo alto contacto con el sol, el segundo escenario tuvo una medida menor de 1.34 ppm porque al ser un lugar más cerrado no tuvo alto contacto con el sol, finalmente, el tercer escenario con relación al segundo obtuvo un aumento en el promedio siendo 1.47 ppm debido al producto de la combustión de una serie de materiales.

### Ozono (O<sub>3</sub>)

**Tabla 15.** Datos estadísticos del Ozono (O<sub>3</sub>) de los escenarios.

Primer escenario		Segundo escenario		Tercer escenario	
Mean	6,89175E-06	Mean	7,88403E-06	Mean	0,032418255
Standard Error	1,73162E-06	Standard Error	2,05129E-06	Standard Error	0,000321477
Median	0	Median	0	Median	0,03198762
Mode	0	Mode	0	Mode	0,031862661
Standard Deviation	1,73162E-05	Standard Deviation	2,05129E-05	Standard Deviation	0,003214771
Sample Variance	2,99852E-10	Sample Variance	4,20778E-10	Sample Variance	1,03348E-05
Kurtosis	5,722689909	Kurtosis	8,225468231	Kurtosis	0,235054017
Skewness	2,59325901	Skewness	2,917342639	Skewness	0,434126367
Range	0,000077156	Range	0,000101967	Range	0,017186048
Minimum	0	Minimum	0	Minimum	0,025333852
Maximum	0,000077156	Maximum	0,000101967	Maximum	0,042519899
Sum	0,000689175	Sum	0,000788403	Sum	3,241825513
Count	100	Count	100	Count	100

## Promedio de los datos

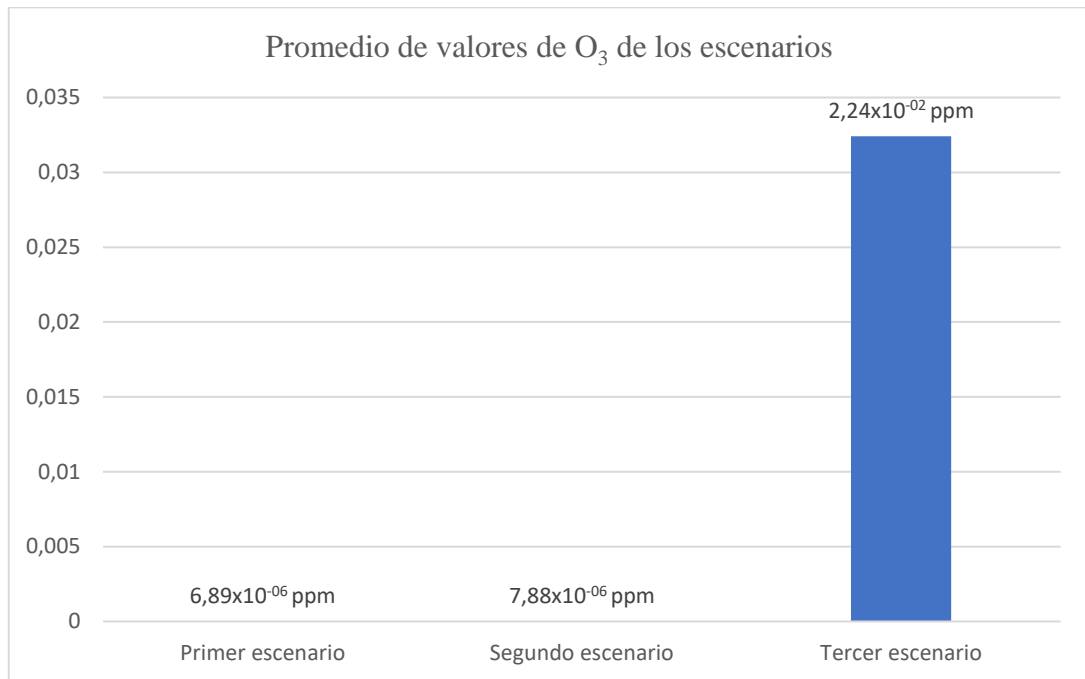


Figura 37. Promedio de Ozono (O<sub>3</sub>) de los escenarios.

## Análisis

Una vez realizada las mediciones con el sensor MQ131, se obtuvieron 100 datos en cada uno de los tres escenarios cual en el primer escenario los datos cuentan con muy poca variación ya que el valor de la curtosis es de 5,722689909, en el segundo escenario los datos cuentan con menor variación ya que el valor de la curtosis es de 8,225468231, finalmente en el tercer escenario los datos cuentan con menor variación, pero si mayor a los escenarios anteriores ya que su curtosis es de 0,235054017.

Una vez realizada la recolección de datos se promediaron los datos por escenario, esto determino lo siguiente: en el primer escenario se obtuvo un promedio de  $6,89 \times 10^{-06}$  ppm del contaminante de Ozono debido a que el lugar es abierto, en comparación con el primero, el segundo no tuvo un cambio drástico en sus medidas obteniendo un promedio de 7,88 ppm, sin embargo, en el tercer escenario se notó un aumento estrepitoso del contaminante, siendo el promedio de  $2,24 \times 10^{-02}$  esto sucedió debido a la combustión de los materiales donde actuaron dos gases como el dióxido de Azufre y los óxidos de Nitrógeno dando un aumento de Ozono en la cámara de humo.

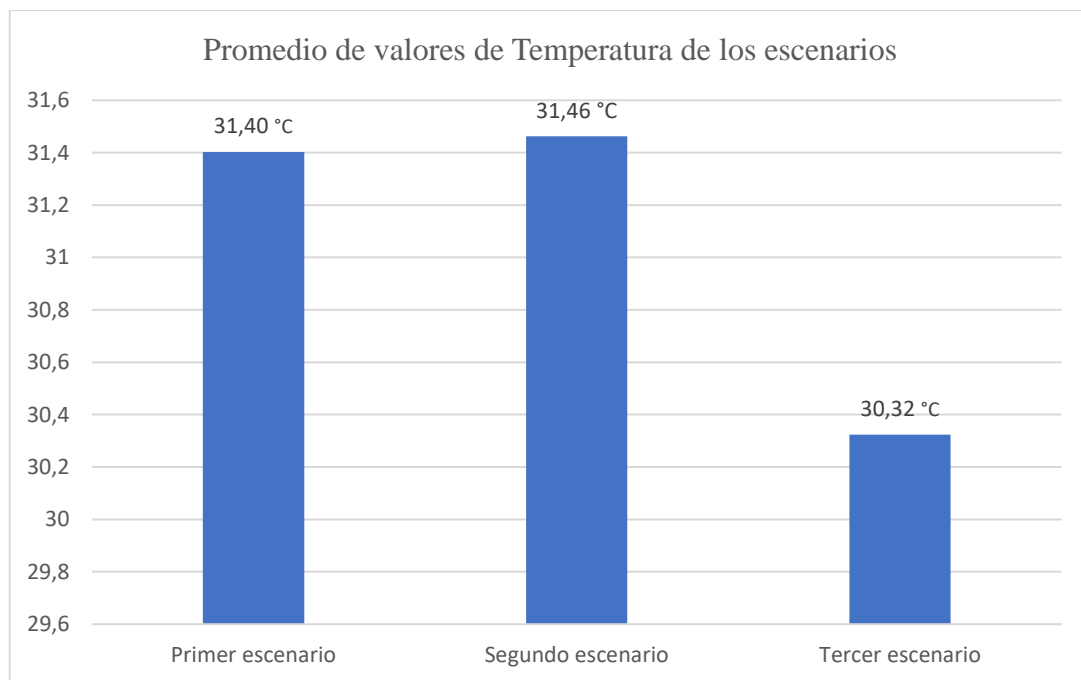


## Temperatura

**Tabla 16.** Datos estadísticos de la Temperatura de los escenarios.

Primer escenario		Segundo escenario		Tercer escenario	
Mean	31,40302917	Mean	31,46276151	Mean	30,32298301
Standard Error	0,033560673	Standard Error	0,002913394	Standard Error	0,000881757
Median	31,30042044	Median	31,46034241	Median	30,32203961
Mode	32,27079773	Mode	#N/A	Mode	30,31983948
Standard Deviation	0,335606734	Standard Deviation	0,029133945	Standard Deviation	0,008817574
Sample Variance	0,11263188	Sample Variance	0,000848787	Sample Variance	7,77496E-05
Kurtosis	2,733289895	Kurtosis	-1,028616286	Kurtosis	-0,134903917
Skewness	2,04309598	Skewness	-0,282263798	Skewness	-0,186067481
Range	1,116057713	Range	0,097240445	Range	0,035657885
Minimum	31,15474002	Minimum	31,4091301	Minimum	30,30413246
Maximum	32,27079773	Maximum	31,50637055	Maximum	30,33979035
Sum	3140,302917	Sum	3146,276151	Sum	3032,298301
Count	100	Count	100	Count	100

### Promedio de los datos



**Figura 38.** Promedio de la Temperatura de los escenarios.

### Análisis

Al realizar las mediciones con el sensor BME688, se obtuvieron 100 datos en cada uno de los tres escenarios cual en el primer escenario los datos cuentan con poca variabilidad ya que el valor de su curtosis es de 2,733289895 y la temperatura se mantuvo casi igual en el tiempo que estuvo en acción el sensor, en el segundo escenario si cuenta con mayor variabilidad ya que el valor de su curtosis es de -1,028616286 y el viento que entra en el hogar hace que mejore la temperatura dentro

del hogar, pero por muy poco tiempo y en el tercer escenario también tiene una menor variabilidad en relación con la del segundo escenario ya que el valor de su curtosis es de -0,134903917 el humo no se mantiene siempre caliente y al querer ingresar el humo ingresa también aire fresco.

