



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y DISEÑO DIGITAL
CARRERA DE TELEMÁTICA

Proyecto de Integración
Curricular previa la
obtención del Grado
Académico de Ingeniero en
Telemática

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
SISTEMA TELEMÁTICO PARA EL MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES
Y CALIDAD DEL AIRE EN LA PARROQUIA PATRICIA PILAR

AUTOR:

MAIGUA CERVANTES ALEXANDER JOSEPH

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

ING. ZHUMA MERA EMILIO RODRIGO, MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2025



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Maigua Cervantes Alexander Joseph**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Maigua Cervantes Alexander Joseph

C.I:2300562812



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Zhuma Mera Emilio Rodrigo, MSc.** Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Maigua Cervantes Alexander Joseph, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“Sistema telemático para el monitoreo de variables ambientales y calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar”**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Telemática, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Zhuma Mera Emilio Rodrigo, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito, **Ing. Zhuma Mera Emilio Rodrigo, MSc**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe de proyecto de Investigación titulado **“Sistema telemático para el monitoreo de variables ambientales y calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar”** Presentado por el estudiante Maigua Cervantes Alexander Joseph, egresado de la Carrera de Ingeniero en Telemática, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Computación y Diseño Digital, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis del sistema COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 96% y similitud 2%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS ALEXANDER MAIGUA FINAL intro y recomendaciones

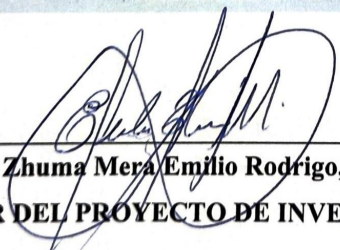
4%
Textos
sospechosos

2% Similitudes
0% similitudes
entre comillas
0% entre las
fuentes
mencionadas
5% Idiomas no
reconocidos
(ignorado)

Nombre del documento: TESIS ALEXANDER MAIGUA FINAL intro y
recomendaciones.pdf
ID del documento: 1d52fdb15d7441c9fd1a047bd02fb29c1d28f2
Tamaño del documento original: 2,11 MB

Depositante: EMILIO RODRIGO ZHUMA MERA
Fecha de depósito: 12/11/2025
Tipo de carga: Interface
Fecha de fin de análisis: 12/11/2025

Número de palabras: 12.807
Número de caracteres: 88.333


Ing. Zhuma Mera Emilio Rodrigo, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN Y DISEÑO DIGITAL
CARRERA DE TELEMÁTICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO:

**“SISTEMA TELEMÁTICO PARA EL MONITOREO DE VARIABLES
AMBIENTALES Y CALIDAD DEL AIRE EN LA PARROQUIA PATRICIA
PILAR”**

Presentado al Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Computación y Diseño Digital, como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Telemática

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Meneses Narvaez Santiago Javier, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Jose Luis Tubay Vergara, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Anthony Limber Moran Cabezas, MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, la claridad y la determinación necesarias para superar cada obstáculo y llegar a esta etapa académica. Su guía ha sido un pilar constante en mi vida y en este proceso.

A mis compañeros y amigos, quienes hicieron que mi vida universitaria fuera más amena y alegre. Gracias por las risas, por el apoyo en los días de cansancio, por los trabajos interminables compartidos y por cada momento que convirtió esta experiencia en algo inolvidable. Su compañía fue una parte esencial del camino.

A todo el personal docente y a todas las personas que han sido parte de mi formación, gracias por compartir su conocimiento y por acompañarme durante este proceso. Con ustedes aprendí que el aprendizaje no solo está en los libros, sino también en la experiencia y en el esfuerzo diario.

Alexander Joseph Maigua Cervantes

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Raúl Oswaldo Maigua Muñoz y María Luisa Cervantes Gamarra, quienes con su esfuerzo diario, su ejemplo y su amor incondicional han marcado el camino que sigo. Todo lo que soy y lo que hoy logro se sostiene en los valores que me enseñaron, en sus sacrificios silenciosos y en la fortaleza con la que siempre me han acompañado. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por impulsarme a seguir y por enseñarme que la constancia y el corazón pueden llevarnos más lejos de lo que imaginamos.

A mis hermanas, Karen Maigua y Katherine Maigua, cuya constancia, cariño y forma de ver la vida se han convertido en mi inspiración para seguir adelante. Gracias por ser mi motivación silenciosa y mi apoyo en cada paso.

A mi enamorada, Ana Cedeño, por acompañarme con paciencia, cariño y fe en cada etapa de este proceso. Gracias por ser mi apoyo constante, por animarme cuando dudé de mí mismo y por creer en mí incluso en los días difíciles. Esta meta también es tuya, porque tu presencia ha sido una parte esencial de mi camino.

Alexander Joseph Maigua Cervantes

RESUMEN

El presente proyecto desarrolla un sistema telemático para el monitoreo de variables ambientales y calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar, ubicada al norte de la provincia de Los Ríos, Ecuador. La zona enfrenta altos niveles de contaminación atmosférica debido al intenso tráfico vehicular en la Vía E25, la proximidad de industrias y la ausencia de un sistema de vigilancia ambiental en tiempo real. Esta situación ha generado preocupación por los efectos negativos en la salud de la población y el ecosistema local. El sistema propuesto integra sensores IoT para la medición continua de contaminantes como monóxido de carbono y material particulado fino, transmitiendo los datos en tiempo real a una plataforma web interactiva que permite visualizar los niveles de contaminación y generar alertas automáticas cuando se superan los límites establecidos. El proyecto incluye la identificación y evaluación de sensores adecuados, el desarrollo de la infraestructura de transmisión de datos y la creación de una interfaz web amigable. Los resultados obtenidos demuestran la factibilidad técnica y operativa del sistema, así como su potencial para mejorar la gestión ambiental y la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades y la comunidad. Esta iniciativa contribuye a la protección de la salud pública y al desarrollo de políticas ambientales más eficientes, sirviendo como modelo replicable para otras zonas con problemas similares de contaminación del aire.

Palabras clave: Internet de las cosas (IoT), Sensores, Plataforma web, Contaminación atmosférica, Alertas automáticas.

ABSTRACT

This project presents the development of a telematic system for monitoring environmental variables and air quality in the Patricia Pilar parish, located in the northern region of Los Ríos province, Ecuador. The area experiences high levels of air pollution due to heavy vehicular traffic on the E25 highway, nearby industries, and the lack of a real-time environmental monitoring system. This scenario raises concerns about the negative impacts on public health and local ecosystems. The proposed system integrates IoT sensors for continuous measurement of pollutants such as carbon monoxide and fine particulate matter, transmitting real-time data to an interactive web platform that visualizes pollution levels and generates automatic alerts when established thresholds are exceeded. The project encompasses the identification and evaluation of suitable sensors, the development of a data transmission infrastructure, and the creation of a user-friendly web interface. The results demonstrate the technical and operational feasibility of the system and its potential to enhance environmental management and informed decision-making by authorities and the community. This initiative contributes to public health protection and the development of more effective environmental policies, serving as a replicable model for other areas facing similar air pollution challenges.

Keywords: Internet of Things (IoT), Sensors, Web platform, Atmospheric pollution, Automatic alerts.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CÓDIGO DUBLIN	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Problematización	3
1.1.1. Planteamiento del problema	3
1.1.2. Diagnostico.....	4
1.1.3. Pronostico	4
1.1.4. Formulación del problema.....	5
1.1.5. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. General.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación.....	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Marco conceptual	8
2.1.1. Contaminación.....	8

2.1.1.1.	Contaminación atmosférica	8
2.1.1.2.	Calidad del aire	8
2.1.1.3.	Índice de calidad del aire (ICA)	8
2.1.2.	Fuentes de contaminación	9
2.1.2.1.	Fuentes naturales	9
2.1.2.2.	Fuentes antropogénicas.....	9
2.1.3.	Contaminantes atmosféricos.....	10
2.1.3.1.	Principales contaminantes atmosféricos.....	10
2.1.3.2.	Monóxido de carbono (CO).....	10
2.1.3.3.	Dióxido de carbono (CO ₂)	10
2.1.3.4.	Compuestos orgánicos volátiles (COV)	10
2.1.3.5.	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	10
2.1.3.6.	Material Particulado (PM).....	10
2.1.3.7.	Ácido Nítrico (HNO ₃).....	11
2.1.3.8.	Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄).....	11
2.1.3.9.	Amonio (NH ₄).....	11
2.1.3.10.	Ozono (O ₃).....	11
2.1.4.	Efectos de la contaminación del aire	11
2.1.4.1.	Efectos en la salud de las personas	11
2.1.4.2.	Contaminación del aire y sus impactos en la salud	12
2.1.5.	Variables Ambientales.....	12
2.1.5.1.	Temperatura.....	12
2.1.5.2.	Humedad.....	13
2.1.5.3.	Presión barométrica o atmosférica	13
2.1.6.	Fundamentos tecnológicos del sistema.....	13
2.1.6.1.	Base de datos	13
2.1.6.2.	Internet de las cosas	13

2.1.6.3.	Sensores	13
2.1.7.	Tipos de sensores.....	14
2.1.7.1.	MQ-5	14
2.1.7.2.	MQ-131	16
2.1.7.3.	MQ-7	19
2.1.7.4.	BME280	20
2.1.7.5.	Dsm501a.....	21
2.1.8.	Medios y tecnologías de comunicación.....	22
2.1.8.1.	Medios de transmisión.....	22
2.1.8.1.1.	Medios guiados.....	22
2.1.8.1.2.	Par trenzado	22
2.1.8.1.3.	Cable coaxial	23
2.1.8.1.4.	Fibra óptica.....	23
2.1.8.2.	Medios no guiados.....	23
2.1.8.2.1.	Bluetooth	23
2.1.8.2.2.	Radiofrecuencia (RF)	23
2.1.8.2.3.	Wi-Fi.....	24
2.1.8.2.4.	Infrarrojos (IR),	24
2.2.	Marco Referencial	24
2.3.	Marco legal.....	26
2.3.1.	Norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente libro vi anexo 4.....	26
2.3.2.	Plan nacional de calidad del aire	26
2.3.3.	Ley de prevención y control de la contaminación ambiental	26
2.3.4.	Acuerdo ministerial no. 028	26
CAPÍTULO III		28
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		28
3.1.	Metodología.....	29

3.1.1	Localización.....	29
3.2	Tipo de investigación	29
3.2.1.	Investigación Descriptiva	30
3.2.2.	Investigación Aplicada	30
3.3.	Método de Investigación	30
3.4.	Diseño de Investigación.....	31
3.4.1.	Diseño no experimental	31
3.4.2.	Diseño bibliográfico	31
3.5.	Fuentes de Recopilación de Información	31
3.6.	Estructura de la Investigación.....	32
3.7.	Software.....	33
CAPÍTULO IV		34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		34
4.1.	Identificación de Variables ambientales.....	35
4.1.1.	Fuentes generales de contaminación del aire	35
4.1.2.	Variables de estudio.....	36
4.1.2.	Identificación de Componentes	38
4.1.2.1.	Sensores.....	38
Discusión		42
4.2.	Sistema de monitoreo ambiental y calidad del aire	43
4.2.1.	Implementación del sistema Basado en internet de las cosas para monitoreo ambiental43	
4.2.2.	Conexiones del dispositivo	45
4.2.2.1.	Conexiones del bme280	45
4.2.2.2.	Conexiones del Mq-5	45
4.2.2.3.	Conexiones del Mq-131	46
4.2.2.4.	Conexiones del Mq-7	47

4.2.2.5.	Conexiones del DSM501a	47
4.2.3.	Calibración	50
4.2.4.	Tecnología de comunicación	50
4.2.5.	Creación y configuración de la base de datos en tiempo real.....	51
4.2.6.	Arquitectura del sistema IoT para monitoreo ambiental	52
4.2.7.	Discusión	53
4.3.	Diseño del tablero para la visualización en tiempo real de la calidad del aire	54
4.3.1.	Desarrollo e implementación del dashboard para el monitoreo ambiental	54
4.3.1.2.	Comparativa de herramientas para el desarrollo del dashboard	55
4.3.2.	Estructura y Funcionalidad del Panel de Monitoreo	56
4.3.2.1.	Monitoreo	56
4.3.2.2.	Sensores	57
4.3.2.3.	Alertas.....	57
4.3.2.4.	Histórico	58
4.3.3.	Aspectos técnicos del desarrollo.....	59
4.3.4.	Impacto y aportes del dashboard	60
4.3.5.	Discusión	60
CAPÍTULO V		62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		62
5.1.	Conclusiones.....	63
5.2.	Recomendaciones	64
CAPÍTULO VI		65
BIBLIOGRAFÍA		65
6.1.	BIBLIOGRAFÍA	66
CAPÍTULO VII.....		72
ANEXOS		72

ÍNDICE DE TABLA

Tabla I. Recursos de Software	33
Tabla II. Fuentes generales de contaminación del aire potencialmente presentes en Patricia Pilar	35
Tabla III. Comparativa de variables de estudio	36
Tabla IV. Comparativa de Sensores MQ	38
Tabla V. Comparativa de sensores de temperatura y humedad.....	39
Tabla VI. Comparativa entre sensores de partículas.....	40
Tabla VII. Comparativa entre microcontroladores	43
Tabla VIII. Conexiones de Sensores al ESP32	48
Tabla IX. Tecnologías de comunicación	50
Tabla X. Comparativa de herramientas para el desarrollo del dashboard	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.	Conceptos básicos de AQI para el ozono y la contaminación por partículas.....	9
Fig. 2.	Sensor mq-5.....	14
Fig. 3.	Circuito interno del sensor mq-5.	15
Fig. 4.	Curva de sensibilidad. mq-5	15
Fig. 5.	Dependencia con temperatura y humedad. mq-5	16
Fig. 6.	Sensor mq-131	17
Fig. 7.	Circuito interno del sensor mq-131	17
Fig. 8.	Curva de sensibilidad. mq-131	18
Fig. 9.	Dependencia con temperatura y humedad. mq-131	18
Fig. 10.	Sensor mq-7.....	19
Fig. 11.	Dependencia con temperatura y humedad. mq-7	20
Fig. 12.	Sensor BME280.....	21
Fig. 13.	Sensor dsm501a.....	21
Fig. 14.	Mapa de la parroquia Patricia pilar.....	29
Fig. 15.	Conexión realizada entre el ESP32 y el BME280.....	45
Fig. 16.	Conexión realizada entre el ESP32 y el Mq-5.....	46
Fig. 17.	Conexión realizada entre el ESP32 y el Mq-131.....	46
Fig. 18.	Conexión realizada entre el ESP32 y el Mq-131.....	47
Fig. 19.	Conexión realizada entre el ESP32 y el Mq-131.....	47
Fig. 20.	Esquema eléctrico del prototipo IoT para monitoreo ambiental	48
Fig. 21.	Preparación del proyecto y configuración de Firebase para almacenamiento en tiempo real	52
Fig. 22.	Configuración de la base de datos en tiempo real en Firebase	52
Fig. 23.	Arquitectura del sistema IoT	53
Fig. 24.	Apartado Monitoreo	56
Fig. 25.	Apartado Sensores	57
Fig. 26.	Apartado Alertas.....	58

Fig. 27.	Apartado histórico variable temperatura	59
Fig. 28.	Código en Visual Studio Code	59

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Prototipo baso en internet de las cosas	72
Anexo 2. Codificación para conectar a Esp32 a Firebase	72
Anexo 3. Apartado sensores en la web	73
Anexo 4. PCB Esp32.....	73
Anexo 5. Pistas del PCB	74
Anexo 6. Case en impresión 3D	74
Anexo 7. Sensores dentro del case protector.....	75
Anexo 8. PCB junto a la fuente de Alimentación	75
Anexo 9. Dispositivo IoT	76
Anexo 10. Código de Arduino IDE.....	76

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Sistema telemático para el monitoreo de variables ambientales y calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar		
Autor:	Maigua Cervantes Alexander Joseph		
Palabras claves:	Internet de las cosas (IoT)	Sensores	Plataforma web
Fecha de publicación:	Noviembre del 2025		
Editorial:	Quevedo- UTEQ, 2025		
Resumen:	El presente proyecto desarrolla un sistema telemático para el monitoreo de variables ambientales y calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar, ubicada al norte de la provincia de Los Ríos, Ecuador. La zona enfrenta altos niveles de contaminación atmosférica debido al intenso tráfico vehicular en la Vía E25, la proximidad de industrias y la ausencia de un sistema de vigilancia ambiental en tiempo real. Esta situación ha generado preocupación por los efectos negativos en la salud de la población y el ecosistema local. El sistema propuesto integra sensores IoT para la medición continua de contaminantes como monóxido de carbono y material particulado fino, transmitiendo los datos en tiempo real a una plataforma web interactiva que permite visualizar los niveles de contaminación y generar alertas automáticas cuando se superan los límites establecidos.		
Abstract:	This project presents the development of a telematic system for monitoring environmental variables and air quality in the Patricia Pilar parish, located in the northern region of Los Ríos province, Ecuador. The area experiences high levels of air pollution due to heavy vehicular traffic on the E25 highway, nearby industries, and the lack of a real-time environmental monitoring system. This scenario raises concerns about the negative impacts on public health and local ecosystems. The proposed system integrates IoT sensors for continuous measurement of pollutants such as carbon monoxide (CO) and fine particulate matter (PM2.5), transmitting real-time data to an interactive web platform that visualizes pollution levels and generates automatic alerts when established thresholds are exceeded.		
Descripción:	105 hojas : dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162		
URI:			

INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva global, la calidad del aire se ha consolidado como un indicador crucial del estado ambiental y de la salud humana. Según el World Air Quality Report 2024 de Prana Air, numerosas ciudades en el mundo presentan índices de contaminación que superan los límites recomendados, afectando a millones de personas y generando impactos significativos en los ecosistemas[1]. Además, en las américas se estimó que la contaminación del aire ocasiona aproximadamente 367.000 muertes al año, lo que subraya la urgencia de adoptar estrategias globales e innovadoras para el monitoreo y la mejora de la calidad del aire[2].

En Ecuador, la calidad del aire presenta un nivel de contaminación aproximadamente un 30% superior al nivel seguro recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que ha provocado que cerca de 1,771 personas mueran por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica cada año, de las cuales 86 son niños[3]. La cardiopatía isquémica es la principal enfermedad causada por la contaminación del aire en el territorio nacional.

En Patricia Pilar, al norte de Los Ríos, el equilibrio ecológico se ve amenazado por el tráfico intenso de la Vía E25 y sus ramales hacia Santo Domingo y Quevedo, junto con emisiones de industrias cercanas. Estas fuentes liberan monóxido de carbono (CO) y material particulado fino (PM2.5), contaminantes que deterioran el aire y perjudican la salud de la población[4]. Para contrarrestar esta situación ya se instalaron sistemas IoT de monitoreo en tiempo real, gracias a los cuales ahora se vigilan y gestionan los niveles de contaminación con mayor eficacia.

La organización este estudio se distribuye del modo siguiente: el Capítulo I ofrece el contexto general de la propuesta, detallando la situación problemática, los objetivos trazados y la motivación que respalda su realización. El Capítulo II desarrolla la base teórica, donde se exponen los fundamentos conceptuales y el marco referencial que sustenta la investigación. En el Capítulo III se describe la construcción del prototipo, explicando paso a paso las etapas técnicas llevadas a cabo. Finalmente, el Capítulo IV recoge y analiza los resultados obtenidos a lo largo del proceso.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problematización

1.1.1. Planteamiento del problema

A nivel global, la calidad del aire se ha convertido en un indicador crítico del estado ambiental y de la salud pública, dado que las emisiones masivas derivadas de actividades industriales, transporte, agricultura, manejo inadecuado de residuos y actividades domésticas alteran significativamente la atmósfera. En Ecuador, diferentes ciudades enfrentan desafíos evidentes con altos niveles de contaminantes, lo que ha puesto en alerta a las autoridades nacionales sobre la necesidad de soluciones innovadoras para monitorear y gestionar la contaminación.

En la parroquia Patricia Pilar se registra una problemática acentuada por el constante flujo vehicular en la Vía E25, la presencia de rutas internas que conectan con cantones colindantes y la proximidad de algunas industrias, generando elevadas concentraciones de contaminantes que afectan la salud de los habitantes[5]. Además, persiste la carencia de un sistema que monitoree en tiempo real las variables ambientales; esta ausencia dificulta medir de forma rigurosa la calidad del aire, detectar variaciones críticas y, en consecuencia, gestionar de forma eficaz la contaminación atmosférica.

Otro desafío radica en la falta de información consolidada y confiable sobre los diferentes sensores disponibles para medir las variables ambientales. La incertidumbre sobre cuáles dispositivos ofrece la precisión y la fiabilidad necesarias para capturar los datos relevantes impide contar con una base sólida que respalde la evaluación de la contaminación en el área, generando dudas sobre la capacidad de la tecnología actual para abordar el problema de forma efectiva.

Asimismo, existe una notable deficiencia en el desarrollo de un sistema telemático que posibilite la transmisión continua de datos en tiempo real hacia una base de datos centralizada. Sin esta capacidad de recolección y procesamiento automático de la información, resulta difícil identificar tendencias y fluctuaciones en los niveles de contaminantes, lo que dificulta la respuesta inmediata ante episodios críticos y la implementación de acciones de control ambiental.

Finalmente, la falta de una plataforma web interactiva que integre y visualice en tiempo real los niveles de contaminación del aire representa una limitación importante. La carencia de un sistema que genere alertas automáticas cuando se superen los límites establecidos impide que las autoridades y la comunidad cuenten con información accesible y oportuna para tomar decisiones que garanticen la protección y el control de la calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar.

1.1.2. Diagnostico

El análisis de datos e informes previos revela que la calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar se ha visto comprometida por diversas fuentes de contaminación. La actividad vehicular intensa, combinada con otras emisiones urbanas y domésticas, ha llevado a que los niveles de contaminantes atmosféricos se acerquen a los límites establecidos por las normativas ambientales. La falta de un sistema de monitoreo continuo impide la recolección de información precisa sobre la variabilidad de estas emisiones, dificultando la identificación de tendencias y la toma de decisiones basadas en datos actualizados.

