



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

Trabajo de Integración Curricular
previa la obtención del Grado
Académico de Ingeniera en
Telemática.

Título del Proyecto Tecnológico:

**MONITOREO AMBIENTAL EN TIEMPO REAL PARA AMBIENTES
RESIDENCIALES BASADOS EN INTERNET DE LAS COSAS**

Autor:

Brittany Thayli Cobeña Zambrano

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Emilio Rodrigo Zhuma Mera, M. Sc



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Brittany Thayli Cobeña Zambrano**, 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.

Brittany Thayli Cobeña Zambrano

C.I: 0928080381



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO TECNOLÓGICO

El suscrito, **Ing. Emilio Rodrigo Zhuma Mera, M Sc**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Brittany Thayli Cobeña Zambrano**, realizó el Proyecto Tecnológico de grado titulado “**MONITOREO AMBIENTAL EN TIEMPO REAL PARA AMBIENTES RESIDENCIALES BASADOS EN INTERNET DE LAS COSAS**”, previo a la obtención del título de Ingeniera en Telemática, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

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



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

El suscrito, **Ing. Emilio Rodrigo Zhuma Mera, M Sc**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe de proyecto de Investigación titulado “**MONITOREO AMBIENTAL EN TIEMPO REAL PARA AMBIENTES RESIDENCIALES BASADOS EN INTERNET DE LAS COSAS**” Presentado por el estudiante, **Brittany Thayli Cobeña Zambrano**, egresado de la Carrera de 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 94% y similitud 6%, 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 COBENA ZAMBRANO BRITTANY
_COMP

6%
Textos
sospechosos

1% Similitudes
0 % similitudes entre
comillas
0 % entre las fuentes
mencionadas
5% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS COBENA ZAMBRANO BRITTANY
_COMP.pdf
ID del documento: b200bbd5493a37abbadb7c03ba9799045d137074
Tamaño del documento original: 2,46 MB

Depositante: EMILIO RODRIGO ZHUMA MERA
Fecha de depósito: 18/11/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 18/11/2025

Número de palabras: 9391
Número de caracteres: 65.569

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



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

PROYECTO TECNOLÓGICO

TÍTULO:
“MONITOREO AMBIENTAL EN TIEMPO REAL PARA AMBIENTES
RESIDENCIALES BASADOS EN INTERNET DE LAS COSAS”

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

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Eduardo Amable Samaniego Mena, M Sc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Janeth Mora Secaira, M Sc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Saa Saltos Jorge, M Sc

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la paciencia y fortaleza que me brindó en este trayecto.

A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su amor, apoyo sin fin, confianza y ejemplo. A mi hermano, por acompañarme en este camino y ser fuente de alegría y confianza.

A mi querido novio, por que su paciencia fue más grande que la mía en este camino, por creer en mí y apoyarme.

A mi estimado Ing. Emilio, director de proyecto por su paciencia y conocimientos impartidos en este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, por el amor, sacrificio, confianza y ejemplo me enseñaron a nunca rendirme.

Gracias por ser mi guía, mi fortaleza y refugio.

A mi querido hermano mayor, por los sacrificios y el apoyo que me brindó desde mis primeros días de pre-escolar, hasta ahora mi adultez.

A Jair David, por estar presente en cada paso siendo inspiración y esperanza, quien me motivo tantas veces con su ternura y confianza, gracias, amor.

Y a mí, por nunca rendirme.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación aborda el diseño e implementación de un sistema de monitoreo ambiental en tiempo real para ambientes residenciales, basado en la tecnología del Internet de las cosas (IoT). La finalidad central es recopilar, procesar y visualizar parámetros de calidad del aire mediante una red de sensores ubicado estratégicamente dentro de las viviendas. Estos sensores permiten medir contaminantes y variables ambientales relevantes, garantizando datos precisos y actualizados.

La información recolectada se transmite a una aplicación digital desarrollada para presentar de manera clara los niveles de contaminación presentes en cada ambiente. La plataforma ofrece a los usuarios la posibilidad de conocer en tiempo real la calidad del aire en sus hogares, lo cual contribuye a la prevención de riesgos asociados a la salud y a la toma de decisiones orientadas al mejoramiento del entorno residencial.