A diferencia de las variables antes analizadas, la temperatura no obtuvo una gran diferencia entre los tres escenarios, el primer escenario obtuvo un promedio de 31.40 °C, el segundo escenario obtuvo un promedio de 31,46 °C, y finalmente, el tercer escenario tuvo una pequeña disminución siendo el promedio 30,32 °C debido a que los datos fueron tomados en la noche.

## Humedad

**Tabla 17.** Datos estadísticos de la Humedad de los escenarios.

Primer escenario		Segundo escenario		Tercer escenario	
Mean	62,8960894	Mean	59,90701822	Mean	69,88066812
Standard Error	0,142336417	Standard Error	0,035114381	Standard Error	0,135901428
Median	63,23014005	Median	59,82898903	Median	70,03834915
Mode	59,5095234	Mode	#N/A	Mode	#N/A
Standard Deviation	1,423364174	Standard Deviation	0,351143807	Standard Deviation	1,359014277
Sample Variance	2,025965572	Sample Variance	0,123301973	Sample Variance	1,846919804
Kurtosis	1,338108913	Kurtosis	15,75465673	Kurtosis	-0,905147324
Skewness	-1,400861838	Skewness	3,464584285	Skewness	0,301742137
Range	5,29040718	Range	2,375443777	Range	4,461273195
Minimum	59,5095234	Minimum	59,51397959	Minimum	68,20931626
Maximum	64,79993058	Maximum	61,88942337	Maximum	72,67058945
Sum	6289,60894	Sum	5990,701822	Sum	6988,066812
Count	100	Count	100	Count	100

## Promedio de los datos

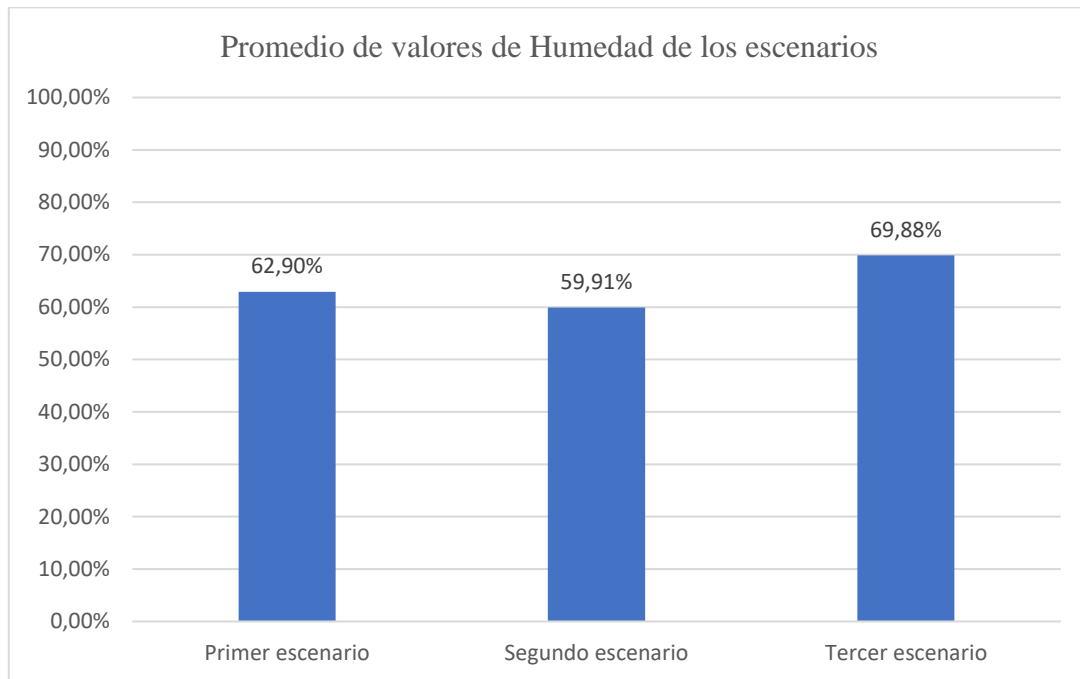


Figura 39. Promedio de la Humedad de los escenarios.

## Análisis

Una vez realizada las mediciones con el sensor BME688, se obtuvieron 100 datos en cada uno de los tres escenarios cual en el primer escenario los datos cuentan con poca variación ya que el valor de su curtosis es de 1,338108913 y la carpintería donde se obtuvieron los datos cuenta con temperatura y humedad controlado. En el segundo escenario los datos tienen muy poca variación porque el valor de su curtosis es de 15,75465673 y en el hogar donde se obtuvieron los datos también cuenta con valores de temperatura y humedad controlado, y finalmente en el tercer escenario los datos tienen mayor variación con las de los escenarios anteriores porque el valor de su curtosis es de -0,905147324 y el humo no se mantiene siempre caliente y al querer ingresar el humo ingresa también aire fresco.

Luego de realizar las mediciones de la humedad, se notó que en el tercer escenario se obtuvo un mayor promedio en el porcentaje con relación al primer y segundo escenario, siendo las cantidades las siguientes: en el primer escenario se obtuvo 62,90%, en el segundo escenario el promedio fue de 59,91% y el tercer escenario quien obtuvo el porcentaje más alto es de 69,88% de humedad.

## Prueba 2

### Latencia

Una vez explicado anteriormente de forma explícita en la **Figura 31**, donde se establecieron los intervalos que se medirán en esta prueba, se determinaron 3 intervalos que serán medido, iniciando

con el encendido del prototipo, seguido por el envío de los datos al bróker mosquito y finalizando con el envío de datos a la red neuronal. Los intervalos mencionados en conjunto sería todo el tiempo que se demora en encender el prototipo del presente trabajo de titulación.

**Tabla 18.** Intervalo de Prueba de Latencia

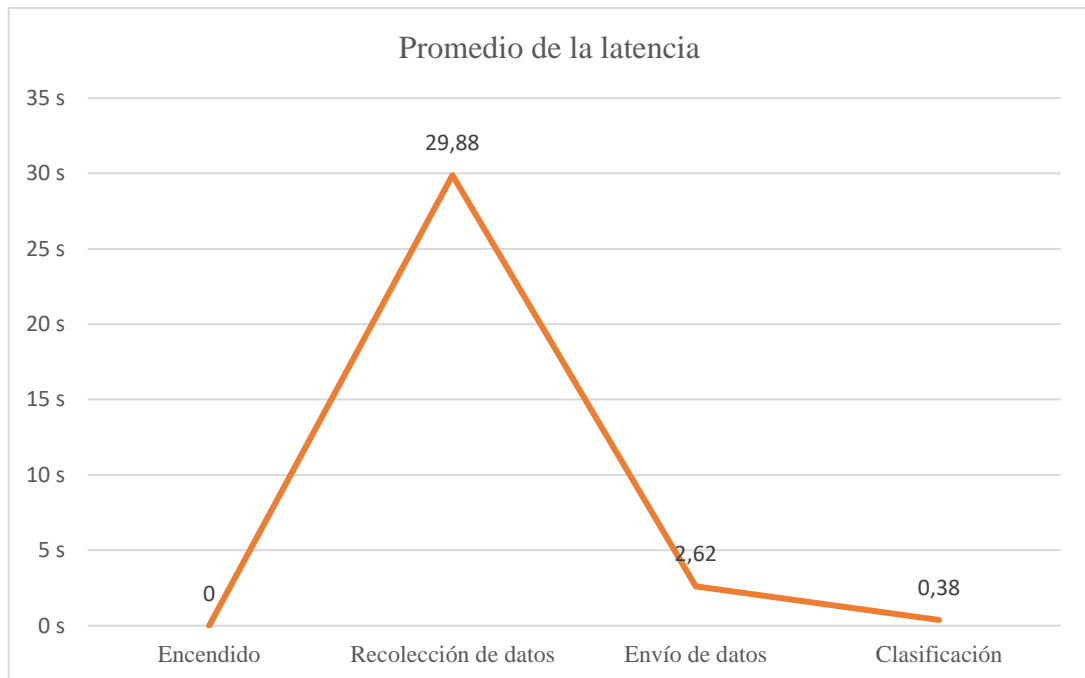
<b>Intervalos de Prueba de Latencia</b>	
<b>Intervalo 1</b>	Encendido
<b>Intervalo 2</b>	Envío de datos a mosquito
<b>Intervalo 3</b>	Envío de datos a la Red Neuronal

A continuación, los datos obtenidos en las 50 pruebas realizadas.

**Tabla 19.** Prueba de Latencia

<b>Prueba de latencia</b>							
# Prueba	Encendido (s)		Envío de datos a mosquito (s)		Envío de datos a la Red Neuronal (s)		Tiempo total (Segundos)
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Sumatoria
1	0	32	0	2	0	1	35
2	0	30	0	2	0	0	32
3	0	34	0	2	0	0	36
4	0	32	0	2	0	0	34
5	0	30	0	2	0	0	32
6	0	27	0	2	0	0	29
7	0	33	0	2	0	1	36
8	0	27	0	2	0	1	30
9	0	31	0	2	0	0	33
10	0	35	0	2	0	1	38
11	0	31	0	2	0	0	33
12	0	35	0	3	0	0	38
13	0	38	0	2	0	1	41
14	0	32	0	3	0	0	35
15	0	34	0	3	0	1	38
16	0	29	0	3	0	0	32
17	0	26	0	2	0	1	29
18	0	20	0	3	0	0	23
19	0	29	0	4	0	0	33
20	0	24	0	3	0	0	27
21	0	28	0	3	0	0	31
22	0	26	0	3	0	0	29
23	0	30	0	3	0	1	34
24	0	28	0	3	0	1	32
25	0	25	0	2	0	0	27
26	0	27	0	3	0	0	30
27	0	29	0	3	0	1	33
28	0	29	0	2	0	0	31
29	0	37	0	3	0	1	41
30	0	28	0	2	0	1	31
31	0	29	0	3	0	0	32