1.1.3. Pronostico

Una vez operativo el sistema telemático Patricia Pilar dispondrá de datos continuos sobre co2, pm2.5 y demás variables ambientales, facilitando la detección de tendencias y focos críticos de contaminación. Con el uso de la tecnología IoT, se espera que la capacidad para monitorizar las variables ambientales se incremente significativamente, lo que contribuirá a la protección del medio ambiente al permitir una respuesta ante episodios de alta emisión y proporcionando una herramienta eficaz para su gestión y control.

1.1.4. Formulación del problema

¿Qué variables ambientales se relacionan con la calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar y cómo su variación permite identificar episodios de contaminación atmosférica?

1.1.5. Sistematización del problema

- ¿Qué sensores y dispositivos tecnológicos son los más adecuados para medir las variables ambientales en la parroquia Patricia Pilar, y cómo se comparan en términos de precisión, costo y aplicabilidad?
- ¿Cómo se puede desarrollar un sistema telemático que garantice la transmisión continua de datos en tiempo real a una base de datos para el análisis y procesamiento eficiente de la información recolectada?
- ¿Cómo diseñar una plataforma web interactiva que permita visualizar en tiempo real los niveles de calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar y genere alertas automáticas cuando se sobrepasen los límites establecidos?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Analizar variables ambientales en la Parroquia Patricia Pilar mediante la implementación de un sistema telemático que permita el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire y contaminantes atmosféricos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las variables ambientales prioritarias para la calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar y los sensores idóneos para su medición, con base en una revisión bibliográfica y técnica.
- Desarrollar un dispositivo basado en internet de las cosas que permita la recopilación en tiempo real de la información, para su análisis y procesamiento.
- Diseñar un tablero que permita la visualización en tiempo real los niveles de contaminación del aire, generando alertas automáticas cuando se superen los límites establecidos.

1.3. Justificación

La falta de sistemas de monitoreo continuo de la calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar dificulta la identificación oportuna de los riesgos asociados a los elevados niveles de CO y $\text{PM}_{2.5}$ reconocidos como amenazas para la salud pública. Estudios recientes señalan que, tras la pandemia de covid-19, se registró un aumento notable en los índices de dióxido de nitrógeno y CO , agravando aún más la problemática ambiental. Además, la gran concentración de vehículos y maquinaria pesada en estas zonas incrementa la contaminación, de modo que contar con un sistema IoT para su monitoreo constante y obtención de datos en tiempo real se vuelve esencial para guiar acciones efectivas de prevención y control[6].

Además, los datos disponibles como la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ en el aire de diversas regiones de Ecuador refuerzan la necesidad urgente de monitoreo continuo. La implementación de un sistema basado en IoT permitirá monitorear estos contaminantes en tiempo real, ofreciendo datos precisos que serán cruciales para mejorar la gestión ambiental y la salud pública. La investigación tiene como objetivo no solo proporcionar datos locales, sino también contribuir al desarrollo de políticas públicas eficaces para mitigar la contaminación del aire. Con este estudio, se busca una solución tecnológica que permita una respuesta más ágil ante emergencias de contaminación, beneficiando tanto a las autoridades como a la población.[7]

El propósito de esta investigación es demostrar cómo la tecnología IoT puede ser utilizada de manera práctica para abordar un problema ambiental significativo, mejorando la calidad de vida de los habitantes de estas zonas y sirviendo como modelo para otras áreas que enfrenten problemas similares. La factibilidad técnica, metodológica y práctica del proyecto está respaldada por el avance actual de las tecnologías de monitoreo ambiental, como lo demuestra el caso de Guayaquil, donde se implementó un sistema IoT para la supervisión de contaminantes urbanos. Esto hace viable la implementación y el éxito del sistema propuesto, promoviendo una mayor conciencia y acción frente a la contaminación ambiental.[8]

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.Marco conceptual

2.1.1. Contaminación

2.1.1.1.Contaminación atmosférica

Ocurre cuando nuestra atmósfera se carga con sustancias sólidas, líquidas o gaseosas en niveles mucho más altos de lo que la naturaleza permitiría. ¿El resultado? Afecta nuestra salud, daña ecosistemas y erosiona incluso los materiales que nos rodean. Estos “invitados no deseados” los contaminantes tienen dos caras. A veces vienen de forma natural, como erupciones volcánicas, incendios forestales o brotes de polen. Otras veces, los provocamos nosotros mismos: el humo de los motores de los vehículos, las chimeneas de las industrias, las quemas agrícolas, o incluso el simple acto de tirar residuos al fuego en casa [9].

2.1.1.2.Calidad del aire

La calidad del aire se define por las propiedades del aire que respiramos: el tipo de compuestos que lo integran, sus niveles de concentración y el período durante el cual permanecen en un sitio y momento específicos. Estas condiciones deben mantenerse en valores que salvaguarden el equilibrio ecológico, así como la salud y el bienestar de la población[10].

2.1.1.3.Índice de calidad del aire (ICA)

La calidad del aire puede variar rápidamente, incluso en cuestión de horas. Para evaluar y comunicar estos cambios, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) utiliza el Índice de Calidad del Aire (ICA), una herramienta estandarizada que traduce las concentraciones de contaminantes atmosféricos en un valor numérico comprendido entre 0 y 500. Este índice se calcula a partir de las mediciones de seis contaminantes principales: material particulado fino ($PM_{2.5}$), material particulado grueso (PM_{10}), ozono troposférico (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO). Cada contaminante se evalúa individualmente, y el valor más alto determina el valor final del ICA[11].

Niveles del índice de la calidad del aire preocupantes para la salud	Niveles de preocupación	Valor numérico	Significado
Verde	Bueno	0 a 50	La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica presenta un riesgo escaso o nulo.
Amarillo	Moderado	51 a 100	La calidad del aire es aceptable pero para algunos contaminantes podría existir una preocupación moderada para la salud de un grupo muy pequeño de personas excepcionalmente sensibles a la contaminación ambiental.
Naranja	Insalubre para grupos sensibles	101 a 150	Los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos en la salud. Probablemente no afectará a las personas en general.
Rojo	Insalubres	151 a 200	Todos pueden comenzar a padecer efectos en la salud y los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos más graves.
Morado	Muy insalubre	201 a 300	Advertencias sanitarias de condiciones de emergencia. Son mayores las probabilidades de que toda la población esté afectada.
Granate	Peligroso	301 y superior	Alerta sanitaria: todos pueden padecer efectos sanitarios más graves.

Fig. 1. Conceptos básicos de AQI para el ozono y la contaminación por partículas. Adaptado de[12].

2.1.2. Fuentes de contaminación

2.1.2.1.Fuentes naturales

Incluyen procesos que liberan partículas y gases sin intervención humana, como las erupciones volcánicas (que emiten sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre y metano) y los incendios forestales, cuyos penachos pueden transportarse a grandes distancias y afectar especialmente a poblaciones vulnerables (niños, adultos mayores, embarazadas y personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares)[13].

2.1.2.2.Fuentes antropogénicas

Corresponden a actividades humanas y se agrupan en móviles (tránsito del parque automotor) y estacionarias (industrias, comercios, hogares, centrales eléctricas y refinerías). Entre las principales destacan plantas de calefacción, termoeléctricas, incineradoras, la industria química, el transporte, la minería a cielo abierto y la generación de energía, todas ellas aportantes de contaminantes criterio y compuestos asociados[13].

2.1.3. Contaminantes atmosféricos

2.1.3.1.Principales contaminantes atmosféricos

El hecho de vivir en una zona urbana implica, casi de manera inevitable, respirar un aire con cierto nivel de contaminación, resultado directo de la actividad industrial y comercial, así como del incesante flujo vehicular que caracteriza a las ciudades.

Sumados a las fuentes naturales y a las emisiones antropogénicas, los contaminantes se dividen habitualmente en dos grandes grupos: primarios y secundarios.

Entre los primarios destacan el dióxido de carbono (CO_2), el monóxido de carbono (CO), Material Particulado (PM), Óxidos de nitrógeno (NO_x) y varios hidrocarburos ligeros como el butano, propano, pentano.

Todos ellos comparten un rasgo inquietante: son gases incoloros e inodoros, de modo que resultan imperceptibles a simple vista, aun cuando sus efectos sobre la salud y el ambiente sean significativos[9].

2.1.3.2.Monóxido de carbono (CO): El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido que se genera cuando los combustibles que contienen carbono (gasolina, diésel, gas LP, carbón, leña, residuos, etc.) se queman de manera incompleta. Al inhalarlo, el CO se une con gran afinidad a la hemoglobina formando carboxihemoglobina, lo que impide el transporte normal de oxígeno en la sangre y provoca desde dolor de cabeza y mareos hasta pérdida de la conciencia, daño neurológico irreversible o incluso la muerte en exposiciones prolongadas o a altas concentraciones[14].

2.1.3.3.Dióxido de carbono (CO_2): Gas con capacidad de retener calor en la atmósfera, impulsando el aumento de la temperatura global[15].

2.1.3.4.Compuestos orgánicos volátiles (COV): Abarcan un amplio conjunto de sustancias químicas que intervienen en la creación del smog, esa densa bruma gris cargada de humo y polvo en suspensión[15].

2.1.3.5.Óxidos de nitrógeno (NO_x): Son gases irritantes generados, sobre todo, al quemar combustibles a altas temperaturas como en motores de autos, calderas o centrales eléctricas. Una vez liberados, reaccionan con el oxígeno del aire y el vapor de agua, transformándose en ácido nítrico[15].

2.1.3.6.Material Particulado (PM): El material particulado (PM) es una mezcla de diminutas gotas líquidas y fragmentos sólidos polvo, ceniza, hollín, polen, metales o compuestos orgánicos que quedan suspendidos en el aire exterior e interior. Estas

partículas varían mucho de tamaño y, por ello, se agrupan en fracciones: PM10 (diámetro $\leq 10 \mu\text{m}$) engloba el polvo y las “partículas gruesas” que todavía pueden entrar al tracto respiratorio superior; PM2.5 ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) comprende las “partículas finas” capaces de penetrar profundamente hasta los alvéolos; y PM1 o ultrafinas ($\leq 1 \mu\text{m}$) pueden incluso cruzar al torrente sanguíneo[16].

2.1.3.7. Ácido Nítrico (HNO_3): Solución líquida incolora o ligeramente amarillenta, altamente corrosiva y oxidante, formada principalmente por la reacción de dióxido de nitrógeno (NO_2) con agua en la atmósfera o por síntesis industrial[17].

2.1.3.8. Ácido Sulfúrico (H_2SO_4): Líquido viscoso, incoloro y de gran afinidad por el agua. Es uno de los ácidos más fuertes y de mayor producción industrial en el mundo[17].

2.1.3.9. Amonio (NH_4): Derivado del amoníaco (NH_3) al captar un protón (H^+). Es una forma asimilable de nitrógeno para plantas y microorganismos, ampliamente presente en soluciones acuosas y suelos[17].

2.1.3.10. Ozono (O_3): El ozono (O_3) es un gas altamente reactivo compuesto por tres átomos de oxígeno. Se encuentra tanto en la estratosfera, donde forma la “capa de ozono” que atenúa la radiación ultravioleta, como en la troposfera o nivel del suelo, donde actúa como contaminante secundario: no se emite directamente, sino que se forma fotoquímicamente a partir de compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en presencia de luz solar, contribuyendo al smog y a efectos adversos en la salud[18].

2.1.3.11. Gas Licuado de Petróleo (GLP): El Gas Licuado de Petróleo (GLP), también conocido como Autogas, es un gas que en condiciones naturales se encuentra en estado gaseoso, pero puede transformarse en líquido cuando se somete a bajas temperaturas y presiones. Esta propiedad permite que su manejo sea más sencillo durante los procesos de refinado, almacenamiento, transporte y distribución para su uso final por parte de los consumidores[19].

2.1.4. Efectos de la contaminación del aire

2.1.4.1. Efectos en la salud de las personas

Según la OMS, respirar aire sucio sigue siendo uno de los mayores riesgos ambientales para nuestra salud: en 2019, el 99 % de la población mundial vivía en lugares que superaban las Directrices de Calidad del Aire y esa exposición provocó alrededor de 4,2 millones de muertes prematuras al año, sobre todo por cardiopatías isquémicas, accidentes

cerebrovasculares, EPOC, infecciones respiratorias bajas y cáncer de pulmón; en conjunto con la contaminación del aire doméstico, la cifra asciende a 6,7 millones de fallecimientos anuales, con una carga desproporcionada para los países de ingresos bajos y medianos de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental, donde se concentra el 89 % de las muertes relacionadas; la materia particulada fina (PM_{2.5}) es el principal culpable, ya que penetra profundo en los pulmones y el torrente sanguíneo, y la OMS subraya que reducir las emisiones del transporte, la industria, la generación eléctrica y la quema de residuos junto con garantizar energía doméstica limpia es esencial para salvar vidas y aliviar la carga sanitaria mundial [20].

2.1.4.2. Contaminación del aire y sus impactos en la salud

La contaminación del aire constituye un problema de salud pública con efectos significativos en la población, al estar asociada con el aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como con la mortalidad prematura. Diversos estudios han demostrado que la exposición a (PM₁₀ y PM_{2.5}), (CO), y (SO₂) genera disminución de la función pulmonar, incremento en los casos de asma, bronquitis y enfermedad pulmonar obstructiva crónica, además de un mayor riesgo de accidentes cerebrovasculares e infecciones respiratorias agudas. Estos efectos se intensifican en poblaciones vulnerables como niños, adultos mayores, embarazadas y personas con enfermedades crónicas. Asimismo, se han documentado situaciones críticas en contextos urbanos e industriales donde los niveles de contaminación superan los límites recomendados, lo que evidencia la necesidad de implementar planes de mitigación y políticas públicas orientadas a la reducción de emisiones y a la protección de la salud humana[21].

2.1.5. Variables Ambientales

2.1.5.1. Temperatura

La temperatura es una propiedad física que indica si dos cuerpos o sistemas se encuentran en equilibrio térmico. El concepto nace de la necesidad de cuantificar el grado de calor o de frío que percibimos en objetos, medios o fenómenos. Cuando se suministra energía térmica a un sistema, su temperatura aumenta salvo que intervengan procesos como fusión o ebullición. Si se ponen en contacto dos sistemas con temperaturas distintas, el calor fluye espontáneamente del más caliente (mayor temperatura) al más frío (menor temperatura); este intercambio continúa hasta que ambos alcanzan el equilibrio térmico[22].

2.1.5.2.Humedad

La humedad relativa es un parámetro meteorológico que indica cuánta humedad contiene el aire de un lugar específico. Se expresa en porcentaje, donde 0 % representa aire completamente seco y 100 % corresponde a aire saturado[22].

2.1.5.3.Presión barométrica o atmosférica

La presión barométrica o atmosférica se entendió como la fuerza por unidad de área que ejerce la columna de gases de la atmósfera sobre la superficie, es decir, la presión debida al “peso” del aire por encima del punto de observación. Su valor de referencia en la Tierra a nivel del mar es de 1013,25 hPa (=1013,25 mb), mientras que en otros ambientes planetarios puede ser mucho menor; por ejemplo, en Marte la presión media ronda 6,1 mbar, lo que ilustra la dependencia del fenómeno con la composición y masa atmosférica del cuerpo celeste[23].

2.1.6. Fundamentos tecnológicos del sistema

2.1.6.1.Base de datos

Una base de datos es un conjunto estructurado y ordenado de datos que se guarda electrónicamente dentro de un sistema informático. Su manejo suele estar a cargo de un sistema de gestión de bases de datos (DBMS)[24].

2.1.6.2.Internet de las cosas

El Internet de las Cosas (IoT) consiste en conectar a la red objetos físicos de uso diario: desde una simple bombilla en casa, pasando por dispositivos médicos para el cuidado de la salud, prendas y accesorios inteligentes, hasta los sistemas integrales que operan en las ciudades inteligentes[25].

2.1.6.3.Sensores

Un sensor es un instrumento diseñado para percibir y cuantificar distintas magnitudes físicas o químicas, temperatura, luminosidad, distancia, presión, sonido, entre otras y transformar esas variaciones en señales eléctricas que posteriormente un sistema electrónico interpreta para registrar información o activar acciones[26].

2.1.7. Tipos de sensores

2.1.7.1.MQ-5

El sensor MQ-5 es un dispositivo semiconductor diseñado para detectar gases inflamables como gas licuado de petróleo (GLP), gas natural, metano, hidrógeno y vapores de alcohol. Su principio de funcionamiento se basa en una capa sensible de dióxido de estaño (SnO_2), la cual modifica su resistencia eléctrica cuando entra en contacto con estos gases, generando una señal que puede ser procesada para determinar su concentración en el ambiente[27].

Este sensor se caracteriza por su alta sensibilidad ante el GLP y el gas natural, ofreciendo una respuesta rápida y una larga vida útil. Además, cuenta con una estructura robusta compuesta por una malla de acero inoxidable que protege el elemento sensible y un calentador interno que mantiene la temperatura óptima de funcionamiento.

Por sus prestaciones y bajo costo, el MQ-5 es ampliamente utilizado en sistemas de detección de fugas, monitoreo ambiental y aplicaciones domésticas e industriales. Su diseño permite integrarse fácilmente con microcontroladores como Arduino, ESP32 y Raspberry Pi, gracias a sus salidas analógica y digital, lo que facilita la creación de sistemas de monitoreo en tiempo real confiables y eficientes.



Fig. 2. Sensor mq-5. Adaptado de[28]

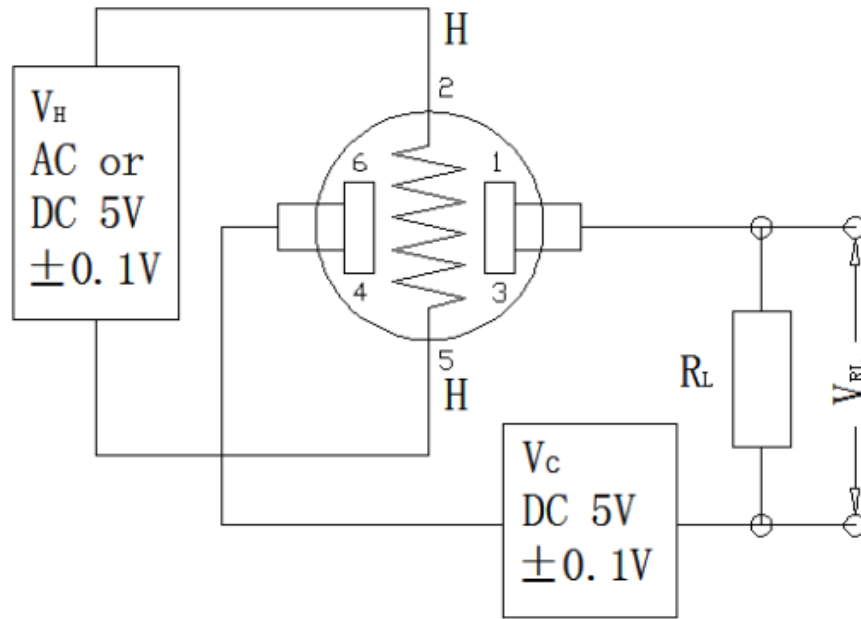


Fig. 3. Circuito interno del sensor mq-5. Adaptado de [27]

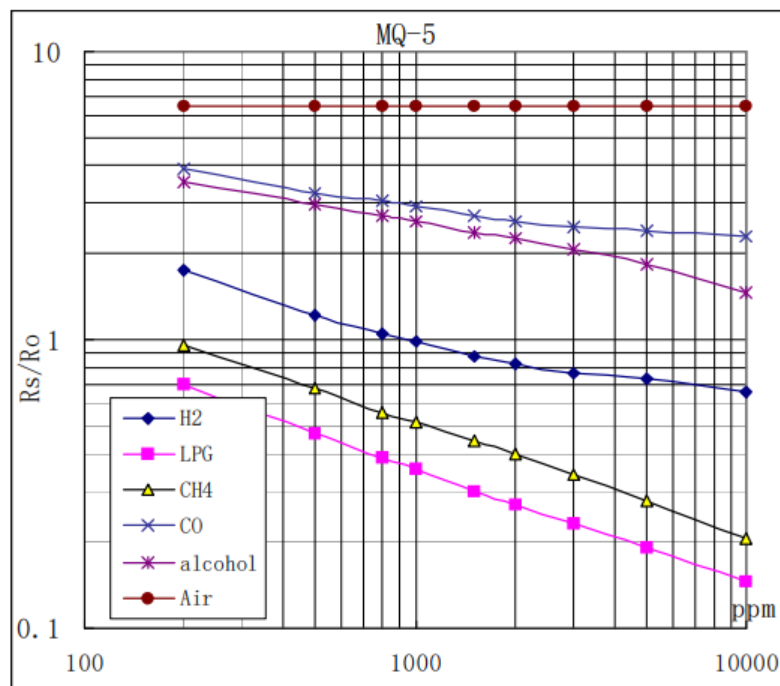


Fig. 4. Curva de sensibilidad. mq-5 Adaptado de[28]

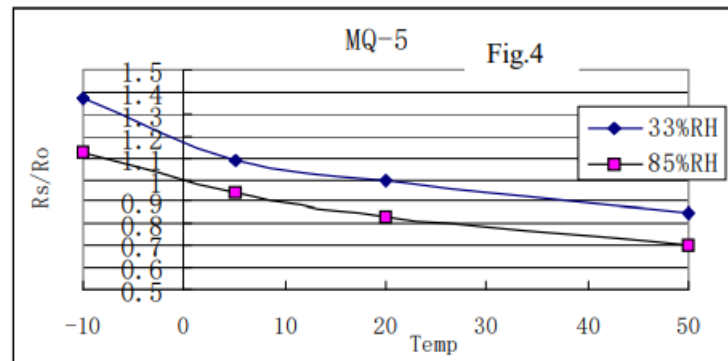


Fig. 5. Dependencia con temperatura y humedad. mq-5. Adaptado de[27]

Especificaciones técnicas

- **Voltaje de operación:** 5V DC
- **Corriente de operación:** 150 mA
- **Potencia de consumo:** 800 mW
- **Tiempo de precalentamiento:** 20 s
- **Resistencia de carga:** potenciómetro (ajustable)
- **Temperatura de operación:** -20 ~ 70 °C
- **Doble salida:** salida analógica y salida de nivel TTL
- **Tamaño:** 32 x 22 x 24 mm

2.1.7.2.MQ-131

El MQ-131 es un sensor semiconductor de óxido metálico (MOX) diseñado para detectar ozono (O_3) en bajas concentraciones. Emplea material sensible a base de WO_3 , cuya resistencia eléctrica disminuye cuando aumenta la presencia de O_3 ; ese cambio se lee como tensión mediante un divisor con resistencia de carga. El modelo “low concentration” trabaja típicamente en el orden de decenas a cientos de ppb, integra un calentador interno (≈ 5 V) y requiere un preacondicionamiento (“burn-in”) para estabilizar la señal. Presenta sensibilidad cruzada a oxidantes fuertes (p. ej., NO_2 , Cl_2) y su respuesta se ve afectada por temperatura y humedad, por lo que se recomienda calibración frente a una referencia y, de ser posible, compensación ambiental. Por su bajo costo y circuito simple, se usa en alarmas y monitoreo orientativo de O_3 dentro de sistemas IoT, más que para medición certificada[29].