El sistema combina la integración de sensores de bajo costo, módulos de comunicación inalámbrica y una interfaz de usuario accesible, constituyendo una solución innovadora y adaptable a diferentes contextos habitacionales. Además, su carácter escalable permite su aplicación en diversas áreas urbanas y residenciales, fortaleciendo la gestión ambiental a nivel doméstico.

Este proyecto propone una alternativa tecnológica eficiente y sostenible para el monitoreo ambiental en viviendas, aprovechando las capacidades del IoT para generar conciencia en la población sobre la importancia de mantener espacios saludables y ambientalmente seguros.

Palabras clave: Monitoreo ambiental, Internet de las cosas, sensores, ESP8266, contaminantes ambientales, ambiente residencial.

ABSTRACT

This Project focuses on the design and implementation of a real-time environmental monitoring system for residential environments, based on Internet of Things (IoT) technology. The main objective is to collect, process, and visualize air quality parameters through a network of sensors strategically distributed within households. These sensors allow the measurement of pollutants and relevant environmental variables, ensuring accurate and updated data.

The collected information is transmitted to a digital application developed to clearly display the levels of pollution present in each environment. The platform provides users with real-time insights into indoor air quality, contributing to the prevention of health risks and supporting decision-making aimed at improving residential conditions.

The system integrates low-cost sensors, wireless communication modules, and a user-friendly interface, offering an innovative and adaptable solution for different housing contexts. Furthermore, its scalable design enables implementation in various urban and residential areas, strengthening environmental management at the domestic level.

The project proposes an efficient and sustainable technological alternative for environmental monitoring in households, leveraging IoT capabilities to raise awareness among residents about the importance of maintaining healthy and environmentally safe indoor spaces.

Keywords: Environmental monitoring, Internet of Things, sensors, ESP8266, environmental pollutants, residential environment.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1 Problema de investigación.....	4
1.1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.1.2 Formulación del problema.....	5
1.1.3 Sistematización del problema	5
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo General	6
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 Justificación	7
CAPITULO II.....	8
FUNDAMENTACION TEÓRICA	8
2.1 Marco Conceptual	9
2.1.1 Calidad del aire en interiores.....	9
2.1.2 Contaminantes interiores	9
2.1.3 Internet de las cosas	13
Casos de aplicación.....	14
2.1.4 Componentes y sensores ambientales.....	14
2.1.5 Protocolos de comunicación.....	17
Visualización y análisis	19
2.2 Marco Referencial.....	20
2.2.1 Monitoreo de calidad ambiental interior en edificios, comfort ocupacional, salud	

	residencial/comercial. China (2024)	20
2.2.2	Implementation of an IoT architecture for promoting healthy air quality in 84 homes of families with children. Portugal, (2024)	20
2.2.3	Particulate matter in a lockdown home: evaluation, calibration, results	21
2.2.4	Infraestructura IoT para monitoreo de ambientes interiores residenciales, escalabilidad, costo, datos en tiempo real	21
2.2.5	Monitoreo continuo de confort interior residencial, uso de LoRaWAN	21
2.2.6	An intelligent Edge-Deployable Indoor Air Quality Monitoring.....	22
2.2.7	Prototipo de sistema IoT para monitorear ambiente interior residencial.....	22
2.2.8	Sistema IoT para monitoreo de calidad de aire interior en hogares	22
2.3	Marco Legal	24
CAPITULO III.		25
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN		25
3.1	Localización.....	26
3.2	Tipo de investigación	26
3.2.1	Investigación aplicada	26
3.2.2	Investigación descriptiva.....	27
3.3	Métodos de Investigación.....	27
3.3.1	Método Analítico.....	27
3.3.2	Método Comparativo.....	27
3.3.3	Diseño descriptivo-correlacional.....	28
3.4	Fuentes de Recopilación de Información	28
3.4.1	- Fuentes Primarias	28