Prueba de latencia							
# Prueba	Encendido (s)		Envío de datos a mosquito (s)		Envío de datos a la Red Neuronal (s)		Tiempo total (Segundos)
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Sumatoria
32	0	34	0	3	0	0	37
33	0	30	0	3	0	0	33
34	0	28	0	2	0	1	31
35	0	32	0	3	0	0	35
36	0	28	0	2	0	0	30
37	0	42	0	3	0	0	45
38	0	23	0	3	0	1	27
39	0	26	0	3	0	0	29
40	0	27	0	3	0	1	31
41	0	27	0	3	0	0	30
42	0	27	0	3	0	1	31
43	0	28	0	2	0	1	31
44	0	29	0	3	0	1	33
45	0	29	0	3	0	0	32
46	0	31	0	3	0	0	34
47	0	35	0	2	0	0	37
48	0	31	0	4	0	1	36
49	0	30	0	3	0	0	33
50	0	32	0	2	0	0	34



**Figura 40.** Análisis de los resultados de la Latencia

Como se puede observar en la **Figura 40** de resultados obtenidos de las pruebas se los puede considerar como eficientes, en el intervalo del encendido el resultado mínimo fue 20 segundos, el máximo fue 42 segundos y el promedio es 29.88 segundos. En el intervalo del envío de datos a

mosquito el resultado mínimo fue 2 segundos, el máximo fue 4 segundos y el promedio es 2.62 segundos. El ultimo intervalo de Envío de datos a la Red Neuronal el resultado mínimo fue 0 segundos, el máximo fue 1 segundo y el promedio es de 0.38 segundos. De los resultados finales o tiempo total de cada prueba el valor mínimo obtenido fue de 23 segundos, el máximo de 45 segundos y el promedio de 32.88 segundos.

### Prueba 3

Resultado de Prueba de Entrenamiento y validación

**Tabla 20.** Parámetros de la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

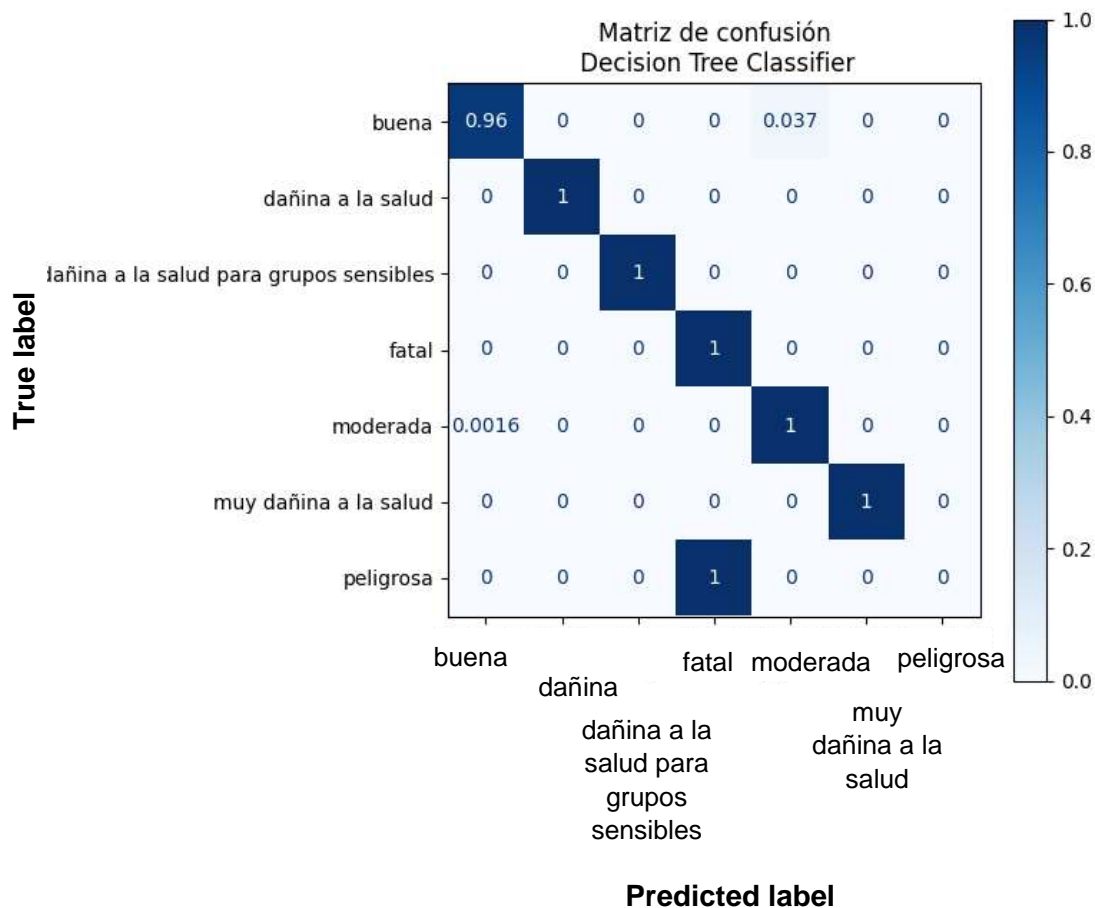
Parámetros	Valor
Conjunto de datos	Dataset Inicial
Datos de entrenamiento	21
Número de Clases	7

Los parámetros de la prueba y validación de la red neuronal que se encarga de la clasificación de la calidad del aire, el conjunto de datos utilizado es el dataset inicial, aunque se insertaron 21 nuevos de entrenamiento para cada clase que en este caso son 7, es decir, 3 datos nuevos por cada clase para la ejecución de la prueba mencionada.

**Tabla 21.** Métricas de la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

Métricas	Valor
<b>Clase: Buena</b>	
Precisión (Precision)	0.96
Sensibilidad (Recall)	0.96
Valor de referencia (F1-Score)	0.96
Support	27
<b>Clase: Dañina a la salud</b>	
Precisión (Precision)	1.00
Sensibilidad (Recall)	1.00
Valor de referencia (F1-Score)	1.00
Support	26
<b>Clase: Dañina a la salud para grupos sensibles</b>	
Precisión (Precision)	1.00
Sensibilidad (Recall)	1.00
Valor de referencia (F1-Score)	1.00
Support	81
<b>Clase: Fatal</b>	
Precisión (Precision)	0.67
Sensibilidad (Recall)	1.00
Valor de referencia (F1-Score)	0.80
Support	2
<b>Clase: Moderada</b>	
Precisión (Precision)	1.00
Sensibilidad (Recall)	1.00
Valor de referencia (F1-Score)	1.00
Support	619
<b>Clase: Muy dañina a la salud</b>	
Precisión (Precision)	1.00
Sensibilidad (Recall)	1.00
Valor de referencia (F1-Score)	1.00
Support	2
<b>Clase: Peligrosa</b>	
Precisión (Precision)	0.00
Sensibilidad (Recall)	0.00
Valor de referencia (F1-Score)	0.00
Support	1

En la **Tabla 21** refleja cada una de las métricas obtenidas en el reporte de clasificación del modelo utilizado en la red neuronal cual es Decision Tree Classifier, reflejando valores como precision, recall, f1-score y support.



**Figura 41.** Matriz de Confusión Red Neuronal de Clasificación

La **Figura 41**, hace referencia a la gráfica de matriz de confusión del modelo implementado en la red neuronal, haciendo referencia a cada una de las clases cuales son: Buena, Dañina a la salud, Dañina a la salud para grupos sensibles, Fatal, Moderada, Muy Dañina a la salud, Peligrosa.

A continuación, se mostrará las tablas con los valores obtenidos de la prueba de la red neuronal separado por clases.

**Tabla 22.** Resultado de clase "buena" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

CLASE: BUENA						
CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	ESTADO	EFICIENCIA
1.05	0.01	0.003	10	4	buena	correcto
2.1	0.017	0.030	23	6	buena	correcto
4.1	0.050	0.057	49	10	buena	correcto

**Tabla 23.** Resultado de clase "moderada" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

CLASE: MODERADA						
CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	ESTADO	EFICIENCIA
4.7	0.057	0.064	57	12.4	moderada	correcto
8.2	0.079	0.069	101	29	moderada	correcto
9.3	0.099	0.074	153	35.1	moderada	correcto



**Tabla 24.** Resultado de clase "dañina a la salud para grupos sensibles" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

<b>CLASE: DAÑINA A LA SALUD PARA GRUPOS SENSIBLES</b>						
<b>CO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>ESTADO</b>	<b>EFICIENCIA</b>
9.6	0.102	0.077	156	35.6	dañina a la salud para grupo sensibles	correcto
11.7	0.236	0.089	217	43.1	dañina a la salud para grupo sensibles	correcto
12.1	0.349	0.094	252	54.9	dañina a la salud para grupo sensibles	correcto

**Tabla 25.** Resultado de clase "dañina a la salud" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

<b>CLASE: DAÑINA A LA SALUD</b>						
<b>CO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>ESTADO</b>	<b>EFICIENCIA</b>
12.9	0.365	0.097	256	55.7	dañina a la salud	correcto
13.4	0.575	0.105	300	135.8	dañina a la salud	correcto
15.2	0.641	0.113	350	150	dañina a la salud	correcto

**Tabla 26.** Resultado de clase "muy dañina a la salud" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

<b>CLASE: MUY DAÑINA A LA SALUD</b>						
<b>CO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>ESTADO</b>	<b>EFICIENCIA</b>
15.7	0.651	0.117	356	150.6	dañina a la salud	incorrecto
25.8	1.001	0.279	410	233.9	muy dañina a la salud	correcto
30.3	1.248	0.372	421	250.2	muy dañina a la salud	correcto

**Tabla 27.** Resultado de clase "peligrosa" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

<b>CLASE: PELIGROSA</b>						
<b>CO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>ESTADO</b>	<b>EFICIENCIA</b>
30.6	1.252	0.375	426	250.9	peligrosa	correcto
35.9	1.439	0.425	499	320.4	peligrosa	correcto
40.1	1.647	0.499	503	350.2	peligrosa	correcto

**Tabla 28.** Resultado de clase "fatal" en la Prueba y validación de clasificación de la calidad del aire

<b>CLASE: FATAL</b>						
<b>CO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>ESTADO</b>	<b>EFICIENCIA</b>
40.8	1.652	0.501	509	351.5	peligrosa	incorrecto
46.9	2.011	0.625	590	463.2	peligrosa	incorrecto
50.3	2.048	1.100	703	500.3	peligrosa	incorrecto

En las pruebas realizadas por cada clase se puede evidenciar que todas realizan la clasificación de manera eficiente, pero hay unos errores con respecto a las siguientes clases: Muy dañina a la salud y Fatal.