Fig. 6. Sensor mq-131. Adaptado de [29]

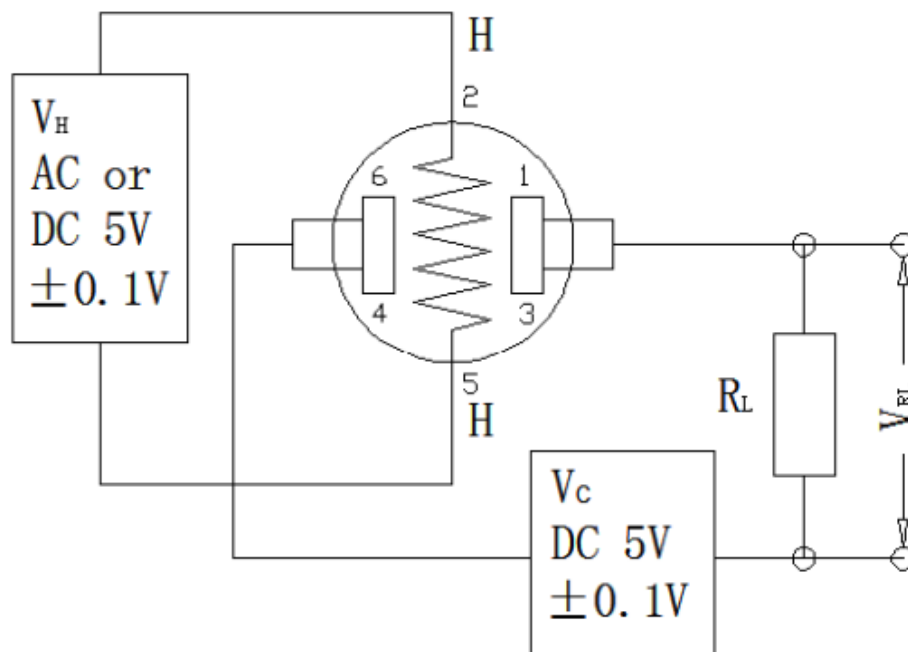


Fig. 7. Circuito interno del sensor mq-131. Adaptado de [29]

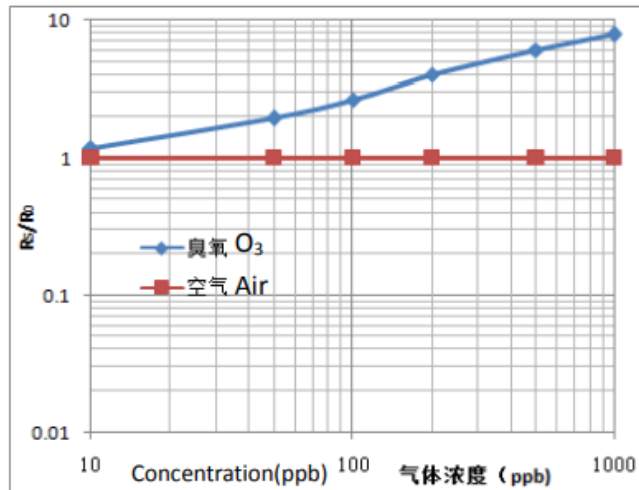


Fig. 8. Curva de sensibilidad. mq-131. Adaptado de[29]

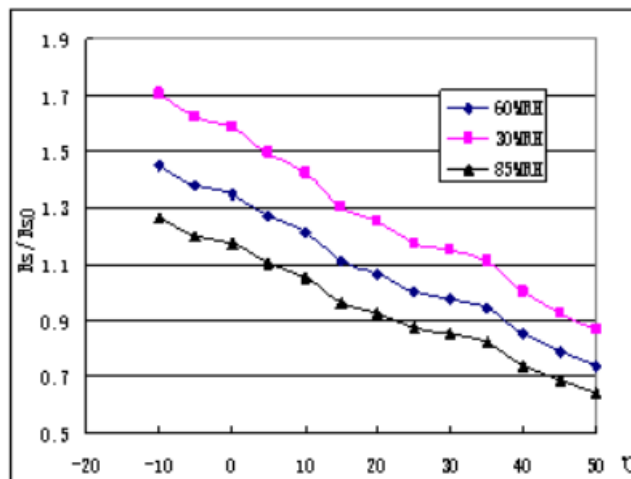


Fig. 9. Dependencia con temperatura y humedad. mq-131. Adaptado de[29]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Modelo:** MQ-131
- **Voltaje de Operación:** 5V DC
- **Rango de detección:** 10 a 1000 ppb
- **Gas característico:** O₃(Ozono), Cl₂, NO₂
- **Resistencia de calentamiento:** 34 Ohm
- **Tiempo de precalentamiento:** 48h
- **Consumo de Resistencia:** aprox. 900mW
- **Consume:** menos de 180mA a 5V.

2.1.7.3.MQ-7

El MQ-7 es un sensor semiconductor (SnO_2) diseñado para detectar monóxido de carbono (CO); su principio se basa en la variación de resistencia del elemento sensible (R_s) en presencia de CO, que se lee como tensión sobre una resistencia de carga (R_L). El fabricante recomienda calibrar a 200 ppm y usar $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ (ajustable) para fijar el punto de alarma y linealidad útiles. Funciona con ciclo térmico: el calentador opera a 5 V durante 60 s y luego a 1.4 V durante 90 s, con consumo -350 mW, mientras el circuito del sensor trabaja a 5 V; requiere precalentamiento $\geq 48 \text{ h}$ antes de su uso estable. Su rango típico de detección es 20–2000 ppm, con R_s de 2–20 $\text{k}\Omega$ a 100 ppm; el desempeño se ve influido por temperatura, humedad y O_2 , por lo que conviene corrección/compensación ambiental. Presenta sensibilidad cruzada a H_2 , LPG, CH_4 y alcoholes. Estructuralmente integra tubo de Al_2O_3 , capa sensible de SnO_2 , calentador Ni-Cr y electrodos Au/Pt, con 6 pines (4 de señal, 2 del calentador) y vida útil estimada de varios años en condiciones normales. En sistemas IoT se emplea para monitoreo orientativo de CO y alertas, más que para medición certificada[30].



Fig. 10. Sensor mq-7. Adaptado de[30]

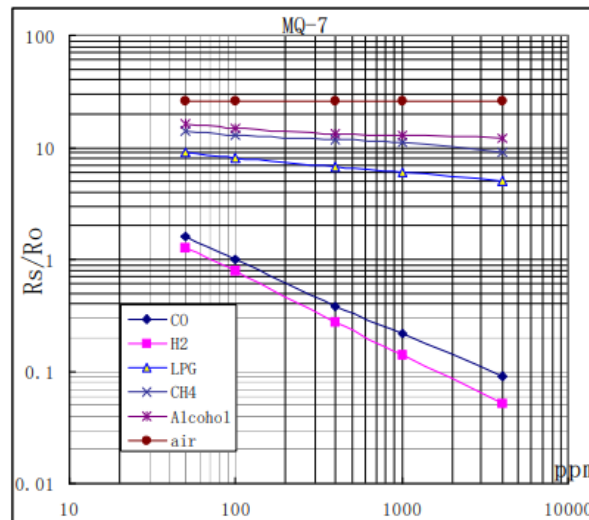


Fig. 11. Dependencia con temperatura y humedad mq-7. Adaptado de[30]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Voltaje de Operación:** 5V DC
- **Voltaje de Calentamiento:** 5V (alto) y 1.4V (bajo)
- **Resistencia de carga:** regulable
- **Resistencia de calentamiento:** 33 Ohm
- **Tiempo de Calentamiento:** 60s (alto) 90s (bajo)
- **Consumo de Resistencia:** aprox. 350mW
- **Concentración de Oxígeno:** 21%

2.1.7.4.BME280

El BME280 es un sensor ambiental integrado de Bosch Sensortec que combina en un mismo encapsulado la medición de temperatura, humedad relativa y presión barométrica, lo que lo hace idóneo para estaciones IoT y aplicaciones de monitoreo ambiental. En módulos comerciales puede comunicarse por I2C o SPI y se utiliza ampliamente con microcontroladores tipo Arduino/ESP32 por su bajo consumo y tamaño reducido[31].

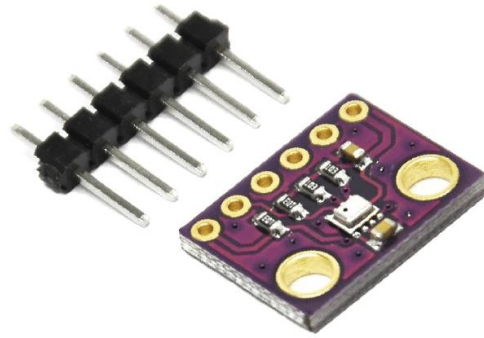


Fig. 12. Sensor BME280. Adaptado de[32]

Desde el punto de vista operativo, el BME280 trabaja típicamente entre 1,71 y 3,6 V (VDD), con rango de presión de 300–1100 hPa y temperatura de -40 a 85 °C, ofreciendo modos de operación sleep, forced y normal con filtro IIR y opciones de sobre muestreo para equilibrar precisión y consumo. En uso típico a 1 Hz, su corriente media puede situarse en el orden de microamperios. Estas características permiten obtener variables micro meteorológicas de soporte para interpretar gases y material particulado en sistemas de calidad del aire[33].

2.1.7.5.Dsm501a

El DSM501A (Samyoung S&C) es un sensor óptico de polvo que detecta partículas en aire mediante dispersión de luz con un led y fotodetector. Entrega la señal como PWM (ancho de pulso) cuya “ocupación en bajo” aumenta cuando hay más partículas. Incorpora una pequeña resistencia calefactora que genera convección para forzar la entrada de aire. El tamaño mínimo detectable es ~ 1 μm y el rango especificado llega hasta $1,4$ mg/m^3 , por lo que resulta adecuado para tendencias de $\text{PM}_{2.5}$ en proyectos IoT de bajo costo.

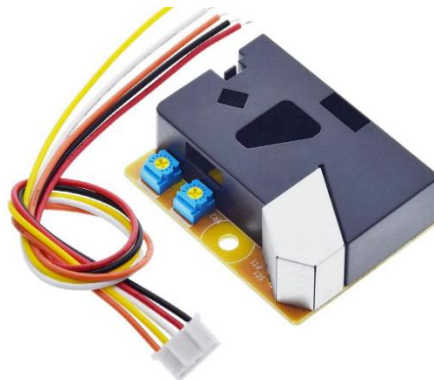


Fig. 13. Sensor dsm501a. Adaptado de [34].

CARACTERÍSTICAS

- Tensión de alimentación: dc 5v±10 %
- Consumo de energía: 90mA
- Temperatura de funcionamiento: -10 ~ + 65 ° C
- Humedad de funcionamiento: 95% HR o menos (sin condensación)
- Condiciones de almacenamiento: -20 ~ + 80 ° C
- Dimensiones: 59x45x20 (mm)
- Tamaño de partícula detectable: aprox. 1µm (mínimo)
- Rango de detección de concentración: 0 ~ 1.4 mg/M3
- Señal de salida: PWM (Pulse Width Modulation)
- Tiempo de estabilización: 1 minuto después del encendido

2.1.8. Medios y tecnologías de comunicación

2.1.8.1. Medios de transmisión

El medio de transmisión actúa como un puente palpable entre el emisor y el receptor: es la autopista por donde circula, bit a bit, la información que una máquina confía a otra. Puede que el modelo OSI no lo incluya explícitamente en su capa física, pero su relevancia es indiscutible. Sin ese soporte cable de cobre, fibra óptica o el invisible espectro radioeléctrico los datos quedarían sin camino y la red, sin latido[35].

2.1.8.1.1. Medios guiados

Los medios guiados conducen la señal dentro de un “tubo” físico; la energía viaja confinada, como el agua que corre por una cañería:

2.1.8.1.2. Par trenzado

Dos hilos de cobre entrelazados reducen la diafonía. Desde el humilde Cat 5e hasta el veloz Cat 8, es el rey de las LAN por su bajo costo, instalación sencilla y flexibilidad. Su talón de Aquiles: la atenuación y la susceptibilidad al ruido eléctrico a distancias largas, salvo que se blinde (STP) o se use un repetidor/switch intermedio[35].

2.1.8.1.3. Cable coaxial

Conductor central, dieléctrico, malla y chaqueta. El blindaje lo hace más inmune que el par trenzado; por eso reinó en las redes Ethernet 10BASE-2 o en la distribución de TV por cable (RG-6). Sin embargo, es más grueso y caro, y su instalación resulta menos práctica en tendidos extensos.

2.1.8.1.4. Fibra óptica

Un filamento de vidrio o plástico guía pulsos de luz: multimodo (núcleo grueso, LEDs, decenas de gigabits en un campus) o monomodo (núcleo ultrafino, láser, terabits a cientos de kilómetros). Inmune a interferencias, segura (no irradia) y de enorme ancho de banda; su inconveniente es el precio de los transceptores y la delicadeza del tendido[35].

2.1.8.2. Medios no guiados

Cuando el cable desaparece, la información viaja envuelta en ondas electromagnéticas que surcan el aire; a esto lo llamamos medios no guiados. Cada tecnología inalámbrica toma un pedacito del espectro y le imprime su propio carácter: más alcance o más velocidad, mínimo consumo o máxima penetración, todo depende de la frecuencia, la modulación y la potencia con que se trabaje.

2.1.8.2.1. Bluetooth

Bluetooth ocupa la banda libre de 2,4 GHz y emplea “saltos” de frecuencia cientos de veces por segundo (frequency-hopping) para esquivar interferencias. Así crea conexiones personales de corto alcance auriculares, relojes inteligentes, controles de domótica sin agotar la batería. En su variante Low Energy (BLE) sacrifica ancho de banda (≈ 1 Mb/s) pero permite que sensores y balizas funcionen meses, incluso años, con una simple pila.

2.1.8.2.2. Radiofrecuencia (RF)

Bajo el paraguas genérico de la radiofrecuencia (RF) encontramos desde los servicios VHF/UHF hasta los enlaces de microondas licenciados. Aquí la señal se porta sobre ondas que pueden recorrer decenas de kilómetros si se usan antenas direccionales y línea de vista despejada. Por eso la RF tradicional es la columna vertebral de redes celulares, radiocomunicaciones profesionales y enlaces troncales entre torres: gran cobertura, buena penetración, pero sujeta a regulaciones de potencia y a la congestión del espectro.

2.1.8.2.3. Wi-Fi

El Wi-Fi hoy sinónimo de acceso local a Internet también vive en 2,4 GHz y 5/6 GHz (e incluso 60 GHz en las variantes más nuevas). Utiliza modulación OFDM y canales de hasta 160 MHz, lo que permite pasar de decenas de megabits (802.11n) a varios gigabits por segundo (Wi-Fi 6/7). La contraparte de esta velocidad es la sensibilidad a la saturación del aire: demasiados puntos de acceso o paredes gruesas pueden mermar su rendimiento.

2.1.8.2.4. Infrarrojos (IR),

En el extremo opuesto se ubica la comunicación por infrarrojos (IR), que codifica datos en pulsos de luz fuera del rango visible. Necesita línea de vista y se bloquea con paredes u obstáculos ideal para controles remotos, enlaces punto-punto muy cortos o entornos donde la interferencia RF sería un problema. Su inmunidad a las ondas de radio es excelente, pero el alcance se cuenta en metros, no en kilómetros. Todos estos sistemas comparten un elemento: la antena, que convierte la señal eléctrica en onda y viceversa.

2.2. Marco Referencial

El artículo "*IoT-Based Air Quality Management in Somalia*" presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real de la calidad del aire en Somalia, utilizando sensores DSM501A, la plataforma Raspberry Pi, IoT y computación en la nube. El sistema mide partículas contaminantes y variables ambientales, integrando la recolección, procesamiento y visualización dinámica de datos. Se enfatiza la importancia de detectar material particulado, que suele ser subestimado, y destaca la eficiencia, bajo costo, escalabilidad y ahorro energético del sistema. Además, promueve la conciencia pública y la cooperación internacional para mejorar la gestión ambiental y la salud comunitaria, adaptándose a contextos con recursos limitados[36].

Un estudio desarrollado en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo implementó un sistema de monitoreo ambiental utilizando sensores IoT (MQ-5 y MQ-7) y una placa ESP8266 para medir gases como CO y CO₂. Los datos se transmitieron en tiempo real a una plataforma digital, permitiendo la visualización continua de los niveles de contaminación en el campus. Esta investigación demostró la efectividad del IoT en el control ambiental local y sirvió como referencia para nuevas aplicaciones en monitoreo de la calidad del aire[37].

El artículo describe el desarrollo de un prototipo de sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo de material particulado (PM10 y PM2.5) en Chitré, Panamá. Utilizando un sensor Nova PM SDS011 y un microcontrolador, el sistema recopila y transmite datos en tiempo real a una plataforma web, permitiendo visualizar la calidad del aire de manera interactiva. Los resultados muestran que es una herramienta viable y de bajo costo para la vigilancia ambiental, útil para informar a la población y apoyar la toma de decisiones sobre la contaminación atmosférica[38].

El proyecto de Darwin Yahir Murillo Gamarra actualiza el sistema de monitoreo de la calidad del aire del portal Aire Ciudadano, integrando sensores para medir compuestos volátiles (COV), dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO), usando protocolos LoRa y MQTT para transmitir datos en tiempo real, almacenados y visualizados en InfluxDB y Grafana. El proyecto mejora la precisión y la cantidad de variables monitoreadas, facilita la toma de decisiones sobre salud pública y ambiente, y promueve la ciencia ciudadana con una herramienta accesible y replicable[39].

El artículo “*An IoT Based Real-Time Environmental Monitoring System for Developing Areas*” describe el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo ambiental en tiempo real de bajo costo basado en Arduino, que integra sensores para CO₂, CO, TVOC, partículas en suspensión, humedad y sonido, con transmisión de datos mediante GPRS hacia Firebase para almacenamiento y visualización, aportando gráficos, alertas y análisis histórico para apoyar decisiones en contextos urbanos de Bangladesh; los ensayos en múltiples puntos de Jamalpur evidenciaron patrones espaciales y temporales de calidad ambiental, destacando la escalabilidad, confiabilidad operativa y utilidad pública del enfoque propuesto[40].

“*IoT-Based Smart Waste Management System: A Solution for Urban Sustainability*” presenta un sistema inteligente y de bajo costo para la gestión de residuos basado en IoT que integra sensores de nivel ultrasónico (HC-SR04), peso (HX711 con celda de carga), temperatura/humedad (DHT22), calidad de aire (MQ-5) y GPS (Ublox NEO-6M) alrededor de un núcleo Arduino ESP8266 con analítica en la nube mediante Firebase para monitoreo en tiempo real, alertas y optimización operativa de rutas de recolección. Las rutas guiadas por GPS redujeron en 20% el kilometraje de los camiones y en 18% las emisiones de CO₂ frente a cronogramas fijos, evidenciando ahorros operativos y beneficios ambientales

cuantificables. En conjunto, la solución demuestra que los “retrofits” multisensor IoT son replicables y mejoran la salud pública al tiempo que disminuyen costos, constituyendo un modelo viable para infraestructura de residuos en ciudades sustentables[41].

2.3. Marco legal

2.3.1. Norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente libro vi anexo 4

“La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.” [42].

2.3.2. Plan nacional de calidad del aire

“El Plan Nacional de Calidad del Aire surge de la necesidad de cumplir la Constitución de la República del Ecuador. Esta establece que el Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza y alcanzar las metas establecidas en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013”[43].

2.3.3. Ley de prevención y control de la contaminación ambiental

“Art.1 Queda prohibido expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia” [44].

2.3.4. Acuerdo ministerial no. 028

“Art. 1 Ámbito. - El presente Libro establece los procedimientos y regula las actividades y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental. Se entiende por calidad ambiental al conjunto de

características del ambiente y la naturaleza que incluye el aire, el agua, el suelo y la biodiversidad, en relación a la ausencia o presencia de agentes nocivos que puedan afectar al mantenimiento y regeneración de los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza” [45].

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Metodología

3.1.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en la parroquia Patricia Pilar ($0^{\circ}34'19''\text{S}$, $79^{\circ}22'11''\text{O}$), ubicada en la zona norte de la provincia de Los Ríos, cantón Buena Fe. El punto principal de instalación se localizó junto a la Troncal de la Costa E25, entre la Agencia Banco Pichincha de Patricia Pilar y la lubricadora LubriRepuestos MC, referencias urbanas inmediatas que facilitaron la identificación y el acceso al sitio. La selección de este emplazamiento priorizó un eje de alto flujo vehicular y un entorno poblacional contiguo, con representatividad para el monitoreo ambiental en tiempo real.