3.4.2	Fuentes Secundarias	28
3.5	Diseño de investigación.....	28
3.5.1	Diseño Cuasiexperimental	28
3.5.2	Fase 1: Revisión bibliográfica	28
3.5.3	Fase 2: Desarrollo del escenario	29
3.5.4	Fase 3: Integración de hardware	29
3.5.5	Fase 4: Transmisión de datos.....	29
3.5.6	Fase 5: Visualización y almacenamiento	30
3.5.7	Fase 6: Implementación del sistema	30
CAPITULO IV.		31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		31
4.1	Determinación de los parámetros ambientales residenciales.....	32
4.1.1	Tabla de contaminantes residenciales	32
4.1.2	Condiciones ambientales recomendadas.....	35
4.2	Implementación de un dispositivo para la medición de los parámetros ambientales...35	
4.2.1	Arquitectura del sistema por capas	36
	Capa de sensores y actuadores.....	36
4.2.2	Capa de procesamiento y comunicación	37
4.2.3	Capa de plataforma y visualización	37
4.2.4	Ensamblaje de componentes.....	37
4.2.5	Configuración práctica	38
4.3	Diseño del dashboard.....	39
4.3.1	Datos recolectados	39
4.3.2	Variaciones de la calidad del aire	40
4.3.3	Variaciones de concentración de gas metano	41

4.3.4	Variaciones de monóxido de carbono	42
4.3.5	Variaciones de la concentración de alcohol	42
4.3.6	Variaciones de la concentración de gas doméstico	43
4.3.7	Variaciones de temperatura	43
4.3.8	Variaciones de humedad	44
4.3.9	Análisis	45
4.4	Discusión	46
4.4.1	Prototipo de sistema IoT para monitorear el ambiente interior residencial	46
4.4.2	Monitoreo continuo de confort interior residencial	46
4.4.3	Estudio sobre partículas en el hogar en el confinamiento en Reino Unido	47
CAPITULO V.		48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN.....		48
5.1	Conclusiones	49
5.2	Recomendaciones	50
CAPITULO VI		51
BIBLIOGRAFÍA		51
CAPITULO VII.....		55
ANEXOS		55
7.1	Recolección de métricaas	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Componentes y sensores ambientales.....	15
Tabla 2	Protocolos de comunicación.....	17
Tabla 3	Tabla de contaminantes ambientales residenciales.....	32

Tabla 4	Parámetros ambientales.....	35
Tabla 5	Función de componentes.....	37
Tabla 6	Recopilación de datos	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Compuestos orgánicos volátiles	10
Figura 2	Monóxido de carbono	11
Figura 3	Dióxido de carbono	12
Figura 4	Humedad	12
Figura 5	Temperatura.....	13
Figura 6	Representación de IoT	14
Figura 7	Ubicación del domicilio.....	26
Figura 8	Arquitectura del sistema.....	36
Figura 9	Ensamblaje de componentes	38
Figura 10	Placa PCB.....	39
Figura 11	Calidad del aire	41
Figura 12	Gas metano	41
Figura 13	Monóxido de carbono.....	42
Figura 14	Concentración de alcohol.....	42
Figura 15	Gas combustible	43
Figura 16	Temperatura.....	43
Figura 17	Humedad	44
Figura 18	Niveles de la calidad del aire.....	56
Figura 19	Niveles del gas metano	56
Figura 20	Niveles de monóxido de carbono	57
Figura 21	Niveles de alcohol.....	57

Figura 22	Niveles de gas doméstico	58
Figura 23	Niveles de temperatura.....	58
Figura 24	Niveles de humedad.....	59
Figura 25	Datos en tiempo real	59
Figura 26	Datos en tiempo real	60
Figura 27	Datos en tiempo real	60
Figura 28	Datos en tiempo real	61
Figura 29	Datos en tiempo real	61

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Monitoreo ambiental en tiempo real para ambientes residenciales basados en internet de las cosas.
Autor:	Brittany Thayli Cobeña Zambrano
Palabras claves:	Monitoreo ambiental, Internet de las cosas, sensores, ESP8266, contaminantes ambientales, ambiente residencial
Fecha de publicación:	Noviembre del 2025
Editorial:	Quevedo- UTEQ, 2025
Resumen: (hasta 300 palabras)	El presente proyecto de investigación aborda el diseño e implementación de un sistema de monitoreo ambiental en tiempo real para ambientes residenciales, basado en la tecnología del Internet de las cosas (IoT). La finalidad central es recopilar, procesar y visualizar parámetros de calidad del aire mediante una red de sensores ubicado estratégicamente dentro de las viviendas. Estos sensores permiten medir contaminantes y variables ambientales relevantes, garantizando datos precisos y actualizados. La información recolectada se transmite a una aplicación digital desarrollada para presentar de manera clara los niveles de contaminación presentes en cada ambiente. Además, su carácter escalable permite su aplicación en diversas áreas urbanas y residenciales, fortaleciendo la gestión ambiental a nivel doméstico. Este proyecto propone una alternativa tecnológica eficiente y sostenible para el monitoreo ambiental en viviendas, aprovechando las capacidades del IoT para generar conciencia en la población sobre la importancia de mantener espacios saludables y ambientalmente seguros.
Abstract: (hasta 300 palabras)	This Project focuses on the design and implementation of a real-time environmental monitoring system for residential environments, based on Internet of Things (IoT) technology. The main objective is to collect, process, and visualize air quality parameters through a network of sensors strategically distributed within households. These sensors allow the measurement of pollutants and relevant environmental variables, ensuring accurate and updated data. The collected information is transmitted to a digital application developed to clearly display the levels of pollution present in each environment. The project proposes an efficient and sustainable technological alternative for environmental monitoring in households, leveraging IoT capabilities to raise awareness among residents about the importance of maintaining healthy and environmentally safe indoor spaces.
Descripción:	83 hojas : dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162
URI:	

INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, el Internet de las Cosas (IoT) está transformando profundamente la manera en que interactuamos con nuestro entorno, especialmente dentro de nuestros hogares donde muchas veces implementamos dispositivos de ayuda en las tareas domésticas. El monitoreo ambiental en tiempo real mediante tecnologías IoT representa un avance significativo en la gestión y comprensión de los ambientes residenciales. Este estudio se adentra en la implementación de sistemas inteligentes de monitoreo ambiental, los cuales emplean una red de dispositivos sensoriales para recopilar datos sobre diversos parámetros ambientales, como calidad del aire, temperatura, humedad, presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV) entre otros contaminantes existentes. [1].

Este estudio explora la implementación de sistemas integrales de monitoreo ambiental IoT, basados en redes de sensores distribuidos que recopilan datos sobre indicadores clave como la calidad del aire, niveles de dióxido de carbono CO₂, compuestos orgánicos volátiles (COVS), material particulado, monóxido de carbono (CO), así como temperatura, humedad y otros contaminantes relevantes. La arquitectura técnica típica de estos sistemas incluye tres capas fundamentales, como la capa de percepción, capa de red y capa de presentación, como se presenta en plataformas como Smart-Air, donde sensores ambientales comunican datos a través de módulos LTE a servidores web en la nube para su análisis, visualización y notificación. [2].

En Latinoamérica, se han desarrollado prototipos de bajo costo, como un sistema IoT para monitoreo de calidad del aire en El Salvador, utilizando ESP32 y sensores de partículas con visualización remota vía web. [3]. En Ecuador se diseñaron dispositivos portátiles IoT basados en Message Queuing Telemetry Transport MQTT y edge/cloud computing para medición de calidad del aire urbano. [4].

En Ecuador, la contaminación del aire se ha consolidado como uno de los principales conflictos ambientales, especialmente en las zonas urbanas, donde factores como el crecimiento acelerado de la población, el incremento del parque automotor y la expansión industrial han intensificado esta problemática. Esta situación no solo compromete la calidad ambiental, sino que también genera impactos significativos en la salud de la población y en los ecosistemas, en este marco, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador ha formulado el Plan

Nacional de Calidad del Aire, un instrumento con enfoque integrador que busca establecer condiciones ambientales más saludables y sostenibles para el bienestar de la población ecuatoriana. [5].

El presente proyecto está estructurado por capítulos donde en el primero se dará una breve contextualización de la investigación abordando el problema, los objetivos del proyecto y su justificación. El segundo capítulo abarca la fundamentación teórica necesaria para la comprensión de términos utilizados a lo largo de la investigación. Siguiendo con el tercer capítulo en el que se describe la metodología usada, componiendo del tipo de investigación, métodos, diseño, herramientas y recursos utilizados. Durante el cuarto capítulo se mostrarán los resultados obtenidos analizando las métricas a estudiar. Y finalizando con las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1 *Planteamiento del problema*

En la actualidad la contaminación del aire se considera un tema de gran importancia puesto que, es de principal riesgo para la salud ya que la Organización Mundial de la Salud OMS, ha detectado aproximadamente 7 millones de personas enfrentando consecuencias negativas para la salud causada por la mala calidad de aire en el interior de las viviendas. Las actividades domésticas, como hervir agua e incluso cocinar lleva en aumento esta exposición a la contaminación atmosférica en interiores. Estos contaminantes de preocupación para la salud incluyen partículas finas, monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, considerando los efectos en la salud y el ambiente, la problemática de contaminación del aire ha cobrado reconocimiento a nivel mundial. [6].