En la clase Muy dañina a la salud, una de las tres pruebas realizadas salió incorrecta la clasificación, ya que salió como clasificación Dañina a la salud. Mientras que la clase Fatal las tres pruebas realizadas salieron incorrectas dando como resultado la clase “Peligrosa”.

Cabe recalcar que los valores insertados para la ejecución de la prueba están relacionados a lo documentado anteriormente en la **Tabla 8** que detalla la Clasificación de los parámetros que establecen cada clase según la calidad de aire.

## CONCLUSIONES

- En conclusión, se llevó a cabo la construcción de un prototipo sensorial el cual monitorea la calidad del aire con la ayuda de tecnologías como internet de las cosas, redes neuronales artificiales y un bot de mensajería. El prototipo recolecta información de la calidad del aire eficazmente en cada espacio al que fue expuesto, y estos datos son enviados mediante un protocolo de mensajería hacia la red neuronal en donde se lleva a cabo la clasificación de los datos que recibe, dando así resultados correctos con respecto al estado o calidad del aire del lugar donde el prototipo fue expuesto. Una vez realizado lo mencionado, a través del bot de mensajería el estado del aire es enviado hacia el usuario mediante la red social WhatsApp.
- En el transcurso del desarrollo del presente trabajo de titulación se ha examinado diferentes trabajos relacionados que han sido de mucha ayuda para la construcción del mismo ya sea la parte práctica y la parte escrita.
- Se utilizaron diferentes herramientas de software para realizar el modelado del circuito electrónico sensorial, se diseñó un esquema 3D del prototipo, además del esquema de conexiones y modelado del PCB que dieron guía esencial para seguir la línea de conexionado sin presentar problemas entre los diferentes sensores, no obstante, el prototipo fue ensamblado únicamente en un protoboard presentando disminución de eficacia por el bajo flujo de voltaje.
- En cuanto a la red neuronal fue construida a base del modelo de predicción Decision Tree Classification y la biblioteca de aprendizaje automático scikit-learn, se realizó un proceso de descarte y selección de modelos seleccionando el antes mencionado. A través de la red neuronal se obtuvo una eficacia alta, sin embargo, se encontraron errores en la clasificación al momento de reportar el estado “Fatal” y “Muy dañina a la salud” debido a la escasa data de entrenamiento relacionado con ambas clases.
- Se realizó la verificación de validez del prototipo encargado de medir los diferentes aspectos del aire, mediante un proceso evaluativo, se expuso el prototipo a diferentes escenarios de prueba con cualidades diferentes en relación al aire, se observó el comportamiento de las variables que comprenden la calidad del aire en relación a los factores que eran causantes de su variación, en cuanto a los 3 escenarios seleccionados se notó que el escenario con menos calidad en el aire fue el tercero debido a que el promedio de los datos fueron notablemente más altos en relación a los otros escenarios, además, el prototipo detecta los cambios de las métricas del ambiente de forma oportuna, si existe una

acción que altere el estado actual del aire este será detectado eficazmente, por ejemplo, en el segundo escenario existe una mayor dispersión de los datos del material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) basándose en su curtosis en conjunto con su promedio, debido a los eventos sucedidos durante la medición tales como la caminata de una persona o el movimiento de un inmueble.

- Se realizó la codificación del bot de mensajería porque existía la necesidad de que el usuario pueda ver la proyección de reportes sobre la calidad del aire del área donde está ubicado en tiempo real, lo cual se consiguió con éxito a través del canal de mensajería WhatsApp para enviar las notificaciones al usuario haciendo del bot un asistente oportuno y eficaz.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Para la construcción de este tipo de prototipo se recomienda seleccionar los sensores adecuados para realizar las mediciones de aire, existe muchos tipos de sensores que tienen la funcionalidad de medir las variables del aire, sin embargo, hay sensores que tienen el propósito de medir la calidad del aire.
- ✓ En cuanto a la búsqueda bibliográfica es conveniente tener un enfoque en publicaciones de artículos recientes, con la información más actualizada de las tecnologías que son utilizadas para este tipo de proyectos.
- ✓ Se recomienda realizar un modelado 3D previo a la construcción del dispositivo encargado de medir la calidad del aire, ya que debe estar encapsulado o protegido sin quedarse a la intemperie debido a que puede sufrir algún tipo de daño.
- ✓ Para la verificación de las mediciones, es recomendable realizar la calibración de los sensores por utilizar, además, realizar pruebas frente a otros sensores ya calibrados demostrando la veracidad de los datos del prototipo.
- ✓ Es importante leer bien el dataset de cada sensor que se utiliza para realizar el prototipo ya al conectarlos se debe tener en cuenta el voltaje necesario para que obtengan los datos correctos, es decir, el funcionamiento adecuado.
- ✓ Cuando se realizó la red neuronal existieron problemas con las predicciones, es importante contar con una data inicial con cantidad de datos necesarios para que el entrenamiento de la red neuronal sea efectivo y así lograr mejores resultados.
- ✓ Al realizar la red neuronal es importante probar con diferentes modelos de predicción para encontrar mejores resultados ya que un modelo puede ser mejor que otro dependiendo de lo que vayamos hacer.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Air Quality - PAHO/WHO | Pan American Health Organization.” <https://www.paho.org/en/topics/air-quality> (accessed Jul. 08, 2022).
- [2] A. O. Duarte, L. D. C. Aljure, and T. Delgado, “Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire.,” vol. 12, no. 1, p. 16, 2018.
- [3] M. B. Andrés, *Internet de las Cosas*. Editorial Reus, 2021.
- [4] P. K. Hopke, R. M. Harrison, F. de Leeuw, and X. Querol, “Chapter 1 - Current State of Particulate Air Quality,” in *Non-Exhaust Emissions*, F. Amato, Ed. Academic Press, 2018, pp. 1–19. doi: 10.1016/B978-0-12-811770-5.00001-7.
- [5] J. Moon, S. Keum, and S.-S. Park, “A Correlation Analysis of Indoor and Outdoor Air Quality using IoT sensors,” in *2020 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT)*, Beijing, China, Aug. 2020, pp. 350–351. doi: 10.1109/SmartIoT49966.2020.00065.
- [6] M. C. Lozano Rivera, “Monitoreo de la calidad de aire en el sur de la ciudad de Cali empleando un sensor a bajo costo,” Sep. 2021, Accessed: Jul. 12, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10614/13322>
- [7] L. Escobar Jiménez, “Evaluación de las concentraciones atmosféricas de PM10 y PM2.5 en el casco urbano del municipio de Vijes-Valle del Cauca,” *InstnameUniversidad Autónoma Occidente*, Jan. 2020, Accessed: Jul. 12, 2022. [Online]. Available: <http://red.uao.edu.co/handle/10614/12224>
- [8] M. Mishra, P. B. Lourenço, and G. V. Ramana, “Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review,” *J. Build. Eng.*, vol. 48, p. 103954, May 2022, doi: 10.1016/j.jobte.2021.103954.
- [9] Dr. Y. Perwej, M. Omer, O. Sheta, H. Harb, and M. Adrees, “The Future of Internet of Things (IoT) and Its Empowering Technology,” vol. Volume 9, p. Pages 20192-20203, Mar. 2019.
- [10] Z. Zhang and B. B. Gupta, “Social media security and trustworthiness: Overview and new direction,” *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 86, pp. 914–925, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.future.2016.10.007.
- [11] Q. Zhang, H. Zhong, W. Shi, and L. Liu, “A trusted and collaborative framework for deep learning in IoT,” *Comput. Netw.*, vol. 193, p. 108055, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.comnet.2021.108055.
- [12] B. W. Wirtz, J. C. Weyerer, and F. T. Schichtel, “An integrative public IoT framework for smart government,” *Gov. Inf. Q.*, vol. 36, no. 2, pp. 333–345, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.giq.2018.07.001.
- [13] S. Barrezueta Unda and D. Villaseñor, “Obtencion de datos en sistemas agropecuarios,” 2018.
- [14] “PMS5003 Series Manual Datasheet by Adafruit Industries LLC | Digi-Key Electronics.” <https://www.digikey.jp/htmldatasheets/production/2903006/0/0/1/pms5003-series-manual.html> (accessed Jul. 12, 2022).
- [15] “Ozone Gas Sensor. (Model:MQ131 High Concentration) Manual. Version: 1.4. Valid from: Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co.” <https://docplayer.net/173206435-Ozone-gas-sensor-model-mq131-high-concentration-manual-version-1-4-valid-from-zhengzhou-winsen-electronics-technology-co.html> (accessed Jul. 12, 2022).
- [16] “Grove - Multichannel Gas Sensor v2.” Accessed: Jul. 08, 2022. [Online]. Available: [https://www.elfadistelec.fi/Web/Downloads/\\_t/ds/101020820\\_eng\\_tds.pdf](https://www.elfadistelec.fi/Web/Downloads/_t/ds/101020820_eng_tds.pdf)
- [17] “BME688 I2C sensor.” Accessed: Jul. 08, 2022. [Online]. Available: [https://itbrainpower.net/downloadables/s-Sense-I2C-BME688-datasheet\\_V1\\_01.pdf](https://itbrainpower.net/downloadables/s-Sense-I2C-BME688-datasheet_V1_01.pdf)