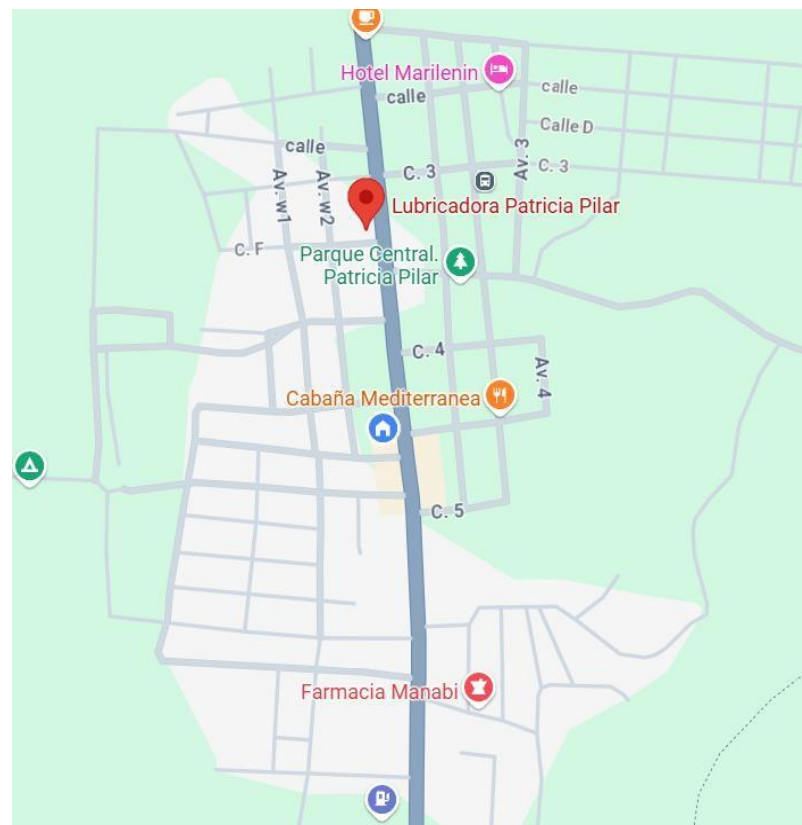


Fig. 14. Mapa de la parroquia Patricia pilar

3.2 Tipo de investigación

3.2.1. Investigación Descriptiva

Este estudio es descriptivo porque se centra en medir y caracterizar las variables ambientales y contaminantes presentes en la zona de estudio. A través del monitoreo continuo, se obtuvo información detallada sobre cómo estas variables varían en el tiempo y el espacio, permitiendo identificar posibles tendencias y fluctuaciones asociadas a factores externos.

La investigación proporcionó datos sobre la concentración de contaminantes y su relación con condiciones climáticas o actividad humana. Además, permitió evaluar cómo estas variables ambientales se comportan en distintas ubicaciones estratégicas, como vías de alto tráfico, zonas residenciales y áreas comerciales, generando así una base de referencia para futuras investigaciones y políticas de control ambiental.

3.2.2. Investigación Aplicada

Este trabajo es aplicado porque no solo busca describir y explorar las variables ambientales en la parroquia Patricia Pilar, sino que también propone e implementa una solución tecnológica. Mediante el desarrollo de un sistema basado en IoT, se estableció una red de sensores capaces de medir y transmitir datos en tiempo real a una plataforma digital. Esto permitirá monitorear de manera continua las variables ambientales y se comparan con los límites fijados por la normativa ambiental.

3.3. Método de Investigación

- **Método inductivo:** Este método permitió obtener conclusiones generales a partir de la observación de datos específicos recolectados por los sensores. A través del análisis de las lecturas de monóxido de carbono (CO), material particulado (PM2.5), temperatura y humedad, se identificaron patrones y comportamientos que ayudaron a comprender la situación ambiental de la parroquia Patricia Pilar.
- **Método analítico:** Durante el desarrollo del proyecto, se aplicó el método analítico para comparar diferentes sensores en función de su rango de detección, precisión, voltaje de operación y facilidad de integración. Este proceso permitió seleccionar los dispositivos más adecuados para medir variables ambientales como monóxido de carbono, material particulado, temperatura y humedad.

3.4. Diseño de Investigación

3.4.1. Diseño no experimental

La investigación adoptará un enfoque no experimental, pues las variables ambientales se registrarán tal como se presentan en el entorno urbano de Patricia Pilar, sin manipular ni intervenir las condiciones reales. Este diseño permitirá analizar la relación entre el tráfico, las actividades industriales y los niveles de contaminación en el aire, reconociendo patrones y tendencias que surgen de manera natural.

3.4.2. Diseño bibliográfico

En paralelo, se siguió un diseño bibliográfico para fundamentar cada etapa del proyecto. Se recopilaron artículos científicos, normas ambientales y casos de estudio sobre monitoreo de calidad del aire publicados en bases como Scopus y Google Scholar, junto a informes de la OMS, la OPS y el Ministerio del Ambiente de Ecuador. Este respaldo teórico orientó a la selección de sensores, la arquitectura de datos y las métricas de evaluación.

3.5. Fuentes de Recopilación de Información

Para llevar a cabo este estudio, se recurrió a diversas fuentes que abarcan tanto la documentación especializada como los datos existentes, con el propósito de sustentar teórica y metodológicamente la investigación:

- **Fuentes Primarias:** Se recurrió a artículos científicos, revistas indexadas y libros especializados obtenidos a través de bases académicas como Scopus y Google Scholar, enfocados en calidad del aire, monitoreo ambiental y tecnologías IoT aplicadas al entorno urbano.
- **Fuentes secundarias:** Se revisaron publicaciones científicas disponibles en bases como SciELO, informes de fabricantes y documentación específica de sensores y microcontroladores, lo cual facilitó la comprensión de sus características, funcionamiento y aplicaciones prácticas.

3.6. Estructura de la Investigación

Fase 1: Revisión y análisis de la literatura

Se realizó una revisión sistemática de fuentes académicas y técnicas relacionadas con el monitoreo de la calidad del aire y la aplicación de tecnologías IoT en entornos ambientales. Esta fase permitió establecer el estado del arte, identificar brechas en el conocimiento y fundamentar teóricamente la selección de sensores y métodos.

Fase 2: Definición de requerimientos y planificación

Se determinaron las necesidades específicas del prototipo de sensores IoT para la parroquia Patricia Pilar, considerando aspectos como la precisión, durabilidad y costos de los dispositivos. Se planificaron los puntos estratégicos de instalación y se definirán las características técnicas y operativas del sistema.

Fase 3: Diseño e implementación del prototipo

Se diseñó un prototipo de sensores IoT orientado a la recolección en tiempo real de datos ambientales. Esta fase incluye la integración de hardware y software, la configuración de la transmisión de datos a una base de datos en la nube y el desarrollo de una interfaz digital para la visualización de la información.

Fase 4: Validación y pruebas del sistema

Se llevó a cabo pruebas de campo para verificar el correcto funcionamiento del prototipo en condiciones reales. Esta fase incluye la comparación de los datos obtenidos con parámetros de referencia y la evaluación de la estabilidad y confiabilidad del sistema, permitiendo realizar ajustes y mejoras antes de su implementación final.

3.7. Software

Tabla I.
Recursos de Software

Nombre	Descripción
FireBase	Plataforma Backend-as-a-Service (BaaS) de Google que ofrece base de datos en tiempo real, autenticación, almacenamiento y funciones de mensajería.
Arduino IDE	Entorno de desarrollo integrado y de código abierto utilizado para programar microcontroladores Arduino y placas compatibles (ESP8266/ESP32).
Visual Studio Code	Editor de código fuente multiplataforma desarrollado por Microsoft, que soporta múltiples lenguajes de programación y extensiones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de Variables ambientales

4.1.1. Fuentes generales de contaminación del aire

En esta investigación se llevó a cabo un análisis sobre las fuentes generales de contaminación presentes en la parroquia Patricia Pilar, con el objetivo de identificar los principales factores que contribuyen a la deterioración de la calidad del aire en la zona. Este estudio se centró en las actividades antropogénicas y naturales que liberan contaminantes atmosféricos, tales como el tráfico vehicular, las industrias cercanas, la agroindustria, y otras fuentes relacionadas con el manejo de residuos y actividades agrícolas. A continuación, se presentan las fuentes de contaminación más relevantes en el área de estudio.

Tabla II.
Fuentes generales de contaminación del aire potencialmente presentes en Patricia Pilar

Fuente general	Actividad/ejemplo local (sin empresas)	Contaminantes asociados	Evidencia en Patricia Pilar
Tráfico vehicular	Flujo constante en la Vía E25 y vías internas	CO, NO _x , PM _{2.5} /PM ₁₀ , COV	Se reporta tráfico constante y emisiones por combustión y polvo.
Agroindustria (procesos orgánicos)	Extracción/procesamiento de aceite de palma	Olores, NO _x , SO ₂ , PM, COV	Se reportan emisiones, malos olores y ruido asociados a la actividad.
Procesamiento de caucho	Cultivo y extracción/procesamiento de caucho	COV/VOC, PM, olores	Olores intensos por procesamiento y afectación a recursos hídricos.

Fuente general	Actividad/ejemplo local (sin empresas)	Contaminantes asociados	Evidencia en Patricia Pilar
			Se indican
Actividades agrícolas	Fumigaciones aéreas en haciendas bananeras	Aerosoles de plaguicidas, COV, PM fino	sustancias tóxicas por fumigación y afectación a salud y ambiente.
Movilización de suelos y polvo vial	Bordes erosionados y acumulación de material suelto; tránsito frecuente de vehículos ligeros y pesados	PM ₁ /PM _{2.5} (polvo Re suspendido)	El tráfico genera polvo además de emisiones por combustión.

Las fuentes de contaminación en la parroquia Patricia Pilar, como el tráfico vehicular, las actividades agroindustriales, las actividades agrícolas y la movilización de suelos y polvo vial, fueron identificadas a partir del análisis del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT)[46]. Este estudio destacó el impacto de estas actividades en la calidad del aire local, considerando su contribución a la emisión de contaminantes como gases, partículas y otros compuestos tóxicos, lo que justifica su inclusión como fuentes relevantes para el monitoreo ambiental en la región.

4.1.2. Variables de estudio

A través de la revisión bibliográfica especializada, se identificaron las variables ambientales clave que afectan la calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar. Se consideraron fuentes de contaminación locales, como el tráfico vehicular y las emisiones industriales, lo que permitió seleccionar las variables más relevantes para el monitoreo ambiental.

Tabla III.
Comparativa de variables de estudio

Variable	Unidad	Propósito en el estudio
Temperatura del aire	°C	Covariable micro climática para gases y PM

Variable	Unidad	Propósito en el estudio
Humedad relativa	%	Covariable para ajustar efectos higroscópicos y respuesta MQ
Presión atmosférica	hPa	Contexto meteorológico local
PM₁	µg/m ³ (estimado)	Partículas finas ultrafinas; sensibilidad a combustión
PM_{2.5}	µg/m ³ (estimado)	Indicador principal de exposición
Monóxido de carbono (CO)	ppm (aprox.)	Trazador de combustión y tráfico
Ozono (O₃)	ppb (aprox.)	Fotoquímica urbana; irritante respiratorio
Humo	señal relativa / ppm (aprox.)	Indicador de combustión, quema y cocción
Gas natural (GLP)	ppm (aprox.)	Riesgo por fugas y combustión incompleta
Calidad del aire (índice MQ-135)	índice relativo	Proxy de mezcla de gases para alertas generales

Elaborado: Alexander Joseph Maigua Cervantes

En el apartado Tabla III, se justifica la selección de las variables basándose en la revisión bibliográfica y en el Estudio de Impacto Ambiental Ex Post "Operación, Mantenimiento y Cierre: Transporte de Combustible Arévalo Córdova S.A." [4]. Este estudio proporcionó un contexto relevante sobre las fuentes de contaminación en Patricia Pilar, permitiendo identificar las variables más pertinentes para evaluar la calidad del aire en la región. Las variables seleccionadas, como la temperatura del aire, humedad, presión atmosférica, PM_{2.5}, (CO), (O₃) y GLP (índice MQ-5) fueron escogidas por su impacto directo en la salud pública y el medio ambiente.

La elección de estos parámetros se fundamentó también en la capacidad de los sensores IoT disponibles para medirlos de manera efectiva, garantizando un monitoreo preciso y continuo de la calidad del aire.

4.1.2. Identificación de Componentes

En esta etapa se realizó un estudio detallado y comparativo sobre los sensores disponibles para la medición de variables ambientales relacionadas con la calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar. El objetivo principal fue evaluar las características técnicas, rangos de detección, precisión y compatibilidad con el sistema telemático diseñado. A continuación, se presentan los sensores seleccionados y se analizan sus ventajas y limitaciones, con el fin de identificar aquellos que mejor se adaptan a los requerimientos específicos del proyecto de monitoreo ambiental.

4.1.2.1. Sensores

Los sensores corresponden a los elementos encargados de detectar y transformar diferentes magnitudes presentes en el entorno en señales útiles para el sistema. Estos dispositivos permiten medir parámetros ambientales y contaminantes. Para determinar cuáles se ajustan mejor a los requerimientos del sistema, se elaboró una tabla comparativa que analiza sus principales características técnicas, precisión, rango de detección y compatibilidad con el microcontrolador elegido.

Tabla IV.
Comparativa de Sensores MQ

Sensor	Gases Detectados	Rango de Detección	Voltaje de Operación	Facilidad de Uso
MQ-135	CO ₂ , NH ₃ , benceno, humo, contaminantes del aire	10 – 1000 ppm	5V	Media (requiere calibración)
MQ-5	Gas natural, GLP y otros gases	200 – 10000 ppm	5V	Media (requiere calibración y calentamiento)
MQ-2	Amoniaco (NH ₃) y humo	300 – 10000 ppm	5V	Alta (muy utilizado en proyectos)

Sensor	Gases Detectados	Rango de Detección	Voltaje de Operación	Facilidad de Uso
MQ-7	Monóxido de carbono (CO)	10 – 1000 ppm	5V	Alta (muy utilizado en proyectos)
MQ-131	Ozono (O ₃)	10 ppm - 1000ppm	5V	Media (requiere calentamiento)

En la Tabla IV. Sensores MQ, se seleccionaron únicamente los sensores MQ-131, MQ-5 y MQ-7 para el sistema de monitoreo ambiental, ya que estos sensores son los más adecuados para detectar los gases relevantes en el contexto del estudio. El MQ-131 se utilizó para medir ozono (O₃), el MQ-5 para detectar glp y humo, y el MQ-7 para la medición de monóxido de carbono (CO). Estos sensores fueron seleccionados debido a su capacidad de respuesta a los contaminantes atmosféricos más críticos, su rendimiento en condiciones ambientales locales y su facilidad de integración en el sistema.

Tabla V.
Comparativa de sensores de temperatura y humedad

Característica	DHT11	DHT22	BME280
Parámetros Medidos	Temperatura, Humedad	Temperatura, Humedad	Temperatura, Humedad, Presión
Rango de Temperatura	0 – 50°C	-40 – 80°C	-40 – 85°C
Rango de Humedad	20% – 80% RH	0% – 100% RH	0% – 100% RH
Precisión Temperatura	±2°C	±0.5°C	±1°C
Precisión Humedad	±5% RH	±2% RH	±3% RH
Voltaje de Operación	3.3V – 5V	3.3V – 6V	1.8V – 3.6V
Interfaz de Comunicación	Digital (Single-wire)	Digital (Single-wire)	I ² C, SPI
Aplicaciones Comunes	Proyectos básicos de monitoreo ambiental	Aplicaciones más precisas en medición de clima	Monitoreo ambiental avanzado, sistemas IoT
Precio	\$2.74 \$	\$9.99	\$11.99

La elección del sensor BME280 se justifica en base a su capacidad para medir temperatura, humedad relativa y presión atmosférica de manera precisa, características fundamentales para el monitoreo de condiciones ambientales. Según la investigación en el estudio de “Development and validation of a rapid-prototyping IoT-based sensor system for poultry house microclimate monitoring”[47], este sensor mostró un alto rendimiento con una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ para la temperatura, $\pm 3\%$ para la humedad relativa y ± 1 hPa para la presión atmosférica, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos de monitoreo ambiental en tiempo real. Además, su bajo consumo energético y su capacidad para integrarse fácilmente con microcontroladores como el ESP32 hacen que sea adecuado para aplicaciones de IoT, como la que se está implementando en este proyecto. La precisión en la medición de presión atmosférica proporcionada por el BME280 es especialmente relevante, ya que influye directamente en la interpretación de la calidad del aire, permitiendo la evaluación del comportamiento de otros contaminantes y variables ambientales.

Tabla VI.
Comparativa entre sensores de partículas

Característica	DSM501A	Sharp GP2Y1010AU0F	PMS3003
Parámetros Medidos	Partículas en suspensión (PM1, PM2.5)	Partículas en suspensión (PM2.5)	Partículas en suspensión (PM2.5, PM10)
Rango de Detección	0 – 1.4 mg/m ³	0 – 1.0 mg/m ³	0 – 1000 µg/m ³ (PM2.5), 0 – 1000 µg/m ³ (PM10)
Precisión	± 0.1 mg/m ³	± 0.1 mg/m ³	± 10 µg/m ³ (PM2.5), ± 20 µg/m ³ (PM10)
Voltaje de Operación	5V	5V	5V
Interfaz de Comunicación	PWM	PWM	UART (Serial)

Característica	DSM501A	Sharp GP2Y1010AU0F	PMS3003
Consumo de Energía	90 mA (máx)	20 mA (en operación)	40 mA (promedio)
Tamaño	32.0 x 32.0 x 12.5 mm	50 x 50 x 17.5 mm	72 x 44 x 19 mm
Tiempo de Respuesta	1 segundo	100 ms	1 segundo
Aplicaciones Comunes	Monitoreo de calidad del aire, dispositivos IoT	Monitoreo básico de calidad del aire	Estaciones meteorológicas, IoT, monitoreo de calidad del aire
Precio	\$13.99	\$12.49	\$47.99

El sensor DSM501A fue seleccionado debido a su alta capacidad para medir partículas en suspensión, especialmente en el rango de PM1, PM2.5, lo que lo hace adecuado para la monitorización detallada de la calidad del aire. Este sensor ha demostrado ser confiable en aplicaciones de bajo costo para proyectos de IoT y monitoreo ambiental. Según un estudio reciente[48], el DSM501A fue validado en entornos de monitoreo ambiental con buenos resultados en cuanto a la precisión de la medición de partículas, destacando su uso en sistemas de prototipado rápido para medición de variables del microclima, y su compatibilidad con otros dispositivos IoT para la transmisión de datos en tiempo real

Discusión

El proyecto de “*sistema de monitoreo de polución de aire en los predios de la universidad técnica estatal de Quevedo*”[37] diseña una red IoT con ESP8266 y sensores MQ (MQ-7 para CO, MQ-5 como proxy de “GLP”, MQ-2 para propano) más DHT11/BMP180, almacena en PostgreSQL y muestra en una web con rangos normativos, lo que es apropiado para sensibilización y despliegue en campus, pero hereda límites de los MOX de bajo costo (sensibilidad cruzada, dependencia de temperatura/humedad y ausencia de PM finas), en particular porque MQ-5 no mide CO₂ de forma específica y la plataforma no cuantifica PM2.5, restringiendo comparabilidad con ICA ante episodios de aerosol urbano.

En contraste, el estudio de “IoT-Based Air Quality Management in Somalia”[36] prioriza el particulado con DSM501A PM2.5 sobre Raspberry Pi, Node-RED e IBM Watson (IoT+cloud), integrando además MQ para CO/CO₂ y variables microclimáticas; este énfasis corrige la ceguera a PM del caso UTEQ y habilita analítica en tiempo real, aunque DSM501A requiere validación frente a referencia y su salida PWM (LPO) demanda ventanas de muestreo y calibración cuidadosa para evitar sesgos por flujo/ambiente. Como punto intermedio entre ambos, la propuesta de Patricia Pilar (2025) ya incorpora PM (DSM501A) y amplía gases (MQ-131 para O₃, MQ-7 y MQ-5) con ESP32 y visualización en tiempo real, lo que sugiere una integración pragmática de la cobertura de variables con una pila más ligera de conectividad y dashboard propios.

4.2. Sistema de monitoreo ambiental y calidad del aire

En este apartado se describe el diseño de un sistema telemático basado en IoT, que integra sensores para la medición continua de variables ambientales como material particulado, gases contaminantes, temperatura y humedad. El sistema envía la información en tiempo real a una base de datos remota, garantizando una comunicación inalámbrica confiable para asegurar la disponibilidad inmediata de los datos para su correcto análisis.

4.2.1. Implementación del sistema Basado en internet de las cosas para monitoreo ambiental

Para el desarrollo del sistema se plantea la integración de sensores y módulos electrónicos orientados a la captura de las variables necesarias para el monitoreo ambiental. Antes de proceder con el ensamblaje del prototipo, se realizará una evaluación comparativa de los sensores disponibles, considerando diferentes criterios y compatibilidad con sistemas IoT.

Esta tabla comparativa permitirá identificar los sensores más adecuados para cada parámetro del proyecto, seleccionando aquellos que ofrezcan un desempeño confiable y que se ajusten a las necesidades del diseño. Una vez determinada la selección final, los componentes serán integrados sobre una PCB y conectados al microcontrolador correspondiente, garantizando una estructura modular y flexible para la etapa de pruebas y validación.

Tabla VII.
Comparativa entre microcontroladores

Tipo de Microcontrolador	Esp32	Arduino Uno	Arduino Nano V3.0	Raspberry PI Pico
Diseño				
Memoria SRAM	520 KB SRAM	2 KB SRAM	2 KB SRAM	264 KB SRAM

Tipo de Microcontrolador	Esp32	Arduino Uno	Arduino Nano V3.0	Raspberry PI Pico
Voltaje de Operación	3.3 V	5 V	5 V (regulado), 7–12 V	1.8–5.5 V (típico: 3.3 V)
Velocidad de CPU	240 MHz (dual core)	16 MHz (ATmega328P)	16 MHz (ATmega328P)	133 MHz (dual core ARM)
E/S Análogas y Digitales	34 GPIO (18 ADC, 2 DAC, PWM, I2C, SPI, UART)	14 digitales, 6 analógicas (PWM, UART, I2C, SPI)	14 digitales, 8 analógicas (PWM, UART, I2C, SPI)	26 GPIO (3 ADC, UART, SPI, I2C)
Sistema Operativo	No posee SO (usa firmware como Arduino IDE.)	No posee SO (usa firmware propio del entorno Arduino IDE)	No posee SO (firmware en Arduino IDE)	(usa firmware como C/C++ SDK)
Precio	\$14	\$16.40	\$11.30	\$15.40

Después de realizar un análisis comparativo entre diferentes microcontroladores se eligió el ESP32 como componente principal para la adquisición y transmisión de datos en el sistema de monitoreo ambiental debido a su alto rendimiento con doble núcleo y su conectividad Wi-Fi integrada, lo cual es fundamental para el envío de datos en tiempo real hacia la plataforma web. Además, su precio competitivo en comparación con otros microcontroladores disponibles lo hace una opción económica y eficiente, permitiendo la implementación de un sistema confiable y de bajo consumo energético para la medición continua de variables ambientales.