La falta de monitoreo de la calidad del aire en el interior de los hogares es un campo de investigación no estudiado a profundidad, ya que la tecnología empleada para su estudio y monitoreo es cara y poco variada. Dentro de este plan se desarrollará una red de sensores inalámbricos para el monitoreo y recopilación de los niveles de contaminación en el interior de las viviendas.

Diagnostico.

En la última década, la calidad del aire en espacios interiores ha cobrado una creciente relevancia en el ámbito de la salud pública y el medio ambiente, La contaminación del aire dentro de las viviendas ha sido históricamente subestimada, a pesar de que las personas pasan entre un 60% y 90% de su tiempo en interiores, según la Organización Mundial de la Salud OMS, la exposición a contaminantes en el hogar causa la muerte de aproximadamente siete millones de personas al año, siendo una de las principales amenazas invisibles para la salud humana.[7].

Las actividades domesticas como el cocinar, hervir agua o el uso de combustible solidos generan contaminantes nocivos, los cuales pueden acumularse fácilmente y alcanzar niveles que representan un grave riesgo para la salud, especialmente para niños, adultos mayores y personas con condiciones preexistentes. [8].

Pronostico

Se espera que, durante los próximos cinco años, el monitoreo ambiental en tiempo real para interiores experimente una expansión significativa, tanto en su desarrollo tecnológico como en su adopción por parte de los hogares. [9]. El avance de tecnologías como la Inteligencia Artificial IA, el análisis de datos en la nube y el Edge computing permitirá que los sistemas de monitoreo sean más precisos, autónomos y personalizados. Se prevé que los hogares inteligentes incluyan sensores ambientales como parte de su configuración estándar, lo que transformara la manera en que las personas interactúan con su entorno interior y gestionan su salud. A medida que más personas reconozcan la importancia de la calidad del aire en sus hogares, los sistemas basados en IoT se consolidarán como herramientas esenciales para mejorar la calidad de vida dentro del entorno doméstico. [10].

1.1.2 *Formulación del problema*

¿Qué estrategias podrían implementarse para crear un sistema de monitoreo ambiental en tiempo real, basado en Internet de las cosas, que sea eficiente y fácil de usar para residentes, con el objetivo de impulsar una mejor calidad de vida y promover la sostenibilidad ambiental?

1.1.3 *Sistematización del problema*

- ¿Cuáles son los parámetros ambientales óptimos que deben ser monitoreados en entornos residenciales?
- ¿Cómo se puede implementar una red de sensores inalámbricos que permita la medición en tiempo real de la calidad del aire y el procesamiento eficiente de los datos obtenidos?
- ¿Qué características debe tener un Dashboard para monitorear de manera efectiva la calidad del aire en entornos residenciales?

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo General*

- Implementar un sistema de telemetría para el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire en ambientes residenciales basados en Internet de las cosas.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar los parámetros óptimos de los niveles ambientales residenciales.
- Implementar un dispositivo para la medición en tiempo real de los parámetros de calidad de aire y procesamiento de datos en un sistema de telemetría.
- Diseñar un Dashboard que permita la visualización en tiempo real de los parámetros de la calidad del aire en interiores residenciales.

1.1 Justificación

La Organización Mundial de la Salud nos dice que la calidad del aire en interiores puede tener un impacto significativo en la salud y el bienestar de los residentes, ya que, la exposición a contaminantes atmosféricos en interiores, como partículas finas, compuestos orgánicos volátiles (COVs) y gases nocivos, puede causar una variedad de problemas de salud, como alergias, asma, irritación de las vías respiratorias, dolores de cabeza e incluso enfermedades cardiovasculares o cáncer a largo plazo. [11]. Los contaminantes del aire en interiores pueden ser invisibles y no detectables por los residentes a simple vista o por el olfato. [12].