- [18] “ESP32 Series Datasheet.” <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html> (accessed Jul. 08, 2022).
- [19] “Node RED Programming Guide – Programming the IoT.” <http://noderedguide.com/> (accessed Jul. 08, 2022).
- [20] M. Lekic and G. Gardasevic, “IoT sensor integration to Node-RED platform,” in *2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, East Sarajevo, Mar. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345544.
- [21] C. Churilo, “InfluxDB: Open Source Time Series Database,” *InfluxData*. <https://www.influxdata.com/products/influxdb-overview/> (accessed Jul. 08, 2022).
- [22] S. Zhao, F. Blaabjerg, and H. Wang, “An Overview of Artificial Intelligence Applications for Power Electronics,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 36, no. 4, pp. 4633–4658, Apr. 2021, doi: 10.1109/TPEL.2020.3024914.
- [23] L. Chen, P. Chen, and Z. Lin, “Artificial Intelligence in Education: A Review,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 75264–75278, 2020.
- [24] M. Cui and D. Y. Zhang, “Artificial intelligence and computational pathology.” doi: 10.1038/s41374-020-00514-0.
- [25] L. Rouhiainen, *Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. 2020.
- [26] A. J. Freire Castro and M. I. Mejía Garzón, “Estimación de la eficiencia productiva en la extracción de aceite esencial a partir de la cáscara de la naranja mediante redes neuronales,” 2022, Accessed: Jul. 12, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60210>
- [27] Y. Zhou PhD, Prof. F. Wang PhD, Prof. J. Tang PhD, Prof. R. Nussinov PhD, and Prof. F. Cheng PhD, “Artificial intelligence in COVID-19 drug repurposing | Lector mejorado de Elsevier.” doi: 10.1016/S2589-7500(20)30192-8.
- [28] B. Nardi, S. Whittaker, and E. Bradner, “Interaction and Outeraction: Instant Messaging in Action,” *Proc. ACM Conf. Comput. Support. Coop. Work*, Oct. 2000.
- [29] G. Daniel and J. Cabot, “The Software Challenges of Building Smart Chatbots,” in *2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion)*, Madrid, ES, May 2021, pp. 324–325. doi: 10.1109/ICSE-Companion52605.2021.00138.
- [30] J. A. Bateman, “Review of: ‘Natural Language Processing for Online Applications: Text retrieval, extraction and categorization’ by Peter Jackson and Isabelle Moulinier,” *Inf. Des. J.*, vol. 12, no. 1, pp. 85–88, Sep. 2004, doi: 10.1075/idjdd.12.1.18bat.
- [31] P. Spachos and D. Hatzinakos, “Real-Time Indoor Carbon Dioxide Monitoring Through Cognitive Wireless Sensor Networks,” *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 2, pp. 506–514, Jan. 2016, doi: 10.1109/JSEN.2015.2479647.
- [32] G. Marques, C. R. Ferreira, and R. Pitarma, “Indoor Air Quality Assessment Using a CO2 Monitoring System Based on Internet of Things,” *J. Med. Syst.*, vol. 43, no. 3, p. 67, Mar. 2019, doi: 10.1007/s10916-019-1184-x.
- [33] M. Benammar, A. Abdaoui, S. Ahmad, F. Touati, and A. Kadri, “A Modular IoT Platform for Real-Time Indoor Air Quality Monitoring,” *Sensors*, vol. 18, no. 2, p. 581, Feb. 2018, doi: 10.3390/s18020581.
- [34] E. G. Snyder *et al.*, “The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, no. 20, pp. 11369–11377, Oct. 2013, doi: 10.1021/es4022602.
- [35] R. E. Connolly *et al.*, “Long-term evaluation of a low-cost air sensor network for monitoring indoor and outdoor air quality at the community scale,” *Sci. Total Environ.*, vol. 807, p. 150797, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150797.

- [36] N. H. Motlagh *et al.*, “Transit pollution exposure monitoring using low-cost wearable sensors,” *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, vol. 98, p. 102981, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.trd.2021.102981.
- [37] Y. Lv, H. Wang, S. Wei, L. Zhang, and Q. Zhao, “The Correlation between Indoor and Outdoor Particulate Matter of Different Building Types in Daqing, China,” *Procedia Eng.*, vol. 205, pp. 360–367, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.002.
- [38] X. Zhang *et al.*, “Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development,” *J. Clean. Prod.*, vol. 346, p. 130988, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130988.
- [39] L. Bai, Z. He, C. Li, and Z. Chen, “Investigation of yearly indoor/outdoor PM<sub>2.5</sub> levels in the perspectives of health impacts and air pollution control: Case study in Changchun, in the northeast of China,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 53, p. 101871, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.scs.2019.101871.
- [40] N. Quan Pham, V. P. Rachim, and W.-Y. Chung, “EMI-Free Bidirectional Real-Time Indoor Environment Monitoring System,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 5714–5722, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2889793.
- [41] A. Chamseddine, I. Alameddine, M. Hatzopoulou, and M. El-Fadel, “Seasonal variation of air quality in hospitals with indoor–outdoor correlations,” *Build. Environ.*, vol. 148, pp. 689–700, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.11.034.
- [42] R. M. Nica, T. Hapurne, A. I. Dumitrascu, I. Bliuc, and C. Avram, “Proposal for a small two-story living room house based on air-quality monitoring,” *Procedia Manuf.*, vol. 22, pp. 268–273, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.041.
- [43] E. Boldo, *La contaminación del aire*. Instituto de Salud Carlos III, 2016. doi: 10.4321/repisalud.7274.
- [44] P. Kortoçi *et al.*, “Air pollution exposure monitoring using portable low-cost air quality sensors,” *Smart Health*, vol. 23, p. 100241, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.smhl.2021.100241.
- [45] L. L. Sloss and I. M. Smith, “PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>: an international perspective,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 65–66, pp. 127–141, Jun. 2000, doi: 10.1016/S0378-3820(99)00081-8.
- [46] “Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-020-SSA1-2020, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O<sub>3</sub>). Valores normados para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.” *vLex*. <https://vlex.com.mx/vid/proyecto-norma-oficial-mexicana-849555135> (accessed Jul. 12, 2022).
- [47] M. C. C. Castillo and M. A. Jordán, *Meteorología y clima*. Univ. Politèc. de Catalunya, 1999.
- [48] “Carbon monoxide poisoning in pregnant women: A case report.” *Ginecol. Obstet. México*, vol. 89, no. 11.
- [49] “IoT Methodology – The Internet of Things project lifecycle guide for creative, technical and business people.” <http://www.iotmethodology.com/> (accessed Jul. 10, 2022).



## ANEXOS

### Anexo 1 - Matriz de consistencia

Problema, objeto y campo	Objetivo	Marco Teórico	Hipótesis	Variabes	Metodología
<p>Problema: Necesidad de realizar un monitoreo de la calidad del aire en un espacio concurrido.</p> <p>Objeto de estudio: Monitoreo de la calidad del aire en espacios concurridos.</p> <p>Campo de Acción: Internet de las cosas e Inteligencia artificial aplicados al monitoreo de la calidad del aire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Objetivo General:</li> <li>- Construir un prototipo sensorial que monitoree la calidad del aire aplicando tecnologías de internet de las cosas, redes neuronales artificiales y bot de mensajería para la emisión de información del estado del aire.</li> <li>- Objetivos Específicos:</li> <li>- Examinar trabajos relacionado con el tema para la construcción del estado del arte y marco teórico.</li> <li>- Modelar un circuito electrónico sensorial para la construcción de un prototipo.</li> <li>- Modelar una red neuronal artificial mediante el entrenamiento profundo.</li> <li>- Verificar la validez del prototipo exponiéndolo a diferentes escenarios de pruebas.</li> <li>- Codificar un bot de mensajería para la proyección de reportes sobre la calidad del aire.</li> </ul>	<p><b>Antecedentes históricos a nivel internacional y nacional del objeto, campo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Internet de las cosas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Generalidades de Internet de las Cosas (IoT)</b></li> <li>○ <b>Componentes del Prototipado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Sensores</b></li> <li>▪ <b>Esp32, transistores y más componentes</b></li> </ul> </li> <li>○ <b>Herramientas de monitorización y Gestión de datos.</b></li> </ul> </li> </ul> <p><b>Fundamentos Teóricos de objeto, campo y variables:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Calidad del aire</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Causas</b></li> <li>○ <b>Espació geográfico</b></li> <li>○ <b>Efectos</b></li> </ul> </li> <li>• <b>Parámetros</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Material particulado 10 y 2.5</b></li> <li>○ <b>Ozono (O3)</b></li> <li>○ <b>Dióxido de nitrógeno (NO2)</b></li> <li>○ <b>Monóxido de carbono (CO)</b></li> </ul> </li> </ul>	<p>Hipótesis General: El desarrollo de un prototipo sensorial que monitoree la calidad del aire aplicando tecnologías de internet de las cosas, redes neuronales artificiales y bot de mensajería, permitirá la emisión de información del estado del aire.</p>	<p><b>Variable 1 / Independiente:</b> Desarrollo de un prototipo sensorial que monitoree la calidad del aire aplicando tecnologías de internet de las cosas, redes neuronales artificiales y Bot de mensajería.</p> <p>Dimensiones o categorías:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Internet de las cosas aplicadas al monitoreo de la calidad del aire.</li> <li>- Redes neuronales artificiales.</li> <li>- Bot de mensajería.</li> </ul> <p><b>Variable 2/ Dependiente:</b> Emisión de información del estado del aire y recomendaciones de mejora del ambiente.</p> <p>Dimensiones o categorías:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reporte de emisión del estado de la calidad del aire.</li> <li>- Recomendación de mejora del ambiente.</li> <li>- Categorías para evaluar el prototipo de forma general, por ejemplo, satisfacción del usuario.</li> </ul>	<p><b>Enfoque:</b> La dirección del enfoque de la investigación perteneciente a este trabajo será cuantitativa ya que se realizará la recopilación de datos a partir de la medición de sensores permitiendo la evaluación de los mismo a través de la implementación de una red neuronal artificial, la cual proveerá recomendación para mejoramiento de la calidad del aire.</p> <p><b>Alcance:</b> El alcance de la investigación fue descriptivo, porque se estudiaron características que conlleva a calificar la calidad del aire con algunas variables y todo mediante el uso del prototipo con sus sensores que posteriormente fueron puestos bajo análisis.</p> <p><b>Diseño:</b> El diseño de la investigación será cuasiexperimental.</p> <p><b>Unidades de análisis:</b></p> <p><b>Población:</b></p> <p><b>Muestra:</b> La población utilizada en la siguiente investigación será los datos que van a proporcionar los sensores de los lugares concurridos.</p>