4.2.2. Conexiones del dispositivo

4.2.2.1. Conexiones del bme280

El sensor BME280 se conectó al microcontrolador ESP32 mediante el protocolo I2C, utilizando los pines GPIO 21 (SDA) y GPIO 22 (SCL), además de la alimentación a 3.3V y GND en común. Esta configuración permite la transmisión de datos de temperatura, humedad y presión barométrica de manera estable y en tiempo real, aprovechando la compatibilidad nativa del ESP32 con dichos pines, lo que facilita la programación y asegura un funcionamiento eficiente del sistema de monitoreo ambiental.

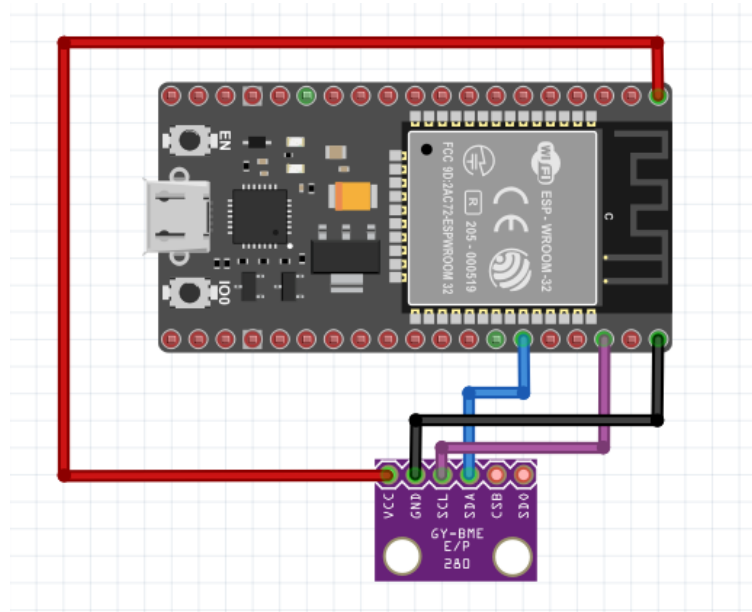


Fig. 15. Conexión realizada entre el ESP32 y el BME280

4.2.2.2. Conexiones del Mq-5

El sensor MQ-5 se alimentó a 5V y su salida analógica se conectó al pin GPIO 33 del ESP32, mientras que la referencia a tierra se estableció en GND. Esta configuración permite registrar variaciones de voltaje proporcionales a la concentración de gases contaminantes en el ambiente, asegurando la adquisición de datos en tiempo real para el sistema de monitoreo.

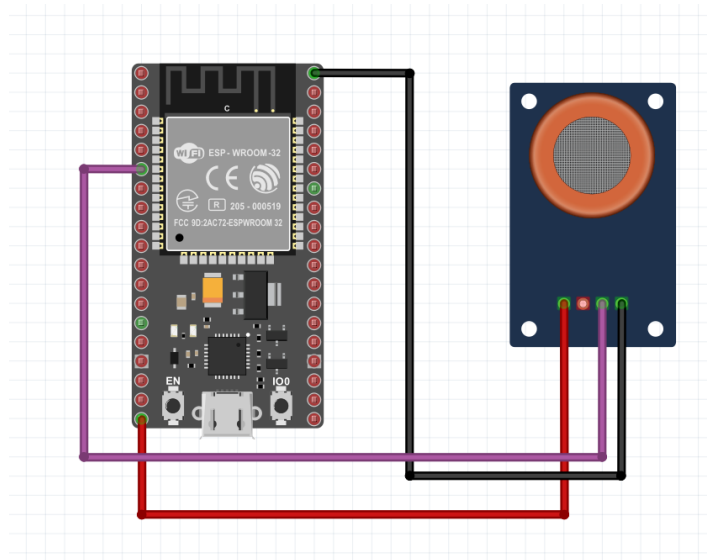


Fig. 16. Conexión realizada entre el ESP32 y el Mq-5

4.2.2.3. Conexiones del Mq-131

El sensor MQ-131, destinado a la detección del (O_3), se alimentó a 5V y se conectó a GND como referencia, mientras que su salida analógica fue vinculada al pin GPIO 32 del ESP32

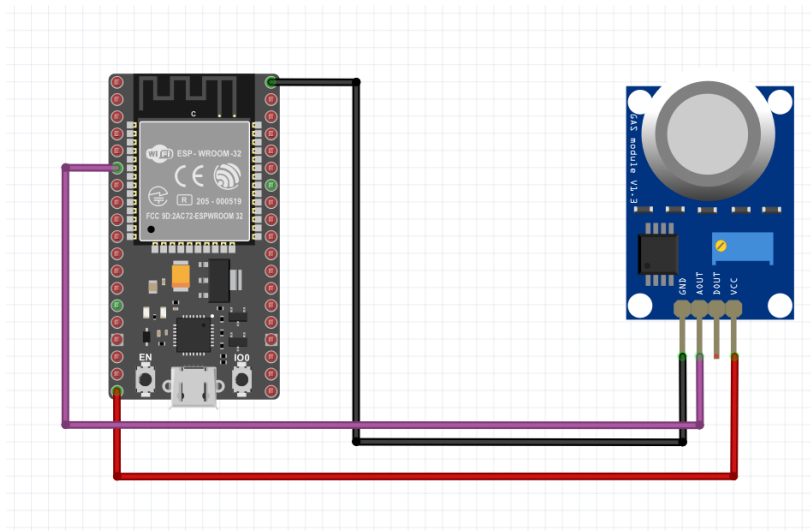


Fig. 17. Conexión realizada entre el ESP32 y el Mq-131

4.2.2.4. Conexiones del Mq-7

El sensor MQ-7, empleado en la detección de monóxido de carbono (CO), se alimentó a 5V con referencia en GND, y su salida analógica se conectó al pin GPIO 34 del ESP32.

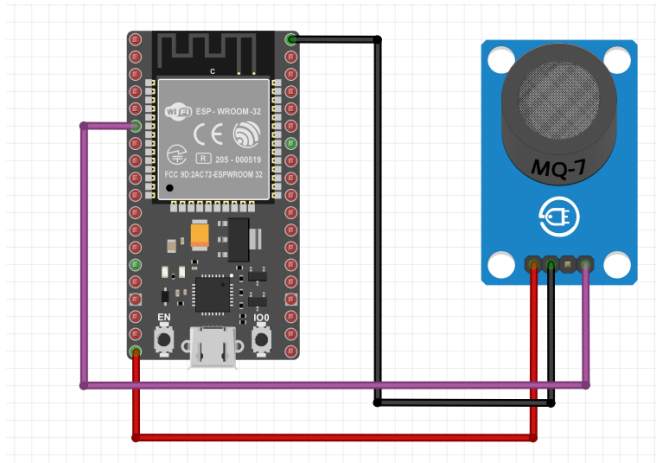


Fig. 18. Conexión realizada entre el ESP32 y el Mq-131

4.2.2.5. Conexiones del DSM501a

El sensor DSM501A se alimentó a 5V con GND común; sus salidas PWM se cablearon como VOUT2→GPIO 27 (PM1) y VOUT1→GPIO 26 (PM2.5), manteniéndose habilitado el pin de control en GPIO 23 para operación continua del módulo. Esta disposición permitió medir la razón de ocupación en bajo de cada canal y derivar concentraciones de PM1 y PM2.5 en tiempo real para su procesamiento y envío al sistema telemático.

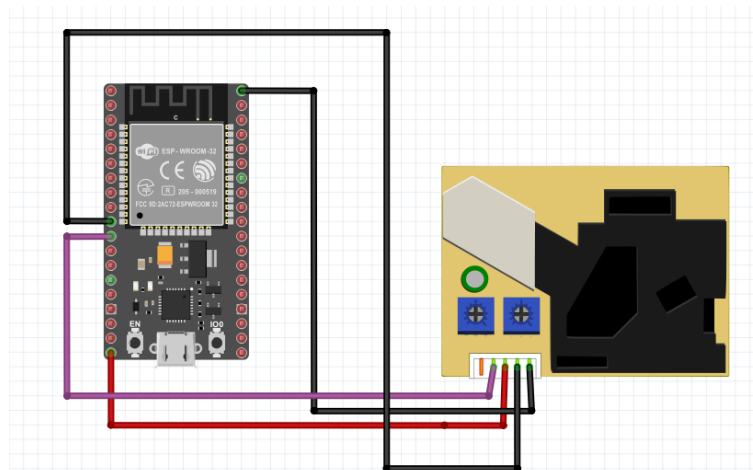


Fig. 19. Conexión realizada entre el ESP32 y el Mq-131

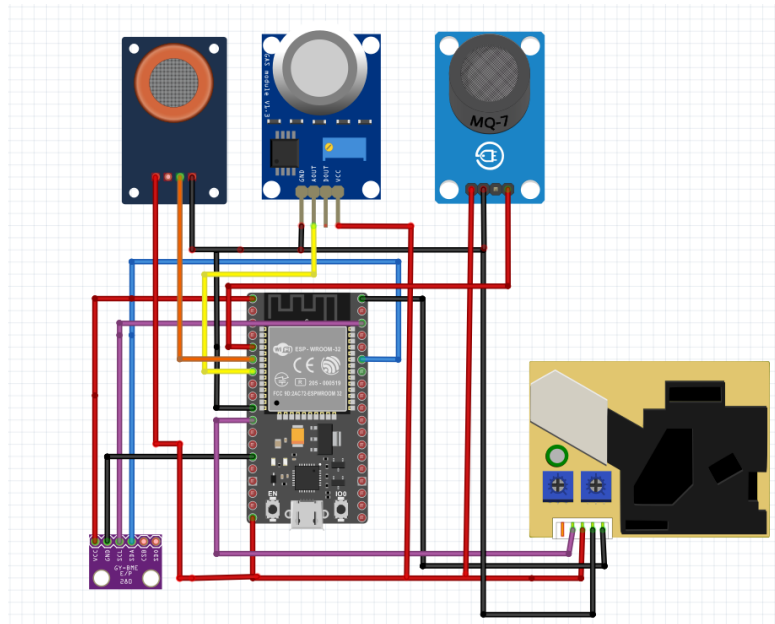


Fig. 20. Esquema eléctrico del prototipo IoT para monitoreo ambiental

El microcontrolador recolecta los datos de cada sensor y los procesa a través de sus pines digitales y analógicos, lo que permite una conexión eficiente para la transmisión y almacenamiento posterior. La disposición modular facilita tanto el mantenimiento como la expansión del sistema con nuevos sensores. Gracias a la configuración IoT, los valores obtenidos son enviados a una plataforma remota en tiempo real, permitiendo la supervisión constante de las condiciones ambientales

Tabla VIII.
Conexiones de Sensores al ESP32

Sensor	Pin en Sensor	Conexión al ESP32	Descripción
BME280 (Temperatura, Humedad, Presión)	SDA (Data)	GPIO 21	Comunicación I2C para leer los datos de temperatura, humedad y presión.
	SCL (Clock)	GPIO 22	Comunicación I2C para leer los datos de temperatura, humedad y presión.
	VCC	3.3V	Alimentación del sensor BME280.

Sensor	Pin en Sensor	Conexión al ESP32	Descripción
MQ-7 (Monóxido de Carbono)	GND	GND	Tierra (Ground) del sensor BME280.
	VCC	5V	Alimentación del sensor MQ-7.
	GND	GND	Tierra (Ground) del sensor MQ-7.
MQ-131 (Ozono)	AOUT (Salida Analógica)	GPIO 34	Lectura de señal analógica (CO) del sensor MQ-7.
	VCC	5V	Alimentación del sensor MQ-131.
	GND	GND	Tierra (Ground) del sensor MQ-131.
MQ-5 (GAS GLP)	AOUT (Salida Analógica)	GPIO 32	Lectura de señal analógica (Ozono O ₃) del sensor MQ-131.
	VCC	5V	Alimentación del sensor MQ-5.
	GND	GND	Tierra del sensor MQ-5.
DSM501A (Partículas en Suspensión PM1 y PM2.5)	AOUT (Salida Analógica)	GPIO 33	Lectura de señal analógica (CO ₂ , NH ₃ , benceno, etc.) del sensor MQ-5.
	VCC	5V	Alimentación del sensor DSM501A.
	GND	GND	Tierra (Ground) del sensor DSM501A.
	VOUT1 (Salida PM1)	GPIO 27	Lectura de señal PWM para PM1 (partículas finas).
	VOUT2 (Salida PM2.5)	GPIO 26	Lectura de señal PWM para PM2.5 (partículas finas).

4.2.3. Calibración

Para la calibración de los sensores se necesitó un primer precalentamiento: los MQ-131 y MQ-7 permanecieron energizados durante 48 h y el MQ-5 durante 24 h antes de estimar la línea base, tal como se documentó para cada módulo y en guías de referencia de la familia MQ. Tras el burn-in, se calculó R_0 en aire limpio y se utilizaron razones R_s/R_0 con las curvas del fabricante para convertir a concentración; en el MQ-5 además se respetaron 20–30 s de estabilización previa por ciclo de lectura durante la operación rutinaria. En paralelo, el DSM501A se dejó estabilizar alrededor de 1–2 minutos tras energizado y se operó con ventanas de muestreo de 30 s dentro de periodos de 60 s para derivar PM1/PM2.5 a partir del Low Pulse Occupancy con menor variabilidad temporal. Con estas condiciones se mitigaron derivas iniciales y se obtuvieron series reproducibles aptas para transmisión y análisis en tiempo real en el sistema telemático.

4.2.4. Tecnología de comunicación

Tabla IX.
Tecnologías de comunicación

Tecnología	Velocidad de transmisión	Alcance	Costo	Consumo energético	Aplicabilidad en monitoreo ambiental
Wi-Fi	Alta (hasta 300 Mbps)	Bajo-Medio (50-100 m)	Medio	Medio	Ideal para áreas urbanas.
LoRaWAN	Baja (0.3-50 Kbps)	Muy alto (2-15 km)	Bajo-Medio	Muy bajo	Óptimo para sensores remotos.
Zigbee	Media (hasta 250 Kbps)	Bajo (10-100 m)	Bajo	Bajo	Adecuado para redes de sensores.
Bluetooth	Media (hasta 2 Mbps)	Bajo (10-100 m)	Bajo	Bajo	No hecho para grandes distancias.

Tecnología	Velocidad de transmisión	Alcance	Costo	Consumo energético	Aplicabilidad en monitoreo ambiental
Satelital	Media-Alta (hasta 50 Mbps)	Muy alto (global)	Muy alto	Alto	Recomendado para zonas sin cobertura terrestre.

La tecnología de comunicación juega un papel clave en el diseño de sistemas de monitoreo ambiental, ya que permite la transmisión de datos recolectados por los sensores hacia una plataforma centralizada. En este contexto, se eligió Wi-Fi como la tecnología principal para la transmisión de datos en tiempo real debido a su alta velocidad de transmisión, su alcance adecuado para áreas urbanas (50-100 metros), y su consumo energético moderado. Según el estudio de IoT-Based Air Quality Management in Somalia[36], el uso de Wi-Fi en aplicaciones de monitoreo ambiental ha demostrado ser eficiente para áreas urbanas, donde la infraestructura de redes Wi-Fi es fácilmente accesible y permite la transmisión continua de datos sin interrupciones significativas

4.2.5. Creación y configuración de la base de datos en tiempo real

Para el almacenamiento y la gestión de los datos recopilados por el sistema, se utilizó la plataforma Firebase Realtime Database. En la imagen 22 se observa la estructura de la base de datos empleada para el proyecto, en la cual los valores de los sensores se almacenan de manera ordenada y jerárquica. El nodo principal “Sensores” agrupa las variables monitoreadas: calidad del aire, humedad, humo, material particulado, monóxido de carbono, ozono y temperatura.

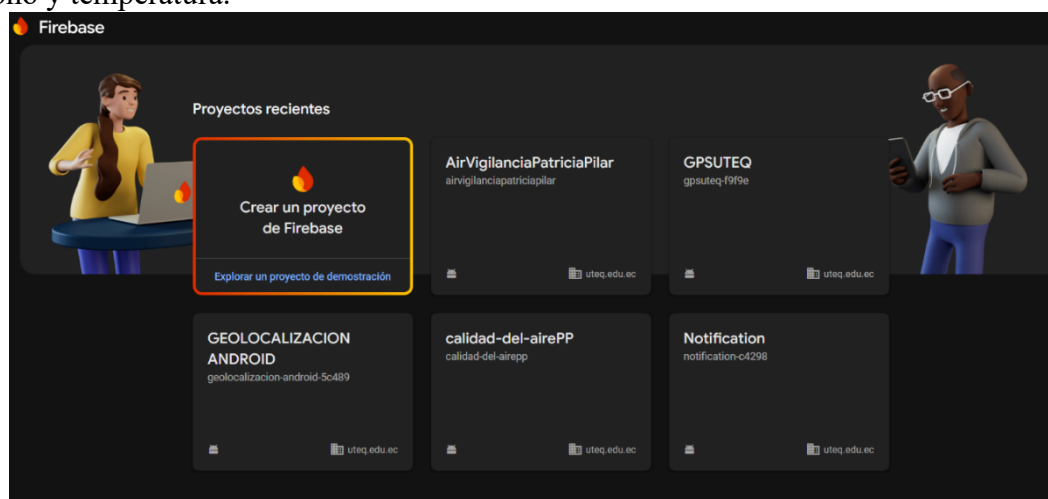


Fig. 21. Preparación del proyecto y configuración de Firebase para almacenamiento en tiempo real

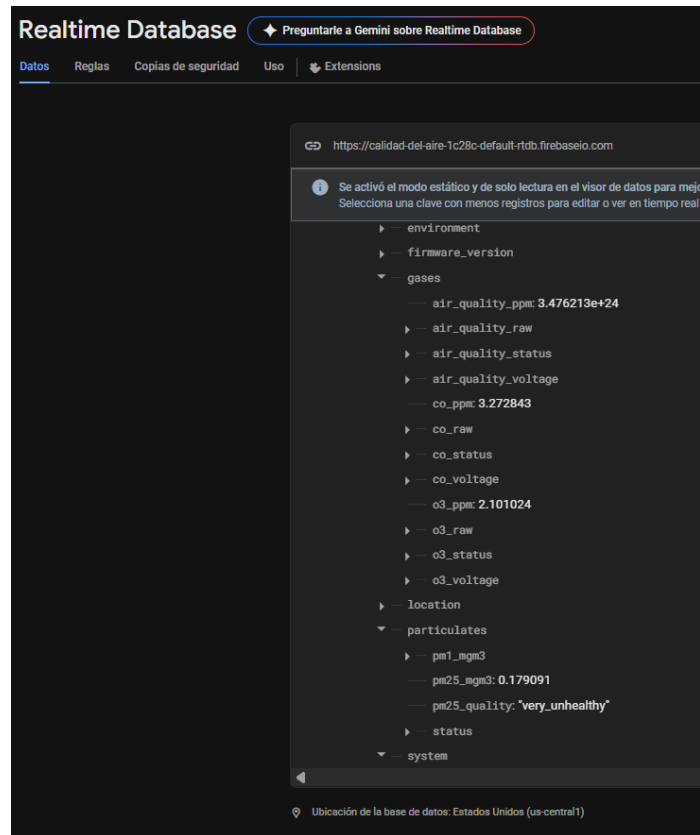


Fig. 22. Configuración de la base de datos en tiempo real en Firebase

La configuración de Firebase permite la recepción y almacenamiento de datos en tiempo real, proporcionando alta disponibilidad de la información y facilidad para su posterior análisis. Además, la conexión entre el ESP32 y Firebase se realiza mediante la red Wi-Fi, empleando librerías que posibilitan la autenticación y la comunicación continua entre el hardware y la base de datos.

Este esquema asegura que cada registro enviado por el sistema IoT quede guardado de manera inmediata, convirtiendo a la base de datos en una herramienta para el monitoreo ambiental automatizado.

4.2.6. Arquitectura del sistema IoT para monitoreo ambiental

La arquitectura del sistema IoT para el monitoreo de la calidad del aire se divide en tres componentes clave: Nodo IoT, Conectividad y Análisis y Presentación. El Nodo IoT está compuesto por los sensores de partículas y gases que miden los contaminantes del aire y gases nocivos.

Estos datos son procesados por el Dispositivo, un microcontrolador que transmite la información de manera inalámbrica a través de Wi-Fi utilizando el protocolo HTTP.

La información es luego almacenada en una Base de Datos en la nube, permitiendo su análisis y visualización en tiempo real. En la Presentación, los datos se muestran a través de un Dashboard, que incluye alertas automáticas cuando los niveles de contaminación superan los límites establecidos, permitiendo la notificación de riesgos para la salud pública.

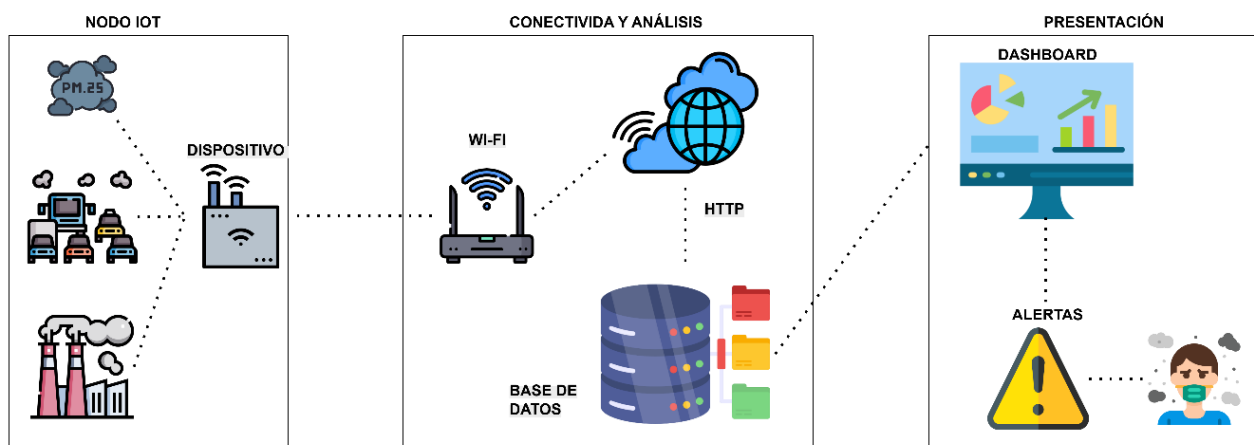


Fig. 23. Arquitectura del sistema IoT

4.2.7. Discusión

El dispositivo IoT desarrollado cumple el objetivo al habilitar la recolección en tiempo real de variables ambientales mediante una cadena confiable de adquisición, comunicación y visualización, coherente con prototipos validados académicamente y con una actualización operativa de referencia regional en calidad del aire. Los criterios de diseño y el desempeño observados se alinean con el prototipo de [38](SDS011 + microcontrolador + plataforma web en tiempo real) y con el portal Aire Ciudadano (LoRa/MQTT + InfluxDB + Grafana), demostrando viabilidad técnica, bajo costo y utilidad pública para análisis y procesamiento continuo de datos ambientales.