Los avances tecnológicos han generado un impacto social y ambiental en la actualidad, esto in duda ha ayudado a la resolución de problemas en diferentes campos, incluido el impacto de la contaminación ambiental en interiores. Esta capacidad de monitoreo en tiempo real no solo ofrece información detallada sobre el entorno doméstico, sino que también proporciona oportunidades para tomar medidas preventivas ante posibles riesgos ambientales, como la detección temprana de contaminantes o la optimización del consumo energético. [13]. La inversión en herramientas tecnológicas amigables con el medio ambiente es crucial para combatir con los altos niveles contaminantes generados en el interior de nuestros hogares.

Una red de sensores puede ayudar a monitorear estos contaminantes y proporcionar datos en tiempo real para tomar medidas correctivas cuando sea necesario. Una red de sensores puede detectar la presencia de estos contaminantes de manera temprana y proporcionar alertas automáticas en caso de niveles anormales, lo que permite a los residentes tomar medidas preventivas antes de que se conviertan en problemas de salud más graves. Por lo tanto, la adopción de sistemas IoT para el monitoreo ambiental no solo es pertinente desde una perspectiva tecnológica, sino que también representa un paso crucial hacia comunidades residenciales más saludables y sostenibles a largo plazo. [14].

CAPITULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 *Calidad del aire en interiores*

Normalmente, se mide la calidad del aire en lugares al aire libre, como en zonas con mucho tráfico o cerca de fábricas. Sin embargo, en los hogares, que son espacios cerrados donde la concentración de contaminantes puede ser incluso más alta que en el exterior, estas mediciones no se suelen realizar. La calidad del aire en el interior de los hogares puede ser sorprendentemente mala, y una de las principales razones es la ventilación inadecuada. Sin una circulación adecuada del aire, los contaminantes que se generan dentro de nuestras casas, como el humo de cigarrillo, los productos de limpieza y los gases de las estufas, pueden acumularse a niveles perjudiciales.

Además, las altas temperaturas y la humedad elevadas, comunes en muchos hogares, pueden agravar este problema, favoreciendo el crecimiento de moho y ácaros, que también son contaminantes del aire. Según estudios, estos factores combinados pueden incrementar significativamente la concentración de contaminantes, afectando nuestra salud y bienestar. [15].

2.1.2 *Contaminantes en interiores*

La contaminación del aire se refiere a la presencia de sustancias nocivas en el aire de espacios cerrados, como viviendas, oficinas o escuelas.

Existen diversos tipos de contaminantes que causan efectos nocivos a la salud, estos se pueden producir ya sea de fuentes naturales o artificiales. A continuación, se enlistan los contaminantes más comunes que podemos encontrar en espacios interiores. [16].

Compuestos orgánicos volátiles

Uno de los contaminantes que se pueden encontrar en interiores son los compuestos orgánicos volátiles (COV), estos son todos aquellos hidrocarburos que a temperatura ambiente son gaseosos o son muy volátiles. Dentro de los edificios, hay diversas fuentes de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), que se encuentran en una amplia gama de productos. Estos incluyen muebles de oficina, alfombras, revestimientos de vinilo para paredes, pinturas, adhesivos, productos de limpieza, repelentes de insectos, pegamentos, fotocopadoras, impresoras, selladores de silicona, insecticidas, herbicidas, productos de combustión, asfalto, vapores de gasolina, humo de tabaco, limpiadores multiusos y cosméticos, entre otros artículos 7 personales.

[17].

Figura 1. Compuestos orgánicos volátiles



Fuente: Depositphotos.

Elaborado por: Depositphotos

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, mediante estudios que ha realizado la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) se ha determinado que este gas se encuentra dentro de los agentes de mayor contaminación de la atmósfera terrestre. El principal origen de contaminación atmosférica proviene de varias fuentes, siendo los vehículos que usan gasolina o diésel los más significativos. Además, los procesos industriales, los incendios forestales y urbanos, así como la quema de residuos orgánicos, contribuyen de manera importante a la emisión de contaminantes. Estos factores combinados tienen un impacto considerable en la calidad del aire que respiramos. [18].

Figura 2. Monóxido de carbono



Fuente: Tiempo argentino

Elaborado por: Guillermo Lavecchia.

Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es ampliamente reconocido como el principal gas responsable del efecto invernadero, y su mayor fuente proviene de las actividades humanas. Según un estudio realizado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) en 2017, el CO₂ constituyó alrededor del 81.6% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en el país, las cuales son atribuibles a las actividades humanas. El impacto del dióxido de carbono (CO₂) en la salud depende tanto de la concentración a la que se está expuesto como del tiempo de exposición. Cuando los niveles de CO₂ en el aire alcanzan entre 800 y 1000 partes por millón (ppm), las personas pueden experimentar una variedad de síntomas incómodos. Estos incluyen dolor de cabeza, ansiedad, fatiga, apatía y somnolencia, que son consecuencia de una disminución en la calidad del aire y una falta de oxígeno. A medida que la concentración de CO₂ aumenta, estos efectos pueden intensificarse, afectando negativamente el bienestar general y el rendimiento cognitivo. [19].

Figura 3. Dióxido de carbono



Fuente: TEKA

Elaborado por: Teka

Humedad

La humedad es un problema que afecta entre el 10% y el 50% de las viviendas. Su presencia puede estar vinculada a problemas respiratorios, infecciones pulmonares, bronquitis y congestión nasal. La exposición a ambientes con alta humedad puede tener variados efectos sobre la salud, y la respuesta depende de la sensibilidad individual. Para algunas personas, especialmente aquellas con asma o alergias, la humedad puede causar síntomas como congestión nasal, sibilancias, e irritación o picazón en los ojos y la piel. En casos más severos, estas personas pueden experimentar reacciones más intensas debido a su mayor sensibilidad a las condiciones húmedas. [20].

Figura 4. Humedad



Fuente: Sanysec

Elaborado por: Sanysec

Temperatura

La temperatura se puede definir como un parámetro físico que caracteriza el calor, o transferencia de energía térmica, entre ese sistema y otros. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de temperatura es el kelvin. Sin embargo, está muy generalizado el uso de otras escalas de temperatura, concretamente la escala Celsius (o centígrada), y, en los países anglosajones, la escala Fahrenheit. Según la EPA, el cambio climático puede tener un impacto negativo en los espacios interiores, agravando los problemas existentes relacionados con la calidad del aire y creando nuevos desafíos. Por ejemplo, el aire contaminado del exterior que entra en los espacios cerrados puede deteriorar aún más la calidad del aire interior. [21].

Figura 5. Temperatura



Fuente: Computer

Elaborado por: Raúl Barron

2.1.3 *Internet de las cosas*

El Internet de las Cosas (IoT), se ha consolidado como una solución tecnológica de gran impacto para la automatización de procesos en distintos ámbitos, entre ellos, el monitoreo ambiental en espacios residenciales. Mediante la implementación de sensores conectados a microcontroladores y redes de comunicación, el IoT permite la recopilación, análisis y visualización en tiempo real de variables ambientales críticas para la salud humana y el confort en interiores. [22]. En el marco del presente proyecto, se contempla la medición de contaminantes como la temperatura, humedad relativa, presión barométrica, dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y material particulado (PM2.5 y PM10). Por esta razón, se utilizarán sensores especializados como el BME680, que permite medir temperatura, humedad, presión y COVs; el MQ-2, sensible a gases inflamables y

humo; el MH-Z19C, diseñado específicamente para la detección precisa de CO₂; y el PMS5003, un sensor óptico capaz de detectar partículas en suspensión (PM1.0, PM2.5 y PM10) con alta resolución. [23].

Estos sensores serán integrados a microcontroladores como el ESP32, el cual ofrece conectividad Wi-Fi y capacidad de procesamiento eficiente, facilitando el envío de datos a la plataforma para su visualización y análisis.

Figura 6. Representación de IoT.



Fuente: Silicon (Technology Powering Business)

Elaborado por: Antonio Rentero [6]

Casos de aplicación

Existen múltiples proyectos e implementaciones reales de monitoreo ambiental en hogares inteligentes. Muchos de ellos utilizan plataformas de bajo costo como Arduino o ESP32, integradas con sensores específicos y plataformas en la nube, demostrando la viabilidad técnica y económica del sistema [24].

2.1.4 Componentes y sensores ambientales

Para el desarrollo del dispositivo de monitoreo de la calidad del aire en residencias utilizamos diversos componentes electrónicos esenciales los cuales nos permitieron obtener mediciones en tiempo real. Este sistema está basado en un microcontrolador como el ESP8266, el cual nos ofrece la conectividad WiFi para el envío de datos a la nube. Para detectar contaminantes

incorporamos sensores como el MQ-7, MG-811, MQ-135, MQ-3, MQ-214, DHT-11, a continuación, detallaremos sus funciones:

Tabla 1: Componentes y sensores ambientales.