					<p><b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</b> Las técnicas e instrumentos que serán utilizados en este trabajo son la observación y el análisis de datos.</p> <p><b>Técnicas de procesamiento de datos:</b> Luego de realizar la revisión bibliográfica de estudios previamente realizados que guardan relación con la presente investigación, se llegó a determinar que el método más adecuado en este caso para procesar los datos es el aprendizaje supervisado dirigido a la red neuronal artificial, en concreto se usará el aprendizaje estocástico basado en la dirección y objetivo del proyecto.</p>
--	--	--	--	--	--

## Anexo 2 - Instrumentos de recopilación de datos

Fecha:	
Observador/es:	
Objetivo:	
Ubicación:	
Dispositivo/s:	
Algoritmo usado para el entrenamiento	

Responder de acuerdo con lo observado:

No.	Aspecto para evaluar	Si	No	Tal vez	Observación
1	Los datos provenientes del prototipo son precisos				
2	La reacción del prototipo al cambio de niveles de los parámetros de la calidad del aire es eficiente				
3	Los tiempos de acción del prototipo son rápidos				
4	Los reportes y sugerencias son generados de manera oportuna				
5	Los reportes y sugerencias que son generados son claros y legibles				

## Anexo 3 - Instrumentos de recopilación de datos

Fecha:	
Analizador/es:	
Número de prueba	

Registro de acuerdo con lo analizado:

Algoritmo trabajado	Exhaustividad	Precisión	F1 Score	Observación

#### Anexo 4 – Pruebas del primer escenario (Carpintería)



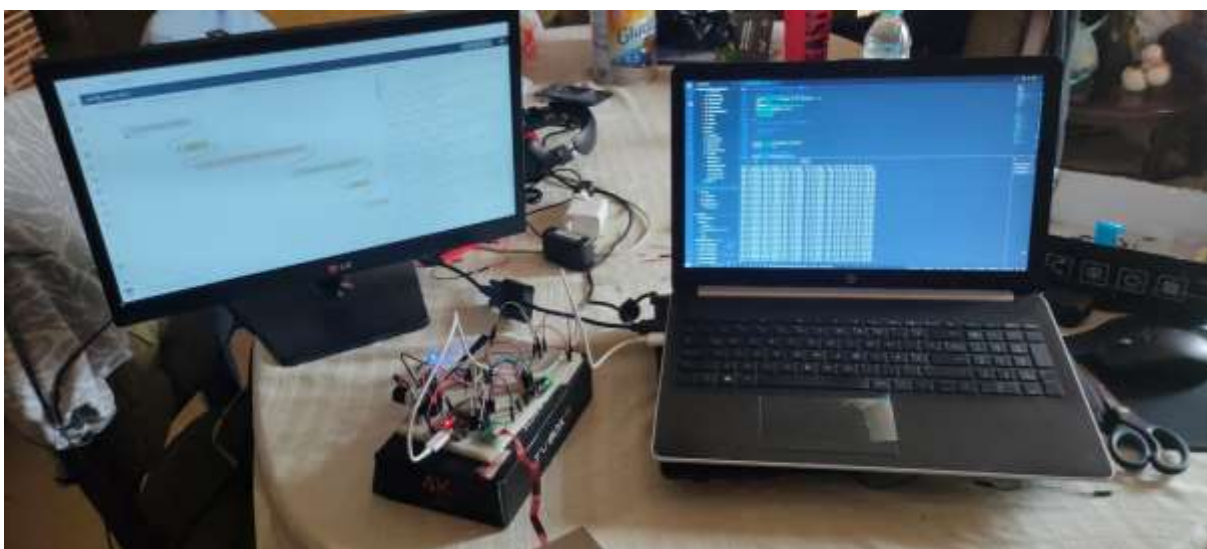
**Anexo 5 – Pruebas del segundo escenario (Hogar)**



**Anexo 6 – Pruebas del tercer escenario (Cámara de humo)**



**Anexo 7 – Pruebas de latencia del prototipo**



## APÉNDICES

### Apéndice 1 - Datos recolectados del primer escenario a lo largo de 10 minutos seccionado por cada minuto

Minuto uno – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234

Minuto dos – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
90	75	0,23548387	1,756451607	0	32,27079773	59,5095234
100	85	0,240322575	1,696774185	0	31,64477253	63,04162598
96,33333333	82,66666667	0,240860209	1,688172062	0	31,59094047	62,77920532
94,5	80	0,241935477	1,687096775	0	31,55679989	62,72305107
94,66666667	80	0,238709673	1,677419345	0	31,52737045	63,32209778
91,5	78	0,238709673	1,672580659	0	31,50165844	62,54190445
90,33333333	76,66666667	0,237634405	1,662365556	0	31,47615623	62,36682129
91	77,5	0,237096772	1,65322578	0	31,45421601	62,00141716
93	78	0,238709673	1,656451583	0	31,4375639	62,46764755

Minuto tres – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
96,66666667	81,66666667	0,238709673	1,656989217	0	31,41583252	63,38541921
96	79,5	0,237096772	1,656451583	0	31,39043522	63,72627449
91,66666667	77	0,239784941	1,649462342	0	31,36482938	63,89311473
92	77	0,245161295	1,645161271	0	31,33482552	63,88712693
92	77	0,243548386	1,637096763	0	31,3107872	63,66930771
91,66666667	76,66666667	0,245161285	1,627956986	0	31,28020859	63,18737793
91	78	0,245161295	1,620967746	0	31,25329113	62,98899269

91	77,33333333	0,24731182	1,61182793	0	31,23821068	62,84004339
91,5	78	0,248387083	1,604838729	0	31,23098469	62,44475174
91,5	79,5	0,246774189	1,606451631	0	31,22862721	62,65034485

Minuto cuarto – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
94	82	0,246774189	1,598387063	0	31,23334122	63,16517639
96,33333333	83,66666667	0,24731182	1,598924677	0	31,23967679	63,06352107
100	88,5	0,248387083	1,599999905	0	31,2476368	63,46231079
98,5	86,5	0,248387083	1,601612866	0	31,25580597	63,72149086
100	88,66666667	0,248387083	1,597849369	0	31,26606878	63,90658315
108	94,5	0,248387083	1,588709653	0	31,27717114	63,57223511
108,33333333	99,33333333	0,24731182	1,581720432	0	31,28931809	62,93165207
104	95,5	0,246774189	1,574193478	0	31,30104828	62,59097481
102	93,5	0,248387083	1,574193478	0	31,31079006	62,15389252
99	90,33333333	0,248387083	1,583870928	0	31,32136599	62,80849838

Minuto cinco – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
106	94,5	0,248387083	1,58548379	0	31,32634068	63,84499932
111	97	0,246236558	1,575268745	0	31,32681274	63,90057246
102	87,5	0,248387083	1,580645204	0	31,32147026	63,97673416
98,5	84,5	0,249999993	1,574193597	0	31,31471539	64,18311692
95,66666667	82	0,246236558	1,576344053	0	31,2976977	64,34264119
100	85,5	0,245161295	1,566129029	0	31,27245808	64,48609925
103,5	88,5	0,243548386	1,556451619	0	31,24967861	64,21004868
98	83	0,245161295	1,551612854	0	31,22449112	63,75266012
100,5	86,5	0,246774189	1,551612854	0	31,20710564	63,60162926
100,6666667	86	0,24731182	1,550537586	0	31,19788996	63,57639821

Minuto seis – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
96	80,5	0,246774189	1,548387051	0	31,19186879	64,02374077
96	81,33333333	0,246236558	1,550537586	0	31,18835831	64,32482656
95	79	0,248387083	1,545161307	0	31,18778229	64,33268357
100,5	84	0,245161295	1,535483838	0	31,18715382	63,83954049
102,6666667	86	0,244086022	1,531182766	0	31,18521754	63,21051788
98	83	0,245161295	1,527419329	0	31,17977143	63,13965988



95,66666667	81	0,244086022	1,525806427	0	31,17652448	63,24976222
95,5	81	0,245161295	1,522580624	0	31,17568684	62,96641922
94	79,5	0,246774189	1,525806427	0	31,17788697	63,16648484
93,33333333	79,66666667	0,245161295	1,524731159	0	31,17736371	63,77456538

Minuto siete – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
94	79	0,245161295	1,517741919	0	31,17615891	63,93620491
96,33333333	81	0,246236558	1,526881695	0	31,17327881	64,13666789
99,5	84,5	0,248387083	1,522580624	0	31,16877461	64,79993058
98	84	0,246774189	1,517741919	0	31,16076374	64,59072876
95,33333333	82	0,24731182	1,510752638	0	31,15474002	63,96790441
94,5	80,5	0,245161295	1,499999941	0	31,15573502	63,73596573
95,33333333	81,66666667	0,246236558	1,501075188	0	31,1621774	63,03757858
98	82,5	0,246774189	1,501612842	0	31,16798878	63,41219521
95	80	0,246774189	1,49032259	0	31,17348766	63,29113197
91,66666667	75,33333333	0,246236558	1,480645061	0	31,18155161	62,59902318