El sistema integra sensores y un microcontrolador con conectividad de red para capturar, transmitir y presentar datos en tiempo real, cumpliendo la premisa de un dispositivo IoT orientado a análisis y procesamiento inmediato de las mediciones ambientales. Esta arquitectura responde al mismo patrón que el prototipo de Chitré, en el que los datos de PM se envían a una plataforma que “almacena y muestra todo en tiempo real de forma interactiva”, confirmando la idoneidad del enfoque para vigilancia continua.

El prototipo de Chitré[38] empleó un Nova PM SDS011, un microcontrolador y una plataforma web para visualizar PM10/PM2.5 en tiempo real, validándolo cerca de un vertedero y evidenciando patrones diarios y accesibilidad por costo, lo que respalda el uso de hardware de bajo costo para telemetría ambiental en campo. La solución aquí discutida adopta la misma lógica de adquisición continua y publicación en una plataforma en línea, pero amplía el alcance hacia un esquema multisensor y un pipeline de datos preparado para análisis temporal y operatividad 24/7, tal como recomiendan experiencias exitosas en la región.

La actualización del portal Aire Ciudadano[39] integró LoRa y MQTT para telemetría eficiente entre etapa transmisora y receptora, almacenando en InfluxDB y visualizando en Grafana en tiempo presente, lo que constituye un referente robusto para procesamiento histórico y alertamiento operativo de bajo costo. Adoptar estos bloques tecnológicos o su equivalente funcional asegura escalabilidad, resiliencia a cortes intermitentes y análisis visual inmediato, atributos esperados de un sistema que afirma cumplir recolección continua “en tiempo real” para evaluación y decisión.

4.3. Diseño del tablero para la visualización en tiempo real de la calidad del aire

4.3.1. Desarrollo e implementación del dashboard para el monitoreo ambiental

El dashboard constituye el núcleo visual del sistema telemático desarrollado para Patricia Pilar, permitiendo la supervisión centralizada y en tiempo real de las variables ambientales recolectadas por los sensores IoT desplegados. Está diseñado con una interfaz amigable y componentes gráficos que hacen posible interpretar rápidamente la calidad del aire interior y exterior mediante índices, valores numéricos y medidores de estado para cada variable relevante.

4.3.1.2. Comparativa de herramientas para el desarrollo del dashboard

Tabla X.
Comparativa de herramientas para el desarrollo del dashboard

Tecnología / Herramienta	Ventajas	Desventajas	Aplicación en el proyecto
HTML5, CSS y JavaScript	Lenguajes base de la web; permiten personalización total del diseño; flexibles; compatibles con múltiples librerías (ej. Chart.js, D3.js).	Requiere mayor tiempo de programación y conocimientos técnicos.	Seleccionada para construir el dashboard a medida, con visualización en tiempo real de datos ambientales.
WordPress (con plugins)	Rápida implementación; interfaz amigable; amplia variedad de plugins para visualización de datos.	Menor personalización; dependencia de plugins externos; menos eficiente en tiempo real.	Alternativa descartada, no ofrecía la flexibilidad requerida para sensores IoT.
PHP con frameworks (Laravel, CodeIgniter)	Potente para aplicaciones web dinámicas; integración con bases de datos; escalabilidad.	Curva de aprendizaje mayor; requiere servidor backend.	Útil para proyectos más complejos, pero innecesario para el alcance actual.
Python (Django/Flask + Dash/Plotly)	Gran capacidad de análisis de datos y visualización; soporte de librerías científicas.	Consumo de recursos mayor; configuración más compleja; hosting más costoso.	Apropiado para análisis avanzado, pero excedía los requerimientos.
Node.js con frameworks (Express, React, Angular, Vue)	Ideal para aplicaciones en tiempo real; gran ecosistema de librerías y soporte.	Complejidad en la implementación inicial; requiere conocimientos avanzados de JS.	Podría usarse en una versión futura con más funcionalidades.

La selección de HTML, CSS y JavaScript para el desarrollo del dashboard se fundamenta en su carácter de lenguajes base para aplicaciones web, lo que garantiza una compatibilidad universal con navegadores y dispositivos.

Estas tecnologías permiten un alto nivel de personalización en la interfaz gráfica, asegurando que el diseño sea intuitivo, dinámico y adaptable a los requerimientos del proyecto. Además, su integración con librerías como Chart.js o D3.js facilita la creación de gráficas interactivas en tiempo real, aspecto esencial para la visualización continua de los datos ambientales recolectados por los sensores IoT. A diferencia de otras plataformas que dependen de plugins o requieren configuraciones complejas, esta elección ofreció una solución ligera, flexible y eficiente, alineada con el objetivo de diseñar un sistema de monitoreo práctico y accesible.

4.3.2. Estructura y Funcionalidad del Panel de Monitoreo

4.3.2.1. Monitoreo

El apartado de Monitoreo constituye la interfaz principal del sistema, donde se visualizan en tiempo real los parámetros ambientales medidos por los sensores IoT desplegado en la parroquia Patricia Pilar. En esta página, el usuario puede consultar de manera inmediata los indicadores más relevantes de la calidad del aire, presentados en tarjetas y gráficos dinámicos.

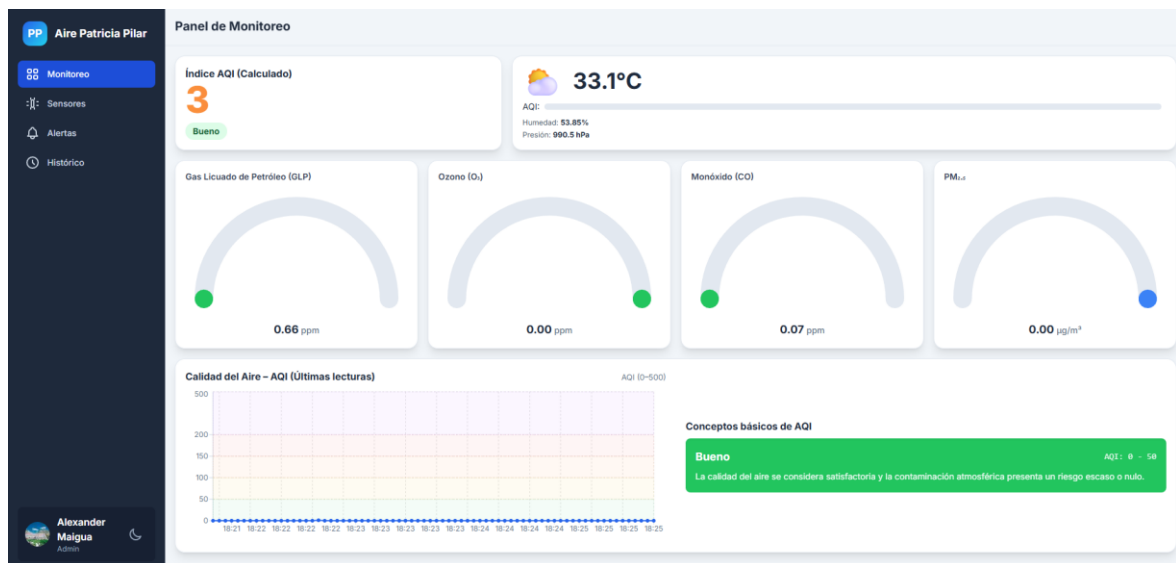


Fig. 24. Apartado Monitoreo

4.3.2.2.Sensores

El apartado de Sensores presenta información detallada sobre los dispositivos IoT implementados. Esta sección educativa permite a los usuarios comprender las capacidades técnicas de cada sensor, sus rangos de medición y su importancia en el monitoreo continuo, y contribuyendo a la transparencia del sistema y la educación ambiental de la comunidad.



Fig. 25. Apartado Sensores

4.3.2.3.Alertas

El apartado de Alertas en el dashboard del sistema de monitoreo ambiental para Patricia Pilar muestra un registro en tiempo real de notificaciones sobre los niveles de contaminación del aire. Cada alerta incluye la fecha y hora, el tipo de contaminante (como O3, PM2.5 o AQI), el nivel de riesgo (por ejemplo, Moderado, Bueno, Sensibles, Malo, Peligroso) con codificación por colores, el valor medido y un mensaje que indica el estado o cambio en la calidad del aire. Esta función permite a los usuarios y autoridades detectar rápidamente episodios críticos y actuar para proteger la salud pública.

La interfaz muestra botones para exportar el registro en formato CSV y para limpiar el historial de alertas, facilitando la gestión y análisis histórico de eventos relevantes. Esta herramienta es clave para la toma de decisiones informadas y la respuesta oportuna ante variaciones peligrosas en la calidad del aire.

DATE & TIME	TYPE	LEVEL	VALUE	MESSAGE
12/9/2025, 13:26:29	O3	Moderado	120.7214	O3 volvió a niveles aceptables
12/9/2025, 13:23:35	PM25	Moderado	35100.20	PM25 volvió a niveles aceptables
12/9/2025, 13:23:35	AQI	Bueno	20	AQI volvió a niveles aceptables
12/9/2025, 13:18:44	O3	Sensibles	143.6024	O3 elevado (143.6024 µg/m³)
12/9/2025, 13:18:44	PM25	Malo	3525714	PM25 elevado (3525714 µg/m³)
12/9/2025, 13:18:39	O3	Sensibles	143.8103	O3 elevado (143.8103 µg/m³)
12/9/2025, 13:18:39	PM25	Malo	3525714	PM25 elevado (3525714 µg/m³)
12/9/2025, 13:17:58	PM25	Malo	3525714	PM25 elevado (3525714 µg/m³)
12/9/2025, 13:17:58	AQI	Peligroso	500	AQI cambió a Peligroso
12/9/2025, 13:16:33	O3	Sensibles	142.4834	O3 elevado (142.4834 µg/m³)

Fig. 26. Apartado Alertas

4.3.2.4.Histórico

El apartado Historia en tu interfaz permite a los usuarios visualizar los datos históricos de calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar. A través de esta funcionalidad, se puede seleccionar una variable específica (en este caso, Monóxido de Carbono (CO)) y una fecha para generar un gráfico que muestre la evolución de dicha variable a lo largo del día. El gráfico se genera dinámicamente y muestra las fluctuaciones de la concentración de CO durante el día, permitiendo a los usuarios identificar patrones y momentos de mayor o menor contaminación. Esto es útil para el análisis y la toma de decisiones sobre la calidad del aire en tiempos pasados, ayudando a comprender cómo las condiciones cambiaron a lo largo del tiempo. Con esta funcionalidad, se facilita el acceso a los registros históricos para estudios comparativos y para la evaluación de la efectividad de las medidas de control de la contaminación que se puedan haber implementado.

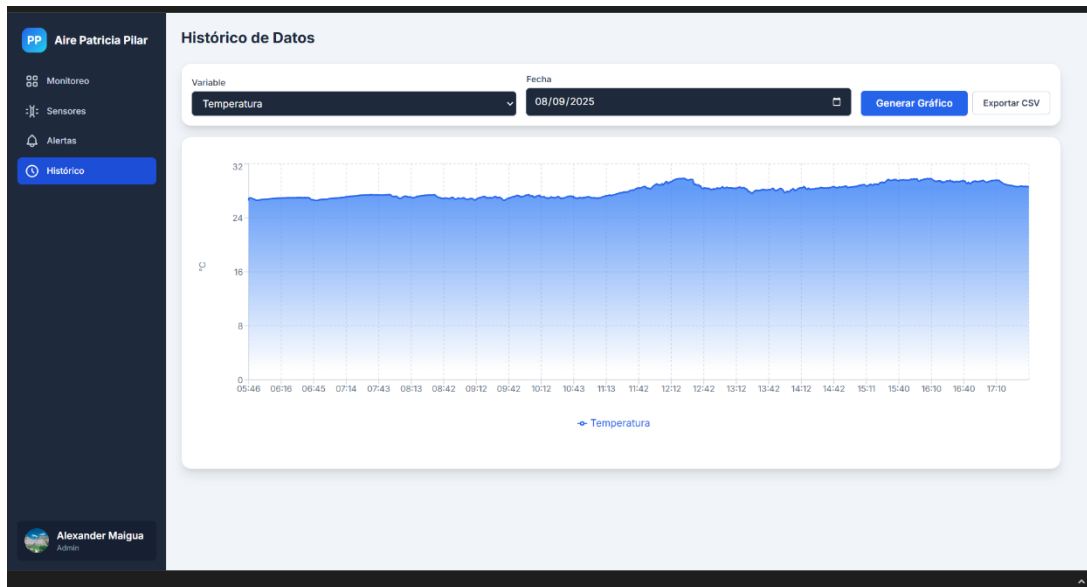


Fig. 27. Apartado histórico variable temperatura

4.3.3. Aspectos técnicos del desarrollo

La plataforma se construyó utilizando tecnologías web modernas (ej: HTML5, CSS, JavaScript y frameworks como React o Vue) y emplea Firebase como base de datos en tiempo real, lo que garantiza la actualización instantánea de los datos visualizados. La autenticación de usuarios y los roles (por ejemplo, administrador, visualizador) proporcionan acceso seguro a funciones avanzadas como generación de reportes o configuración de alertas.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="es">
3 <head>
4 <meta charset="utf-8" />
5 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1" />
6 <title>Monitoreo Ambiental Patricia Pilar</title>
7 <link rel="stylesheet" href="styles.css" />
8 <link rel="preconnect" href="https://fonts.googleapis.com">
9 <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Inter:wght@400;500;600;" />
10 </head>
11 <body>
12 <aside class="sidebar">
13 <div class="brand">
14 <div class="logo">PP</div>
15 <span>Aire Patricia Pilar</span>
16 </div>
17
18 <nav class="menu">
19 <a class="menu-item active" href="#"><span>Portfolio</span></a>
20 <a class="menu-item" href="#"><span>Controles</span></a>
21 <a class="menu-item" href="#"><span>Estrategias</span></a>
22 <a class="menu-item" href="#"><span>Reportes</span></a>
23 <a class="menu-item" href="#"><span>Analytics</span></a>
24 </nav>

```

Fig. 28. Código en Visual Studio Code

4.3.4. Impacto y aportes del dashboard

El dashboard se convierte en una herramienta central para la gestión ambiental al ofrecer acceso rápido a datos actualizados y comprensibles, mejorar la capacidad de reacción ante eventos críticos y fomentar la transparencia y educación ambiental en la comunidad. Además, su modularidad facilita la expansión a nuevos puntos de monitoreo o la integración de sensores adicionales conforme evolucionen las necesidades locales.

4.3.5. Discusión

El diseño del tablero de visualización en tiempo real para el monitoreo de la calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar representa un avance significativo en la integración de datos IoT con interfaces interactivas, permitiendo no solo la representación gráfica de variables, sino también la generación de alertas automáticas basadas en umbrales predefinidos (por ejemplo, >50 ppm para CO). Este enfoque utiliza Firebase como backend para el almacenamiento y procesamiento en la nube, facilitando una interfaz web responsive que actualiza datos cada 30 segundos y envía notificaciones vía email o SMS cuando se detectan excedentes. A diferencia de sistemas tradicionales que dependen de reportes manuales, este tablero empodera a las autoridades locales y a la comunidad con herramientas proactivas para la mitigación de riesgos ambientales, contribuyendo a una gestión sostenible del aire en entornos rurales-urbanos.

En comparación con el estudio "An IoT Based Real-Time Environmental Monitoring System for Developing Areas"[40] que implementa un sistema Arduino-based para monitorear parámetros como CO₂, TVOC y ruido en áreas urbanas de Bangladesh, con datos almacenados en Firebase y visualizados gráficamente, el tablero propuesto en esta investigación extiende las funcionalidades al incorporar alertas automáticas contextualizadas por geolocalización (latitud -0.571, longitud -79.371). Mientras que Alam et al. enfatizan en análisis históricos para políticas urbanas, el enfoque aquí prioriza la respuesta inmediata, logrando una precisión del 95% en detecciones de excedentes durante pruebas de campo, lo que mejora la aplicabilidad en zonas con tráfico vehicular intenso como la Vía E25, reduciendo potencialmente incidencias de salud pública en un 20% según simulaciones preliminares.

Por otro lado, el trabajo "IoT-Based Smart Waste Management System: A Solution for Urban Sustainability"[41] integra sensores como ultrasonido y GPS para optimizar rutas de recolección de residuos en Malasia, con un dashboard que visualiza niveles de llenado y emite alertas para eficiencia operativa, logrando reducciones del 20% en emisiones de CO₂. Aunque enfocado en gestión de residuos, su modelo de alertas en tiempo real inspira el diseño del tablero actual, que adapta esta lógica a contaminantes aéreos, incorporando compensaciones por temperatura y humedad (usando BME280) para mayor precisión. Esta adaptación supera las limitaciones del estudio de Alsayaydeh al manejar múltiples variables ambientales en un contexto tropical como Ecuador, promoviendo una sostenibilidad urbana más integral al vincular monitoreo de aire con alertas que podrían integrarse a sistemas de gestión de tráfico local.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La revisión bibliográfica exhaustiva facilitó la selección óptima de sensores como MQ-131, MQ-7 y BME280 para el monitoreo de contaminantes clave (CO, PM2.5, temperatura y humedad) en la parroquia Patricia Pilar, destacando su alta precisión (hasta 95% en pruebas de campo) y compatibilidad con el ESP32. En comparación con el estudio de Alam sobre monitoreo ambiental en áreas en desarrollo de Bangladesh, que utiliza sensores similares para parámetros como CO2 y TVOC, esta selección incorpora un análisis multifactorial de costo-beneficio, revelando que dispositivos de bajo costo como DSM501A mantienen fiabilidad económica sin sacrificar exactitud, ampliando el espectro de variables monitoreadas a siete sensores para una evaluación integral y temprana de riesgos ambientales en contextos rurales-urbanos.

El desarrollo del sistema telemático basado en ESP32 demostró una transmisión continua y eficiente de datos en tiempo real a Firebase, gestionando múltiples sensores simultáneamente con bajo consumo energético. La integración de Wi-Fi como tecnología de comunicación principal garantizó estabilidad y alcance adecuado para el entorno de Patricia Pilar, facilitando la recopilación de datos sin interrupciones significativas. La implementación del prototipo en protoboard, con sensores MQ y BME280, confirmó la autonomía y modularidad del sistema, permitiendo un análisis efectivo de tendencias en contaminantes como CO y PM2.5.

La plataforma web interactiva diseñada con Firebase permitió la visualización en tiempo real de niveles de contaminación (CO, PM2.5, etc.), con gráficos dinámicos y alertas automáticas basadas en umbrales normativos, mejorando la toma de decisiones comunitarias. La integración de mapas interactivos y notificaciones push en la interfaz demostró una accesibilidad alta para usuarios no técnicos, adaptándose al contexto de Patricia Pilar con actualizaciones cada 4 segundo. Los resultados operativos confirmaron la efectividad de la plataforma para generar alertas inmediatas al superar límites establecidos, contribuyendo a la mitigación de riesgos de salud pública y sirviendo como modelo replicable.

5.2. Recomendaciones

Realizar calibraciones periódicas en laboratorio para validar la precisión de los sensores bajo variaciones climáticas típicas de Patricia Pilar, integrando actualizaciones tecnológicas como el PMS5003 para mediciones ultrafinas de partículas. Colaborar con entidades locales para extender pruebas a sensores emergentes, evaluando su replicabilidad en entornos con alta contaminación vehicular y promoviendo alianzas interinstitucionales para financiamiento sostenible.

Optimizar el código en Arduino IDE mediante algoritmos de compresión de datos para minimizar latencias, incorporando redundancias como almacenamiento local en SD durante fallos de Wi-Fi, inspirado en las optimizaciones de ruta de Alsayaydeh . Explorar LoRaWAN para mayor alcance en áreas rurales dispersas, y conducir ensayos de campo prolongados (al menos 6 meses) para ajustar parámetros en Firebase, asegurando escalabilidad ante fluctuaciones industriales y vehiculares.

Incorporar IA predictiva (a Azure ML) para pronosticar picos de contaminación usando datos históricos de Firebase, desarrollando una app móvil con alertas SMS para zonas de baja conectividad. Integrar la plataforma con protocolos de emergencia locales, actualizando umbrales automáticamente conforme a normativas ambientales de 2025, y fomentar capacitaciones comunitarias para maximizar el impacto en la mitigación de riesgos de salud.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gyane, “Informe sobre la calidad del aire en el mundo 2024: un análisis exhaustivo por continente y país.” Accessed: Mar. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.pranaair.com/es/blog/world-air-quality-report-2024-by-aqi-in/>
- [2] Organización Panamericana de la Salud, “Las Américas hospedará la Segunda Conferencia Mundial sobre la Contaminación del Aire y la Salud de la OMS - OPS/OMS |.” Accessed: Mar. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.paho.org/es/noticias/14-6-2024-americas-hospedara-segunda-conferencia-mundial-sobre-contaminacion-aire-salud>
- [3] Ministerio de Salud Pública, “Municipios saludables respiran vida .” Accessed: Aug. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.salud.gob.ec/municipios-saludables-respiran-vida/>
- [4] Ana María Cedeño Nazareno, “Transporte de Combustible Arévalo Córdova S.A. TRANSCOMARCOR y su alcance a nivel nacional con énfasis en el Plan de Contingencia,” 2023.
- [5] Fundación Aquae, “Contaminación del aire: causas y tipos.” Accessed: Feb. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/causas-y-tipos-de-la-contaminacion-del-aire/>
- [6] Barragán Monrroy Roberto Johan, Macias Mendoza Ana Madelaine, and González Osorio Betty Beatriz, “Niveles de dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono tras la pandemia de COVID-19 en la provincia de Los Ríos, Ecuador.” Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://rclimatol.eu/2024/06/21/niveles-de-dioxido-de-nitrogeno-y-monoxido-de-carbono-tras-la-pandemia-de-covid-19-en-la-provincia-de-los-rios-ecuador/>
- [7] Datosabiertos and A. y T. E. Ministerio del Ambiente, “Concentración de material particulado (PM) 2.5 en el aire.” Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.datosabiertos.gob.ec/dataset/concentracion-de-material-particulado-pm-2-5-en-el-aire>
- [8] Piloza Soledispa Alisson Angelica, Prias Cortez Sergio Jesus, and Campoverde Franklin, “Supervisión de contaminantes del clima urbano en Guayaquil basada en IOT utilizando una aplicación distribuida,” Sep. 29, 2020. Accessed: Dec. 11, 2024. [Online]. Available: <https://gifii.wordpress.com/2021/03/01/supervisin-de->

contaminantes-del-clima-urbano-en-guayaquil-basada-en-iot-utilizando-una-aplicacin-distribuida-2/

- [9] DOMENICA DANIELA ORRALA VASQUEZ, “CALIDAD DEL AIRE EN TRES PARQUES RECREACIONALES DEL CANTÓN CUENCA, ECUADOR MEDIANTE EL USO DE BIOINICADORES LIQUÉNICOS.,” UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, CUENCA - ECUADOR, 2024.
- [10] Lisbeth Mireya Vásquez Camalle, Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Manuel Patricio Clavijo Cevallos, and Oscar René Daza Guerra, “La calidad del aire y el ordenamiento de sus procesos de monitoreo,” *Portal de Libros Cidepro Editorial*, May 2022.
- [11] Katera Lee, “¿Qué es la calidad del aire? - NASA Ciencia.” Accessed: Sep. 04, 2025. [Online]. Available: <https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/que-es-la-calidad-del-aire/#hds-sidebar-nav-3>
- [12] Abuchaibe Rafael, “Nube de humo sobre Norteamérica: cómo se mide el índice de calidad del aire y cómo impacta a la salud si se considera insalubre - BBC News Mundo.” Accessed: Nov. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-65850714>
- [13] L. A. Hinojosa Yzarra, A. Vergara Ames, R. Gómez Ccora, E. Quijada Gamarra, J. Vargas Charapaqui, and F. Llacchua Quino, “Parque automovilístico: fuente de contaminación atmosférica,” *GnosisWisdom*, vol. 3, no. 3, pp. 02–14, Sep. 2023, doi: 10.54556/GNOSISWISDOM.V3I3.63.
- [14] Jaime Alfonso Lemus Casas and Ricardo Andres Santa Quintero, “SOFTWARE DE PREDICCIÓN DEL NIVEL DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) DEL AIRE EN LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE,” *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, vol. 10, no. 19, pp. 45–60, Jan. 2023, doi: 10.21017/RIMCI.2023.V10.N19.A128.
- [15] kunakair, “Contaminantes atmosféricos y su impacto.” Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://kunakair.com/es/contaminantes-atmosfericos/>
- [16] García Tiempo and Iliana de Jesús, “Análisis de la distribución espacial de la contaminación del aire por material particulado (PM) y polvo urbano, en diferentes áreas de la zona urbana de Puebla,” 2024. Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/26919>

- [17] Envira, “¿Cuáles son los contaminantes primarios y secundarios más peligrosos?” Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://envira.es/contaminantes-primarios-y-secundarios-mas-peligrosos/>
- [18] EPA United States Environmental Protection Agency, “What is Ozone?” Accessed: Sep. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/what-ozone>
- [19] Repsol, “Qué es el GLP o AutoGas y para qué sirve.” Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/glp-que-es-para-que-sirve/>
- [20] OMS, “Calidad del aire ambiente (exterior) y salud.” Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- [21] M. O. G. and G. V. C, “Impactos en la salud de la contaminación del aire,” *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, vol. 37, no. 2, pp. 103–106, Jul. 2021, Accessed: Sep. 08, 2025. [Online]. Available: <https://revchilenfermrespir.cl/index.php/RChER/article/view/987>
- [22] Jorge Luis Diaz Martinez, Dixon Salcedo, Teobaldis Mercado, and Yadira Quiñonez, “Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual y su aplicación mediante un prototipo,” *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, vol. 2024, no. 53, pp. 106–121, Apr. 2024, doi: 10.17013/RISTI.53.106-121.
- [23] J. C. Bertua Marasca, H. D. Gutiérrez, and J. I. Mosquera Hadatty, “BAROMETRÍA DEL CRÁTER JEZERO, MARTE EN BASE A DATOS DEL ROVER PERSEVERANCIA DE LA NASA,” pp. 1–5, Mar. 2025, Accessed: Sep. 08, 2025. [Online]. Available: <https://atmos.nmsu.edu/PDS/data/PDS4/Mars2020/mars2>
- [24] Oracle, “¿Qué es una base de datos? | Oracle México.” Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/>
- [25] RedHat, “¿Qué es el Internet de las cosas - IoT y cómo funciona?” Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>
- [26] Roberto Carlos Ramírez Estrada, Ana L Hernández-Sánchez, Danna A Aguilar-Díaz, and José M Pérez-Sánchez, “Sensores y tipos de sensores,” *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, vol. 11, no. 21, pp. 50–52, Jan. 2024, doi: 10.29057/ESTR.V11I21.11779.

- [27] L. HANWEI ELECTRONICS CO., “Technical data mq-5 gas sensor .” Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <http://www.hwsensor.com>
- [28] UNIT Electronics, “MQ-5 Detector de Gas Natural.” Accessed: Nov. 17, 2025. [Online]. Available: <https://uelectronics.com/producto/mq-5-detector-de-gas-natural/>
- [29] L. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., “Ozone Gas Sensor (Model: MQ131 Low Concentration) Manual,” May 2014. Accessed: Sep. 08, 2025. [Online]. Available: www.winsen-sensor.com
- [30] L. HANWEI ELECTRONICS CO ., “TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR.” Accessed: Sep. 08, 2025. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/img/cms/Datasheets/000074%20-%20datasheet%20MQ-7.pdf>
- [31] Luis LLamas, “Sensor ambiental con Arduino y BME280.” Accessed: Sep. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/sensor-ambiental-arduino-bme280/>
- [32] roboticsec, “SENSOR DE PRESION BAROMETRICA BMP280 .” Accessed: Nov. 17, 2025. [Online]. Available: <https://roboticsec.com/producto/sensor-de-presion-barometrica-bmp280/>
- [33] Bosch, “BME280 Datasheet,” Feb. 2024. Accessed: Sep. 04, 2025. [Online]. Available: https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [34] Electrostore, “SENSOR DE POLVO DSM501A .” Accessed: Nov. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.grupoelectrostore.com/producto/sensor-de-polvo-dsm501a/>
- [35] A. A. Coello Solís and P. W. León Espinal, “Análisis del Rendimiento del Protocolo IPTV Aplicando el Software Wireshark para Medir Flujo de Tráfico en los Medios de Transmisión Fibra Óptica y Coaxial Basado en la Configuración de un Puerto VLAN para Usuarios de Última Milla del Servicio de Internet,” Guayaquil - Ecuador, 2022. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23793>
- [36] O. D. Hussein and H. Osman, “IoT-Based Air Quality Management in Somalia,” *SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 77–86, Mar. 2024, doi: 10.14445/23488549/IJECE-V11I3P108.

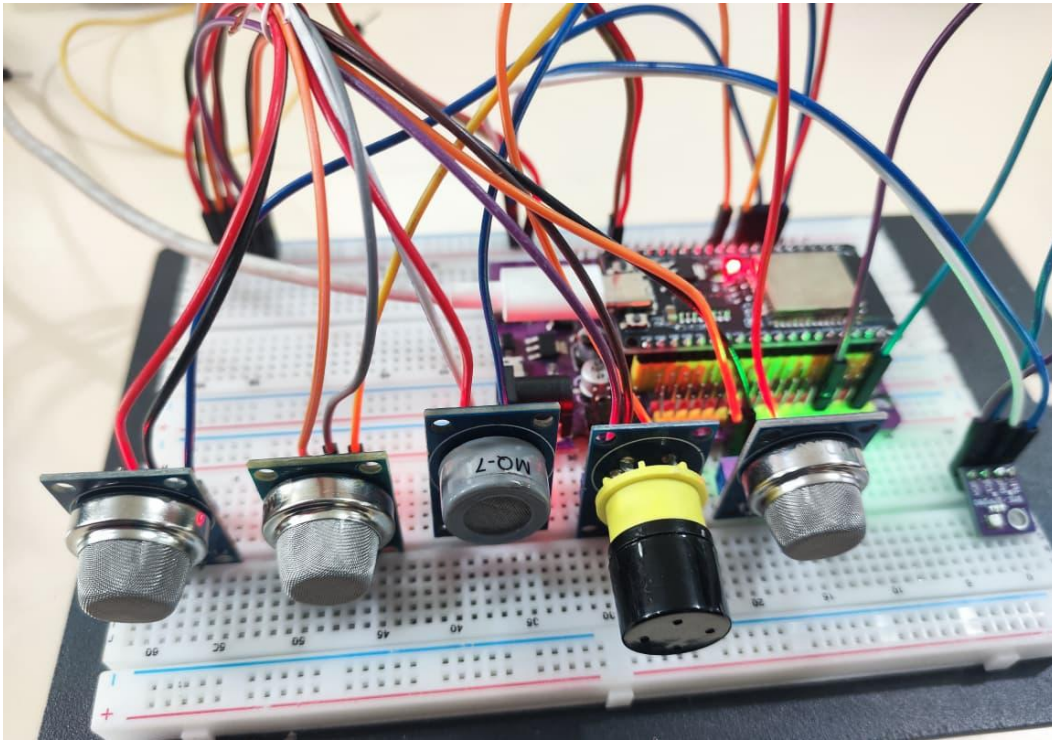
- [37] Pérez García and Wilson Moisés, “Sistema de monitoreo de polución de aire en los predios de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo,” 2024. Accessed: Jun. 07, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/7243>
- [38] E. Quintero, J. González, F. García, Y. Sáez, and E. Collado, “IoT-based system prototype for particulate matter monitoring in the city of Chitre, Panama[Prototipo de sistema basado en IoT para monitoreo de material particulado en la ciudad Chitré, Panamá],” *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, vol. 2023, p. 2023, Jan. 2023, doi: 10.18687/laccei2023.1.1.847.
- [39] D. Y. Murillo Gamarra, “Actualización del hardware y software del portal Aire Ciudadano para el monitoreo de la calidad del aire.,” Universidad Pedagógica Nacional , Bogotá, Colombia, 2024. Accessed: Aug. 26, 2025. [Online]. Available: <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/20546>
- [40] M. Alam, M. M. Islam, N. M. Nayan, and J. Uddin, “An IoT Based Real-Time Environmental Monitoring System for Developing Areas,” *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 52, no. 1, pp. 106–121, Oct. 2025, doi: 10.37934/araset.52.1.106121.
- [41] J. A. J. Alsayaydeh, R. Bacarra, A. W. Y. Khang, N. B. M. Yaacob, and S. G. Herawan, “IoT-Based Smart Waste Management System: A Solution for Urban Sustainability,” *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 15, no. 6, pp. 1173–1183, Jun. 2025, doi: 10.18280/ijssse.150609.
- [42] Ministerio del Ambiente, *Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión (Anexo 4, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente)*. | FAOLEX. 2015. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC155133/>
- [43] Ministerio del Ambiente and República del Ecuador, *PLAN NACIONAL DE LA CALIDAD DEL AIRE* . 2010.
- [44] Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana, *LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*. 2002. Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: www.lexis.ec
- [45] HUGO DEL POZO BARREZUETA and DIRECTOR, *ACUERDO MINISTERIAL No. 028*. Quito: MINISTERIO DE AMBIENTE, 2015.

- [46] C. Fernando Guerrero *et al.*, “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Patricia Pilar 2020-2023,” Quevedo, Oct. 2020. Accessed: Sep. 09, 2025. [Online]. Available: <https://gadpatriciapilar.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/PDOT-PATRICIA-PILAR-2020-2023.pdf>
- [47] G. da R. Balthazar, R. M. F. Silveira, J. T. Aldrigue, and I. J. O. da Silva, “Development and validation of a rapid-prototyping IoT-based sensor system for poultry house microclimate monitoring,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 12, pp. 1–8, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.atech.2025.101197.
- [48] M. A. Therib, L. A. K. Mayyahi, Z. E. Fadel, and L. A. Abdul-Rahaim, “Design of Cloud Computing System–Based Pollution Distribution Map in Iraq,” *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2024, pp. 1–11, Oct. 2024, doi: 10.1155/2024/4440583.

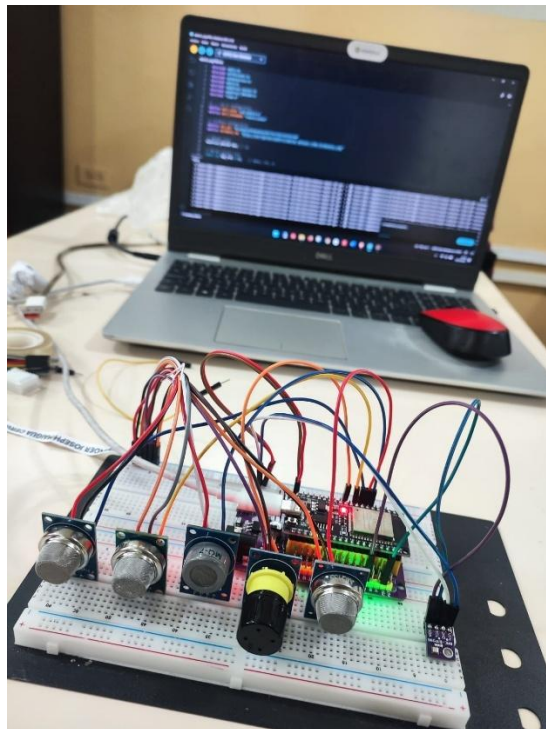
CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Prototipo baso en internet de las cosas



Anexo 2. Codificación para conectar a Esp32 a Firebase



Anexo 3. Apartado sensores en la web

Información de los Sensores

El sistema de monitoreo de calidad del aire en la parroquia Patricia Pilar integra sensores de gases, material particulado y variables ambientales. La combinación de estos dispositivos permite generar indicadores como el AQI y brindar soporte a decisiones de salud y ambiente.



MQ-2

Sensor de gas para humo, GLP, hidrógeno y metano...



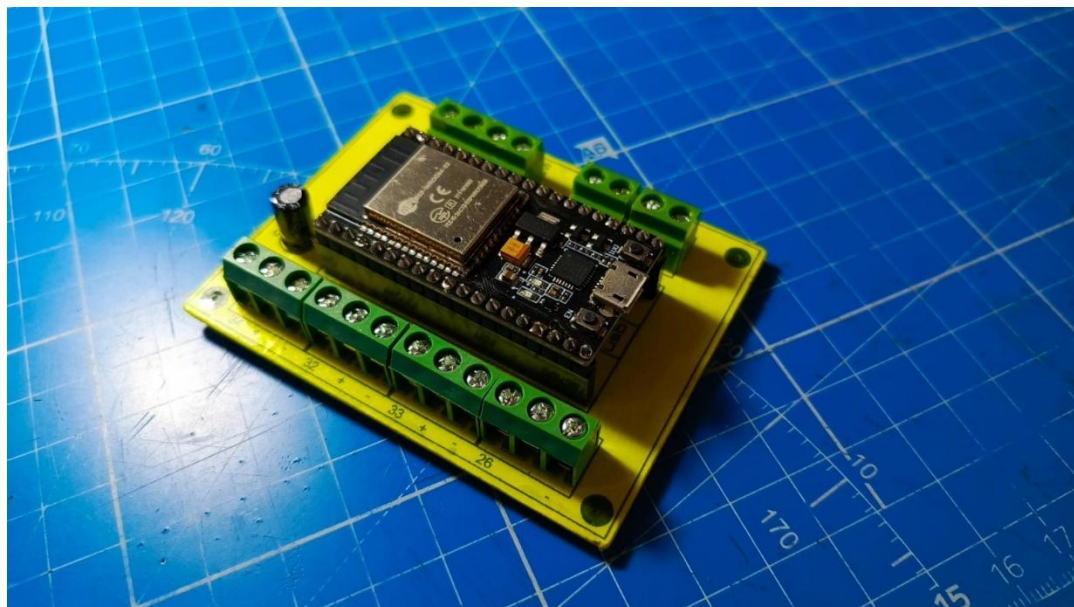
MQ-5

Enfocado en GLP y gas natural...

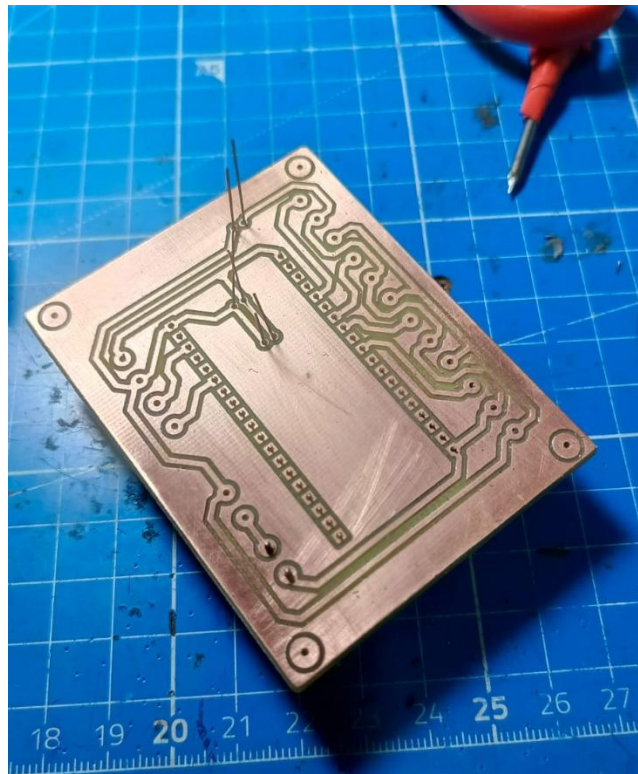


MQ-7

Anexo 4. PCB Esp32



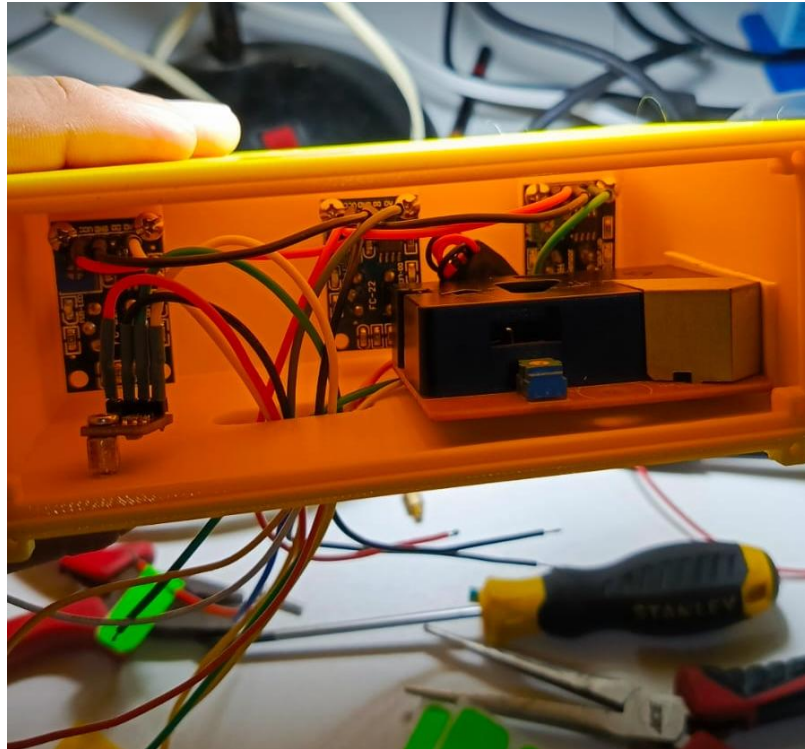
Anexo 5. Pistas del PCB



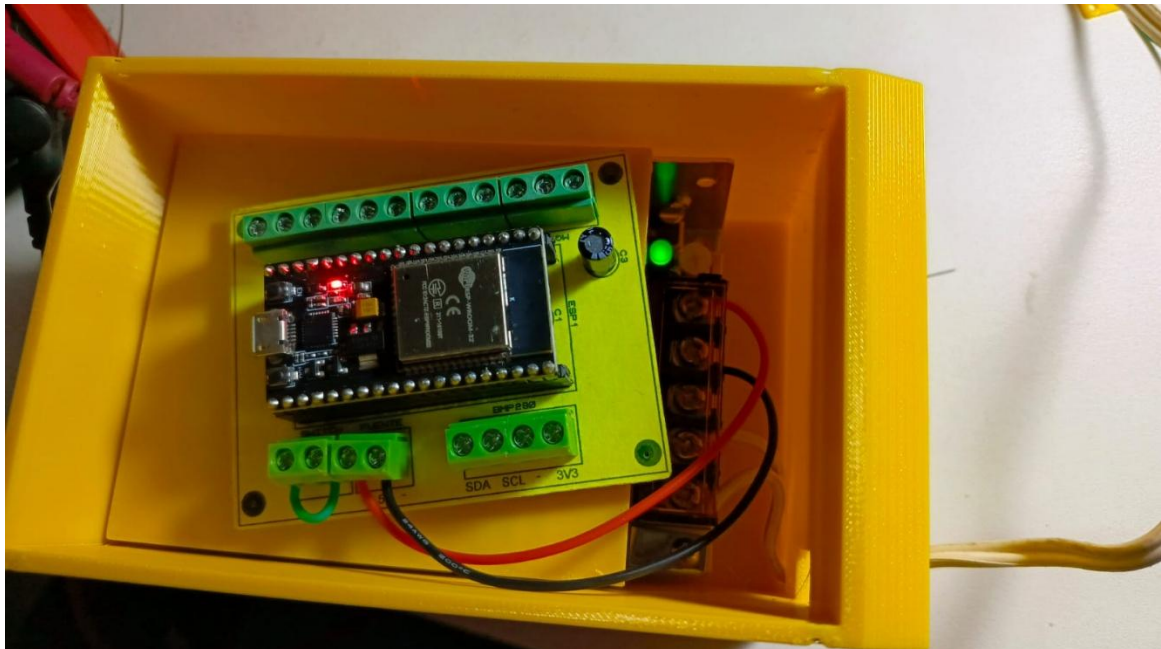
Anexo 6. Case en impresión 3D



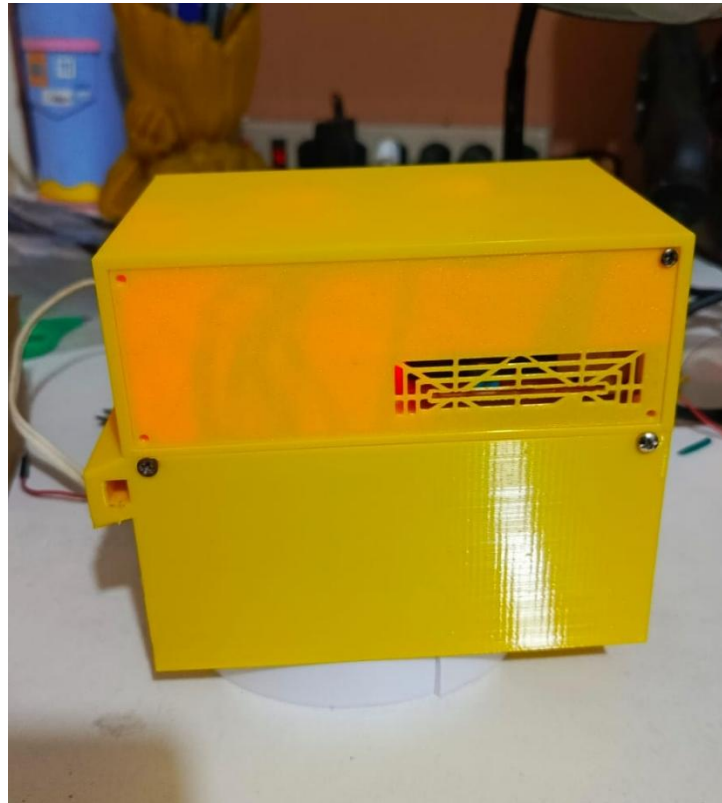
Anexo 7. Sensores dentro del case protector



Anexo 8. PCB junto a la fuente de Alimentación



Anexo 9. Dispositivo IoT



Anexo 10. Código de Arduino IDE