Minuto ocho – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
83,3333	69,666667	0,2483870	1,48709666	0	31,1982034	62,5611153
96,5	80	0,2499999	1,48870962	0	31,20804882	62,8937836
107	92,5	0,2516128	1,49677419	0	31,21417618	63,3654328
110,33333	97,33333	0,2548387	1,50215049	0	31,22051175	63,7678515
115	99	0,2564516	1,51774191	0	31,22595596	64,1856995
122	104,5	0,2596774	1,51935482	0	31,23396969	64,0951577
113,3333	99	0,2602150	1,51827955	0	31,24501864	64,7773692
104	92,5	0,2548387	1,51612901	0	31,25910378	64,7226141
99,6667	87,6667	0,2698924	1,510752678	0,000003011	31,27120018	64,7611923
98,5	87,5	0,2629032	1,501612842	0,000000951	31,28471089	64,5973396

Minuto nueve – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
99	88	0,254838705	1,503225804	0,000001796	31,29240895	63,76478196
101	90,6667	0,254838705	1,503225684	0,000001371	31,29979261	63,4774793
100	90	0,251612902	1,498387099	0,000020595	31,30324745	63,26108933
98,66667	88,6667	0,253763437	1,496774197	0,000003639	31,30691465	63,3950119
99	88,5	0,253225804	1,493548393	0,000018885	31,30827523	63,32291603

97,5	86	0,254838705	1,495161295	0,000024269	31,31110192	62,97118378
100	86,6667	0,253763437	1,487096747	0,000005475	31,31194051	62,41721725
99	85	0,254838705	1,487096667	0,000005897	31,31487465	62,27927971
97	82,3333	0,253763437	1,487096747	0,000030063	31,31864294	62,4496994
99	85	0,253225804	1,483870983	0,000025047	31,32335472	62,46619988

Minuto diez – Carpintería						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
98	84,6667	0,250537629	1,483870904	0,00005586	31,33183988	62,46754964
98	84	0,251612902	1,475806475	0,000049615	31,33796501	62,45839882
98	84	0,249999993	1,47096777	0,000033851	31,34173584	62,12849045
97	82,6667	0,251612902	1,473118265	0,000047024	31,34126472	62,39033508
94,5	81,5	0,251612902	1,47096765	0,000058243	31,3374939	62,52585411
95	82	0,251612902	1,474193573	0,000077156	31,33545208	62,32302284
98,6667	83,3333	0,253763437	1,474193573	0,000068666	31,33424886	62,7991778
97,5	82,5	0,253225804	1,467741966	0,000062401	31,33702183	63,40887451
98	83,6667	0,253763437	1,465591351	0,00004702	31,34074211	63,4592069
98,5	84,5	0,256451607	1,459677398	0,000048341	31,34346295	63,29804421

**Apéndice 2 - Datos recolectados del segundo escenario a lo largo de 10 minutos seccionado por cada minuto**

Minuto uno – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
10	4	0,290323	1,395161271	0,000007003113	31,49428	59,51969
7,666666667	3,333333	0,290323	1,393548369	0,000032368598	31,49323	59,51398
3	3	0,291935	1,391935468	0,000007126912	31,49255	59,52941
3	3	0,293548	1,391935468	0,000002506587	31,49192	59,54596
3,333333333	3,333333	0,293548	1,387096763	0,000003216698	31,49134	59,55808
4	4	0,293548	1,387096763	0,000018540500	31,49004	59,5723
6	6	0,294624	1,384946227	0,000014083250	31,48914	59,57327
5	5	0,293548	1,383870959	0,000092922500	31,48705	59,56851
6,5	6	0,327419	1,388709664	0,000101967	31,48564	59,56496
6,666666667	4,666667	0,332258	1,390322566	0,000032752	31,48338	59,66565

Minuto dos – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
4	3	0,33871	1,391935468	0,000062299	31,48218	60,38852
28	27,5	0,3	1,380645156	0,000025492290	31,47998	60,62889
50,66666667	47,33333	0,297849	1,378494621	0,000048861333	31,47658	60,27173
48,5	42	0,3	1,37419343	0,000043391500	31,46883	59,97895
28,66666667	26	0,298925	1,373118202	0,000067826	31,46265	59,82238
20	20	0,3	1,370967686	0,000037774500	31,45547	59,77017
17	17	0,297849	1,373118202	0,000042346	31,44652	59,77767
14	14	0,296774	1,372580588	0,000070207	31,43882	59,78426
12,5	12,5	0,298387	1,367741942	0,000066164	31,43332	59,80341
9,66666667	9,66667	0,3	1,366666674	1,15539E-05	31,43081	59,81969

Minuto tres – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
10	10	0,296774	1,362903238	0	31,42814	59,80927
13	13	0,295699	1,362365604	0	31,42275	59,81178
19	19	0,296774	1,361290276	0	31,41793	59,81437
23	23	0,295161	1,362903238	0	31,41337	59,817
23,33333333	23,33333	0,295699	1,361290296	0	31,41007	59,83205
27	25	0,298387	1,359677375	0	31,40913	59,853
28,66666667	27,33333	0,297849	1,354838649	0	31,40976	59,84089
30	28	0,296774	1,356451571	0	31,40976	59,83978
34,5	33,5	0,293548	1,354838729	0	31,40913	59,82968
41,66666667	41,66667	0,295699	1,354838649	0	31,40955	59,87197

Minuto cuatro – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
38,5	38,5	0,295161	1,353225768	0	31,41164	59,92008
33	32,33333	0,292473	1,353763342	0	31,41468	59,92834
32,5	29,5	0,295161	1,351612926	0	31,41856	59,90449
27,5	24,5	0,295161	1,351612926	0	31,42107	59,86486
22,66666667	21,66667	0,294624	1,348387122	0	31,42337	59,81854
33,5	33,5	0,304839	1,350000024	0	31,42547	59,80887
38,33333333	38,33333	0,296774	1,351612806	0	31,42746	59,85695
42	42	0,293548	1,353225768	0	31,43112	59,92309
42,5	42,5	0,293548	1,348387122	0	31,43364	60,08029

45,33333333	42,66667	0,291398	1,347311775	0	31,43835	60,11662
-------------	----------	----------	-------------	---	----------	----------

Minuto cinco – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
37,33333333	37,33333	0,294624	1,34946235	0	31,44191	59,88808
36,5	36,5	0,293548	1,348387122	0	31,44479	59,86185
41	41	0,290323	1,346774221	0	31,4473	59,85557
45	44,33333	0,293548	1,346236547	0	31,45018	59,82935
50,5	48,5	0,291935	1,343548358	0	31,45343	59,81318
61,33333333	54,33333	0,293548	1,346236587	0	31,45594	59,81023
66,5	57	0,291935	1,346774221	0	31,45752	59,82381
57	50	0,291935	1,343548358	0	31,45814	59,83724
46	43,66667	0,290323	1,344086011	0	31,45689	59,82149
50	47,5	0,290323	1,343548358	0	31,45595	59,80023

Minuto seis – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
54,66666667	50,33333	0,288172	1,344086011	0	31,45752	59,80159
53	49	0,28871	1,345161259	0	31,45908	59,79072
57,5	52	0,28871	1,343548358	0	31,46019	59,77423
62,66666667	53,66667	0,290323	1,338709712	0	31,46443	59,76933
67	57	0,291935	1,341935516	0	31,46993	59,75906
70	58	0,368817	1,352688114	0	31,47888	60,56085
69,5	57	0,314516	1,351612926	0	31,49129	61,88942
67	55	0,296774	1,345161319	0	31,49883	61,67193
57,33333333	51,33333	0,295699	1,338709632	0	31,50475	60,83822
51	48	0,298387	1,340322554	0	31,50637	60,34205

Minuto siete – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
45	44,33333	0,293548	1,338709712	0	31,50349	60,03103
38	38	0,293548	1,338709712	0	31,50134	59,9206
38	38	0,293548	1,341935396	0	31,50134	59,88058
39	39	0,291398	1,334408641	0	31,50129	59,8039
42	42	0,295161	1,337096751	0	31,49993	59,73703
41,33333333	41,33333	0,297849	1,336559097	0	31,49899	59,72134
38	38	0,296774	1,338709712	0	31,49962	59,71699
41	41	0,295161	1,332258105	0	31,50087	59,70053

48	46,33333	0,295699	1,332258026	0	31,50307	59,68199
50	47	0,295161	1,332257986	0	31,50559	59,66794

Minuto ocho – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
42	40	0,295161	1,335483789	0	31,50417	59,65107
42	40	0,293548	1,333870947	0	31,49993	59,65374
42,33333333	40,66667	0,291398	1,332258105	0	31,49312	59,68712
39,5	39,5	0,291935	1,332257986	0	31,48768	59,70515
38,33333333	38,33333	0,294624	1,332258105	0	31,48349	59,70562
38	35	0,290323	1,332258105	0	31,48281	59,7244
36,5	35	0,290323	1,330645144	0	31,48281	59,70108
37	34,66667	0,291398	1,33010749	0	31,48726	59,68621
34	32	0,290323	1,330645144	0	31,48972	59,79881
32,33333333	30,66667	0,297849	1,333333333	0	31,48862	60,20899

Minuto nueve – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
28,5	28,5	0,322581	1,338709593	0	31,48406	60,04137
24,5	24,5	0,293548	1,333870947	0	31,47825	59,89036
24,33333333	24,33333	0,291398	1,332258105	0	31,47438	59,82863
27	25	0,28871	1,327419281	0	31,47244	59,79278
27,33333333	24,66667	0,296774	1,329032183	0	31,47249	59,89731
30	28	0,304839	1,335483789	0	31,46631	60,31243
31	27	0,293548	1,329032183	0	31,45987	60,21121
28,33333333	23,33333	0,289247	1,329032222	0	31,45364	60,06335
30,5	27	0,287097	1,324193537	0	31,44903	60,00926
33,33333333	30,66667	0,284946	1,322580695	0	31,44484	59,92632

Minuto diez – Hogar sano						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
32	30	0,287097	1,327419281	0	31,44306	59,86825
31,5	30	0,28871	1,327419281	0	31,44479	59,86185
26,66666667	26,66667	0,291398	1,334408561	0	31,44778	59,84898
25	25	0,290323	1,332258105	0	31,45233	59,97641
28,33333333	28,33333	0,290323	1,326881647	0	31,45909	60,13095
29	29	0,291935	1,327419281	0	31,46207	60,06799
27,5	27,5	0,290323	1,327419281	0	31,4605	60,0077

23,66666667	23,66667	0,289247	1,323655844	0	31,45793	59,98839
22	22	0,287097	1,322580695	0	31,4539	59,93995
21,66666667	21,66667	0,288172	1,319354773	0	31,45228	59,91635

**Apéndice 3: Datos recolectados del tercer escenario a lo largo de 10 minutos seccionado por cada minuto.**

Minuto uno – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
199	177,5	0,408065	1,432258	0,035715508	30,32298279	70,73834
196	172	0,409677	1,432258	0,035272723	30,32203961	70,7732
197	168,5	0,408065	1,430645	0,032613103	30,32203961	70,75919
204	174,6667	0,406452	1,430108	0,033710082	30,32036336	70,44396
200	180,5	0,403226	1,429032	0,030572026	30,31999684	70,16074
191	179	0,406452	1,429032	0,033556204	30,32062531	70,14339
197,5	183,5	0,404839	1,429032	0,031862661	30,32141114	70,03178
218,5	189,5	0,404839	1,427419	0,030489237	30,32156849	69,90966
230,5	190	0,406452	1,427419	0,030721653	30,32031155	69,84665
240,5	199,5	0,406452	1,427419	0,030991578	30,32031155	69,89898

Minuto dos – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
212	184	0,404839	1,422581	0,032792616	30,32109642	70,1784
212,5	181	0,403226	1,427419	0,028573044	30,32219697	70,30788
222	187	0,403226	1,427419	0,028376502	30,32345486	70,29411
217	181	0,401613	1,424194	0,029205503	30,32266808	70,14374
212,5	172	0,4	1,424194	0,031867842	30,32141114	70,07019
221,5	183,5	0,4	1,425806	0,03172613	30,32093907	70,07709
238,5	197	0,4	1,425806	0,029529127	30,32109642	69,97588
232	193	0,398387	1,422581	0,033901554	30,32062531	69,87461
228,5	192,5	0,4	1,422581	0,031987443	30,32015419	69,8222
214	182	0,402151	1,424731	0,027489698	30,31983948	69,77101

Minuto tres – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
216,5	183,5	0,412903	1,427419	0,037288331	30,31921005	69,88484
217,5	182	0,419355	1,429032	0,031649565	30,31811237	69,97188
222,5	188	0,430645	1,427419	0,025333852	30,31889725	70,00692
221	188	0,437097	1,430645	0,033651208	30,31873989	70,03482

215,5	182,5	0,440323	1,430645	0,031862661	30,31873989	70,0418
257	220	0,443548	1,429032	0,032921193	30,31873989	70,04878
283,5	239,5	0,451613	1,430645	0,027744395	30,31921101	70,0349
269	232,5	0,466129	1,437097	0,031716721	30,31999684	70,049
307	265,5	0,490323	1,464516	0,027919853	30,31999684	70,06296
472	376,5	0,495161	1,48871	0,02827197	30,31968213	70,0664

Minuto cuatro – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
582	444,5	0,524194	1,458064	0,027407396	30,31983948	70,06293
662,5	505,5	0,553226	1,46129	0,032162365	30,31983948	70,04897
957	726	0,56129	1,46129	0,034065941	30,31983948	70,05944
918,6666667	705	0,610753	1,468817	0,028918435	30,31868744	70,10116
899,5	682	0,614516	1,475806	0,031441438	30,31889629	71,00069
963	729	0,609677	1,480645	0,031895037	30,32203961	71,94607
1072	809	0,604839	1,475806	0,032839202	30,32392597	72,33045
1140	856	0,601613	1,474194	0,031362834	30,32596588	72,54955
1085	831,5	0,6	1,474194	0,036956307	30,32942391	72,64548
1041,5	803,5	0,593548	1,472581	0,037074818	30,33162022	72,67059

Minuto cinco – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
987,5	766,5	0,587097	1,474194	0,035097449	30,33397865	72,60744
988	749,5	0,585484	1,474194	0,032931898	30,33350659	72,45206
971,5	750	0,583871	1,474194	0,042519899	30,33303547	72,28267
961,5	748	0,585484	1,470968	0,038784501	30,33334923	72,18402
947	742	0,582258	1,470968	0,031176186	30,33319188	72,14171
921,5	717	0,580645	1,470968	0,038630609	30,33256436	71,96552
875	676,5	0,579032	1,470968	0,035277695	30,33209229	71,62767
860	671,5	0,577419	1,469355	0,036589576	30,33146477	71,39915
849	662	0,575806	1,470968	0,039024473	30,33020973	71,32167
838,5	658,5	0,575806	1,469355	0,033882272	30,32958031	71,34263

Minuto seis – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
865	666	0,569355	1,469355	0,032753948	30,3291092	71,5498
816,5	638	0,572581	1,469355	0,027233912	30,32863808	71,46188
788,5	605,5	0,569355	1,470968	0,036149498	30,32895279	71,41626

772,5	606,5	0,569355	1,469355	0,036956307	30,32769489	71,22647
737	590,5	0,569355	1,470968	0,033235883	30,32816601	70,91091
708	580	0,569355	1,469355	0,031863956	30,32832337	70,82333
717	587,5	0,566129	1,469355	0,033033704	30,32706547	70,73557
777,5	605	0,562903	1,464516	0,0338869	30,32533741	70,18265
795	614,5	0,56129	1,467742	0,036579142	30,32518006	70,21407
803,5	624	0,56129	1,467742	0,029057645	30,32486725	70,63015

Minuto siete – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
675,5	531,5	0,553226	1,462903	0,029052129	30,32439518	70,67907
707,5	543,5	0,541935	1,459677	0,029257688	30,32549477	70,78081
726	556	0,494624	1,449462	0,029671466	30,3242391	70,74792
670	517	0,458065	1,432258	0,037583914	30,32204056	70,01095
601,3333333	472,3333	0,466667	1,421505	0,031205967	30,3194205	69,21619
456,5	364	0,470968	1,422581	0,031719298	30,3171711	68,68759
471,5	374	0,479032	1,420968	0,030733599	30,31418515	68,54139
460	365	0,46129	1,425806	0,028524255	30,31135941	68,4369
494,3333333	404,6667	0,458064	1,425806	0,030210532	30,30915832	68,32101
538	438,5	0,477419	1,429032	0,031832786	30,30742932	68,34959

Minuto ocho – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
611	499	0,482258	1,433871	0,029771549	30,30444717	68,31097
605	495,5	0,480645	1,432258	0,032213069	30,30460262	68,3907
551	446,5	0,482258	1,430645	0,030867593	30,30475998	68,51551
507,5	413,5	0,482258	1,432258	0,025809671	30,30413246	68,50153
523	422	0,482258	1,433871	0,027747773	30,30460358	68,34565
572	470,5	0,482258	1,43871	0,030062148	30,30523014	68,31112
568	470,5	0,479032	1,43871	0,030473161	30,30680084	68,36681
589	486,5	0,479032	1,440323	0,031742496	30,30758667	68,39467
624,6666667	500,6667	0,477419	1,444086	0,032712786	30,30915833	68,39493
585,5	487,5	0,479032	1,443548	0,029512366	30,31041527	68,39861

Minuto nueve – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
620	504,5	0,479032	1,448387	0,035100252	30,31559945	68,32326
619	507,5	0,482258	1,45	0,033681527	30,3173275	68,30275



627,5	509	0,480645	1,451613	0,037164229	30,31905365	68,30305
593,5	495,5	0,485484	1,459677	0,0381916	30,32109642	68,29301
600,5	509	0,48871	1,470968	0,032612039	30,32235432	68,28629
613	514	0,493548	1,490323	0,031862661	30,32518005	68,27985
633	516,3333	0,498925	1,511828	0,030275698	30,32706642	68,27555
630,5	516,5	0,514516	1,558064	0,03461051	30,32863712	68,26657
631,5	522	0,540323	1,558065	0,031987797	30,33020973	68,25991
653,5	549,5	0,596774	1,543548	0,030297664	30,33036709	68,24262

Minuto diez – Cámara de humo						
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	TEMP	HUM
971	770	0,701613	1,572581	0,032887204	30,33555031	68,22964
1816	1259,5	0,716129	1,606452	0,033383118	30,33586407	68,22277
2055	1421	0,735484	1,621505	0,02879267	30,33701579	68,2195
2760,5	1744	0,775806	1,632258	0,032178048	30,33821869	68,2197
2721,5	1758	0,806452	1,63871	0,033395333	30,33821964	68,20932
2612	1729	0,819355	1,646774	0,033691112	30,33916187	68,21986
3188,5	1872,5	0,833871	1,662903	0,039163649	30,33916188	68,22333
3284,5	1913	0,835484	1,679032	0,036245613	30,33979035	68,22689
3480	1993	0,833871	1,685484	0,03455207	30,33931923	68,21989
3464	1972	0,827419	1,691935	0,032945285	30,33963299	68,22687