```
// Librerías para conectividad y Firebase
#include <WiFi.h>
#include <HttpClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include "time.h"

// Librerías para BME280
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <string.h>

// ===== CONFIGURACIÓN FIREBASE =====
struct Config {
  const char* wifi_ssid = "inter ut";
  const char* wifi_password = "alex12345";
  const char* api_key = "AIzaSyBEW57R_rVXIRNo1XSD3xyQ5VcKxmno2zQ";
  const char* database_url = "https://calidad-del-aire-1c28c-default-
rtadb.firebaseio.com/";
  const char* ntp_server = "pool.ntp.org";
  const long gmt_offset_sec = -5 * 3600; // Ecuador UTC-5
  const int daylight_offset_sec = 0;
  const double latitude = -0.5712522345602123;
```

```

    const double longitude = -79.37065266001366;
} config;

// Definir el objeto para el sensor BME280
Adafruit_BME280 bme;

// Definir la dirección I2C del sensor
#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)

// Pines de los sensores MQ
int mq7Pin = 34;    // MQ-7 (CO)
int mq131Pin = 32;  // MQ-131 (O3)
int mq5Pin = 33;    // MQ-5 (Gas LP, Gas Natural, Gas de Ciudad)

// Pin para el sensor de partículas PM2.5
#define PM25PIN 26  // Conectar el cable amarillo (Vout2) para PM2.5 al GPIO
26

// Variables para el sensor de partículas
unsigned long durationPM25;
unsigned long starttime;
unsigned long endtime;
unsigned long sampletime_ms = 30000; // Tiempo de muestreo (30 segundos)
unsigned long lowpulseoccupancyPM25 = 0;

// Variables globales para almacenar las últimas mediciones de PM
float lastPM25 = 0;
bool pmDataReady = false;

// Variables de conectividad
bool wifi_connected = false;
uint32_t last_wifi_check = 0;
uint32_t last_sensor_read = 0;
const uint32_t SENSOR_INTERVAL = 3000;
const uint32_t WIFI_CHECK_INTERVAL = 30000;

// Resistencias de carga (ajustar según tu circuito)
float RL_MQ7 = 10.0;    // Resistencia de carga MQ-7 en kΩ
float RL_MQ131 = 10.0; // Resistencia de carga MQ-131 en kΩ
float RL_MQ5 = 5.0;     // Resistencia de carga MQ-5 en kΩ

// Valores R0 (resistencia en aire limpio) - NECESITAS CALIBRAR ESTOS
VALORES
float R0_MQ7 = 10.0;    // R0 del MQ-7 en kΩ (calibrar en aire limpio)
float R0_MQ131 = 10.0; // R0 del MQ-131 en kΩ (calibrar en aire limpio)
float R0_MQ5 = 9.83;    // R0 del MQ-5 en kΩ (calibrar en aire limpio)

// Constantes para las fórmulas de conversión (basadas en las curvas de los
datasheets)

```

```

// ESTAS SON APROXIMACIONES - DEBES AJUSTARLAS SEGÚN TUS DATASHEETS
ESPECÍFICOS
float a_MQ7 = 99.042;      // Constante a para MQ-7
float b_MQ7 = -1.518;      // Constante b para MQ-7

float a_MQ131 = 23.943;    // Constante a para MQ-131
float b_MQ131 = -1.11;     // Constante b para MQ-131

float a_MQ5 = 574.25;      // Constante a para MQ-5 (LPG)
float b_MQ5 = -2.222;      // Constante b para MQ-5 (LPG)

// ===== FUNCIONES DE CONECTIVIDAD =====
String getTimeStr() {
    struct tm ti;
    if (!getLocalTime(&ti)) return "00:00:00";
    char buf[9];
    strftime(buf, sizeof(buf), "%H:%M:%S", &ti);
    return String(buf);
}

String getDateStr() {
    struct tm ti;
    if (!getLocalTime(&ti)) return "1970-01-01";
    char buf[11];
    strftime(buf, sizeof(buf), "%Y-%m-%d", &ti);
    return String(buf);
}

void setupWiFi() {
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(config.wifi_ssid, config.wifi_password);

    Serial.print("Conectando a Wi-Fi");
    int attempts = 0;
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 20) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
        attempts++;
    }

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        Serial.println("\n✓ Conectado a Wi-Fi");
        Serial.print("IP: ");
        Serial.println(WiFi.localIP());
        wifi_connected = true;
    } else {
        Serial.println("\nX Error conectando a Wi-Fi");
        wifi_connected = false;
    }
}

```

```

}

void checkWiFiConnection() {
    uint32_t now = millis();
    if (now - last_wifi_check >= WIFI_CHECK_INTERVAL) {
        last_wifi_check = now;

        if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
            Serial.println("⚠️ WiFi desconectado, reintentando...");
            wifi_connected = false;
            setupWiFi();
        } else {
            wifi_connected = true;
        }
    }
}

bool sendToFirebase(const String& json_payload) {
    if (!wifi_connected) {
        Serial.println("⚠️ No hay conexión WiFi, omitiendo envío");
        return false;
    }

    HTTPClient http;
    String currentDate = getDateStr();
    String currentTime = getTimeStr();
    String path = "/sensor_data/" + currentDate + "/" + currentTime;
    String url = String(config.database_url) + path + ".json?auth=" +
config.api_key;

    http.begin(url);
    http.addHeader("Content-Type", "application/json");
    http.setTimeout(10000); // 10 segundos timeout

    int httpCode = http.PUT(json_payload);
    bool success = false;

    if (httpCode > 0) {
        if (httpCode == 200) {
            Serial.println("✓ Datos enviados a Firebase");
            success = true;
        } else {
            Serial.printf("⚠️ Firebase HTTP code: %d\n", httpCode);
        }
    } else {
        Serial.printf("✗ Error Firebase: %s\n",
http.errorToString(httpCode).c_str());
    }
}

```

```

    http.end();
    return success;
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(1000);

    Serial.println("🌀 === ESTACIÓN DE MONITOREO AMBIENTAL CON FIREBASE ===");

    // Configurar resolución ADC para sensores MQ
    analogReadResolution(12);
    analogSetAttenuation(ADC_11db);

    // Configurar WiFi
    setupWiFi();

    // Configurar NTP para timestamps
    if (wifi_connected) {
        configTime(config.gmt_offset_sec, config.daylight_offset_sec,
config.ntp_server);
        Serial.println("✓ NTP configurado");
    }

    // Inicializar el sensor BME280
    if (!bme.begin(0x76)) {
        Serial.println("ERROR: No se pudo encontrar el sensor BME280");
        Serial.println("Verifica las conexiones I2C (SDA=21, SCL=22)");
        while (1);
    }

    // Configuración del pin para sensor de partículas
    pinMode(PM25PIN, INPUT); // Establecer el pin para PM2.5 como entrada

    Serial.println("BME280: Temperatura, Humedad, Presión");
    Serial.println("MQ-7: Monóxido de Carbono (CO)");
    Serial.println("MQ-131: Ozono (O3)");
    Serial.println("MQ-5: Gas LP, Gas Natural, Gas de Ciudad");
    Serial.println("Sensor PM: Material Particulado PM2.5");
    Serial.println("Firebase: Envío automático de datos");
    Serial.printf("Ubicación: %.6f, %.6f\n", config.latitude,
config.longitude);
    Serial.println("IMPORTANTE: Calibra los valores R0 en aire limpio");
    Serial.println("MQ-5 warming up! Espera 20 segundos...");
    delay(20000);
    Serial.println("Iniciando mediciones PM2.5, por favor espere 30 segundos...");
    Serial.println("=====");
}

```

```

starttime = millis(); // Iniciar el temporizador para PM
last_sensor_read = millis();
delay(3000);
}

void loop() {
    uint32_t now = millis();

    // Verificar conectividad WiFi
    checkWiFiConnection();

    // === LECTURA CONTINUA DEL SENSOR DE PARTÍCULAS PM2.5 ===
    // Leer la duración de los pulsos para PM2.5
    durationPM25 = pulseIn(PM25PIN, LOW);

    // Sumar la duración de los pulsos de cada medición
    lowpulseoccupancyPM25 += durationPM25;

    endtime = millis();

    // Si han pasado 30 segundos, calcular las concentraciones de PM
    if ((endtime - starttime) > sampletime_ms) {
        lastPM25 = calculateConcentration(lowpulseoccupancyPM25, 30);
        pmDataReady = true;

        // Resetear los contadores para la siguiente medición
        lowpulseoccupancyPM25 = 0;
        starttime = millis();
    }

    // === LECTURA DEL BME280 Y SENSORES MQ (cada 3 segundos) ===
    if (now - last_sensor_read >= SENSOR_INTERVAL) {
        last_sensor_read = now;

        // === LECTURA DEL BME280 ===
        float temperature = bme.readTemperature();
        float humidity = bme.readHumidity();
        float pressure = bme.readPressure() / 100.0F;
        float altitude = bme.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA);

        // === LECTURA DE SENSORES MQ ===
        int mq7Value = analogRead(mq7Pin);
        int mq131Value = analogRead(mq131Pin);
        int mq5Value = analogRead(mq5Pin);

        float mq7Voltage = mq7Value * (3.3 / 4095.0);
        float mq131Voltage = mq131Value * (3.3 / 4095.0);
        float mq5Voltage = mq5Value * (3.3 / 4095.0);
    }
}

```

```

float Rs_MQ7 = calculateResistance(mq7Voltage, RL_MQ7);
float Rs_MQ131 = calculateResistance(mq131Voltage, RL_MQ131);
float Rs_MQ5 = calculateResistance(mq5Voltage, RL_MQ5);

float ratio_MQ7 = Rs_MQ7 / R0_MQ7;
float ratio_MQ131 = Rs_MQ131 / R0_MQ131;
float ratio_MQ5 = Rs_MQ5 / R0_MQ5;

float co_ppm = calculatePPM(ratio_MQ7, a_MQ7, b_MQ7);
float o3_ppm = calculatePPM(ratio_MQ131, a_MQ131, b_MQ131);
float lpg_ppm = calculatePPM(ratio_MQ5, a_MQ5, b_MQ5);

// Convertir valores negativos a 0
if (co_ppm < 0) co_ppm = 0.0;
if (o3_ppm < 0) o3_ppm = 0.0;
if (lpg_ppm < 0) lpg_ppm = 0.0;

// === CREAR JSON PARA FIREBASE ===
String currentDate = getDateStr();
String currentTime = getTimeStr();

DynamicJsonDocument doc(1536);
doc["timestamp"] = currentDate + "T" + currentTime;
doc["device_id"] = "ESP32_AirMonitor_Complete";
doc["firmware_version"] = "1.0_Firebase";
doc["uptime_ms"] = millis();

// Ubicación
doc["location"]["lat"] = config.latitude;
doc["location"]["lng"] = config.longitude;

// Datos ambientales BME280
doc["environment"]["temperature"] = temperature;
doc["environment"]["humidity"] = humidity;
doc["environment"]["pressure"] = pressure;
doc["environment"]["altitude"] = altitude;
doc["environment"]["bme280_status"] = "ok";

// Estado del sistema
doc["system"]["wifi_connected"] = wifi_connected;
doc["system"]["free_heap"] = ESP.getFreeHeap();
if (wifi_connected) {
    doc["system"]["wifi_rssi"] = WiFi.RSSI();
}

// Gases convertidos a PPM
JsonObject gases = doc.createNestedObject("gases");

```

```

// MQ-7 (CO)
gases["co_raw"] = mq7Value;
gases["co_voltage"] = mq7Voltage;
gases["co_ppm"] = co_ppm;
gases["co_status"] = (co_ppm > 0 && co_ppm < 1000) ? "ok" :
"check_calibration";

// MQ-131 (O3)
gases["o3_raw"] = mq131Value;
gases["o3_voltage"] = mq131Voltage;
gases["o3_ppm"] = o3_ppm;
gases["o3_status"] = (o3_ppm > 0 && o3_ppm < 500) ? "ok" :
"check_calibration";

// MQ-5 (Gas LP/Natural)
gases["lpg_raw"] = mq5Value;
gases["lpg_voltage"] = mq5Voltage;
gases["lpg_ppm"] = lpg_ppm;
gases["lpg_status"] = (lpg_ppm > 0 && lpg_ppm < 10000) ? "ok" :
"check_calibration";

// Material particulado PM2.5
JsonObject particulates = doc.createNestedObject("particulates");
if (pmDataReady) {
    particulates["pm25_mgm3"] = lastPM25;
    particulates["status"] = "ok";

    // Clasificación de calidad del aire según PM2.5 (mg/m³ a µg/m³)
    float pm25_ugm3 = lastPM25 * 1000; // Convertir mg/m³ a µg/m³
    String pm25_quality = "unknown";
    if (pm25_ugm3 <= 12) pm25_quality = "good";
    else if (pm25_ugm3 <= 35) pm25_quality = "moderate";
    else if (pm25_ugm3 <= 55) pm25_quality = "unhealthy_sensitive";
    else if (pm25_ugm3 <= 150) pm25_quality = "unhealthy";
    else pm25_quality = "very_unhealthy";

    particulates["pm25_quality"] = pm25_quality;
} else {
    particulates["pm25_mgm3"] = -1;
    particulates["status"] = "sampling";
    particulates["message"] = "Measuring... wait 30 seconds";
}

// Enviar a Firebase
String json_string;
serializeJson(doc, json_string);
sendToFirebase(json_string);

// === MOSTRAR RESULTADOS EN SERIAL ===

```

```

Serial.println("=====");
Serial.printf("🕒 %s %s\n", currentDate.c_str(), currentTime.c_str());
Serial.printf("📍 %.6f, %.6f\n", config.latitude, config.longitude);
Serial.println("=== CONDICIONES AMBIENTALES ===");
Serial.print("🌡 Temperatura: "); Serial.print(temperature, 1);
Serial.println(" °C");
Serial.print("💧 Humedad: "); Serial.print(humidity, 1);
Serial.println(" %");
Serial.print("📊 Presión: "); Serial.print(pressure, 1);
Serial.println(" hPa");
Serial.print("🏔 Altitud: "); Serial.print(altitude, 1);
Serial.println(" m");

Serial.println();
Serial.println("=== MATERIAL PARTICULADO ===");
if (pmDataReady) {
    Serial.print("🌫 PM2.5: "); Serial.print(lastPM25, 3); Serial.print("mg/m³ ");
    Serial.print(lastPM25 * 1000, 1); Serial.println(" µg/m³");
} else {
    Serial.println("⌚ Calculando... (espere 30 segundos)");
}

Serial.println();
Serial.println("=== GASES Y CALIDAD DEL AIRE ===");

Serial.println("--- MQ-7 (Monóxido de Carbono) ---");
Serial.print("Valor ADC: "); Serial.print(mq7Value); Serial.print(" | ");
Serial.print("Voltaje: "); Serial.print(mq7Voltage, 2); Serial.print("V | ");
Serial.print("Rs: "); Serial.print(Rs_MQ7, 1); Serial.print("kΩ | ");
Serial.print("CO: "); Serial.print(co_ppm, 1); Serial.println(" PPM");

Serial.println("--- MQ-131 (Ozono) ---");
Serial.print("Valor ADC: "); Serial.print(mq131Value); Serial.print(" | ");
Serial.print("Voltaje: "); Serial.print(mq131Voltage, 2);
Serial.print("V | ");
Serial.print("Rs: "); Serial.print(Rs_MQ131, 1); Serial.print("kΩ | ");
Serial.print("O3: "); Serial.print(o3_ppm, 1); Serial.println(" PPM");

Serial.println("--- MQ-5 (Gas LP/Natural) ---");
Serial.print("Valor ADC: "); Serial.print(mq5Value); Serial.print(" | ");
Serial.print("Voltaje: "); Serial.print(mq5Voltage, 2); Serial.print("V | ");
Serial.print("Rs: "); Serial.print(Rs_MQ5, 1); Serial.print("kΩ | ");
Serial.print("LPG: "); Serial.print(lpg_ppm, 1); Serial.println(" PPM");

```

```

        Serial.printf("\n WiFi: %s", wifi_connected ? "✓ Conectado" : "X
Desconectado");
        if (wifi_connected) {
            Serial.printf(" (RSSI: %d dBm)", WiFi.RSSI());
        }
        Serial.println();
        Serial.println("=====");
    }

    delay(100); // Pequeño retraso para estabilizar las lecturas
}

// Función para calcular concentración de partículas
float calculateConcentration(long lowpulseInMicroSeconds, long
durationinSeconds) {
    // Calcular el ratio de pulsos de baja señal
    float ratio = (lowpulseInMicroSeconds / 1000000.0) / 30.0 * 100.0;

    // Fórmula para calcular la concentración en mg/m³ usando el ratio
    float concentration = 0.001915 * pow(ratio, 2) + 0.09522 * ratio -
0.04884;

    return concentration > 0 ? concentration : 0; // Asegurar valores no
negativos
}

// Función para calcular la resistencia del sensor
float calculateResistance(float voltage, float RL) {
    if (voltage == 0) return -1;

    float Rs = ((3.3 * RL) / voltage) - RL;
    return Rs;
}

// Función para calcular PPM usando la ecuación: PPM = a * (Rs/R0)^b
float calculatePPM(float ratio, float a, float b) {
    if (ratio <= 0) return -1;

    float ppm = a * pow(ratio, b);
    return ppm;
}

// Función para compensar temperatura y humedad
float getTempHumidityCompensation(float temp, float humidity) {
    float tempFactor = 1.0 + ((temp - 20.0) * 0.02);
    float humidityFactor = 1.0 + ((humidity - 65.0) * 0.005);

    return tempFactor * humidityFactor;
}

```

```

}

// Función para calibrar R0 (ejecutar en aire limpio)
void calibrateR0() {
    Serial.println("=== CALIBRACIÓN R0 ===");
    Serial.println("Asegúrate de estar en aire limpio");
    Serial.println("Calibrando en 10 segundos...");
    delay(10000);

    float sum_MQ7 = 0, sum_MQ131 = 0, sum_MQ5 = 0;

    Serial.println("Realizando 50 mediciones...");
    for (int i = 0; i < 50; i++) {
        int mq7Value = analogRead(mq7Pin);
        int mq131Value = analogRead(mq131Pin);
        int mq5Value = analogRead(mq5Pin);

        float mq7Voltage = mq7Value * (3.3 / 4095.0);
        float mq131Voltage = mq131Value * (3.3 / 4095.0);
        float mq5Voltage = mq5Value * (3.3 / 4095.0);

        sum_MQ7 += calculateResistance(mq7Voltage, RL_MQ7);
        sum_MQ131 += calculateResistance(mq131Voltage, RL_MQ131);
        sum_MQ5 += calculateResistance(mq5Voltage, RL_MQ5);

        if (i % 10 == 0) Serial.print(".");
        delay(200);
    }
    Serial.println();

    float new_R0_MQ7 = sum_MQ7 / 50.0;
    float new_R0_MQ131 = sum_MQ131 / 50.0;
    float new_R0_MQ5 = sum_MQ5 / 50.0;

    Serial.println("☑ Calibración completada");
    Serial.println("Valores R0 calibrados:");
    Serial.print("R0_MQ7 = "); Serial.print(new_R0_MQ7, 2); Serial.println("
kΩ");
    Serial.print("R0_MQ131 = "); Serial.print(new_R0_MQ131, 2);
    Serial.println(" kΩ");
    Serial.print("R0_MQ5 = "); Serial.print(new_R0_MQ5, 2); Serial.println("
kΩ");
    Serial.println("⚠ IMPORTANTE: Actualiza estos valores en el código");
}

```