<i>Componente</i>	<i>Definición</i>	<i>Especificaciones</i>
 ESP8266	Microcontrolador con conectividad WiFi integrada, ideal para aplicaciones simples de monitoreo y control.	Procesador: Hasta 80/160 MHz. Memoria: 160 KB RAM. Conectividad: WiFi 802.11 b/g/n. Consumo: Modo deep-sleep < 20 μ A.
 Arduino NANO	Es una placa de desarrollo, diseñada para proyectos electrónicos compactos y de bajo consumo.	Microcontrolador: ATmega328p. Frecuencia: 16 MHz. ADC: 8 canales de 10 bits. Comunicación: UART, SPI, I2C. Alimentación: 5V.
 MQ-7	Sensor de gas, diseñado para detectar monóxido de carbono (CO) en el aire.	Rango de detección: 20-2000 ppm. Voltaje de operación: 5V. Tiempo de respuesta: < 60 segundos.
 MG-811	Es un sensor de gas especializado en la detección de dióxido de carbono (CO ₂).	Rango de detección: 350-10,000 ppm. Voltaje de operación: 6V. Tiempo de respuesta: < 120 segundos aprox..
 MQ-135	Sensor de gas, sensible a varios gases como amoníaco (NH ₃), óxidos de nitrógeno (NO _x), alcohol, benceno y humo.	Rango de detección: 10-1000 ppm (varía según el gas). Voltaje de operación: 5V. Tiempo de respuesta: < 30 segundos aprox.



MQ-3

Sensor de gas, diseñado principalmente para la detección de etanol en el aire.

Rango de detección: 0.04-4 mg/L (aprox. 20-500 ppm).

Voltaje de operación: 5V.

Tiempo de respuesta: < 20 segundos aprox.



MQ-214

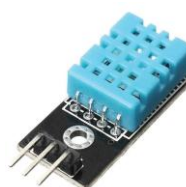
Es un sensor de gas semiconductor especializado en la detección de gas metano (CH₄) e hidrocarburos.

Gas principal: Gases combustibles.

Rango de detección: 300-10,000 ppm.

Voltaje de operación: 5V.

Tiempo de respuesta: <60 segundos aprox.



DHT-11

Es un sensor digital que mide temperatura y humedad relativa.

Rango de temperatura: 0 a 50 °C (±2 °C).

Rango de humedad: 20-90 % HR (±5 %).

Voltaje de operación: 3.5-5.5V.

Frecuencia de muestreo: 1 muestra por segundo (1 Hz).

LCD I2C 16x4



Es un display de cristal líquido que muestra 1 línea de caracteres, controlado mediante interfaz I2C.

Interfaz: I2C (usa 2 pines: SDA y SCL).

Voltaje de operación: 5V DC.

Facilidad de uso: Compatible con Arduino, ESP32, ESP8266.

Módulo DC-DC

3ª



DC-DC 3ª transforma una tensión de entrada DC a otra tensión de salida DC estable, usado para alimentar proyectos electrónicos.

Tipo: Buck (reductor) o step-down.

Corriente máxima de salida: 3ª.

Rango de entrada: 4.5 – 40V DC aprox, depende del módulo.

Rango de salida: 1.25 – 37V DC ajustable aprox.

Eficiencia: Alta hasta 92% aprox.

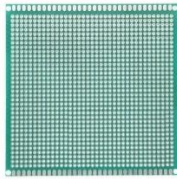
Cargador 12VDC



Dispositivo que convierte la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua estable de 12 voltios.

Entrada: 100-240v.
Salida: 12V DC.
Potencia: depende de la corriente de salida.
Protecciones: sobrecarga, sobre corriente y cortocircuito.

Placa PCB 10x10



Tarjeta base de circuito impreso de 10cm x 10cm, usada para montaje y conexión de componentes electrónicos

Dimensiones: 10cm x 10cm.
Material: fibra de vidrio.
Cobre: 1 oz (35 μ m).

Elaborado por: Autor

2.1.5 Protocolos de comunicación

La transmisión de datos entre dispositivos IoT se basa en protocolos ligeros como MQTT, HTTP o CoAP, seleccionados según las necesidades específicas del sistema. La elección del protocolo adecuado depende de factores críticos como el consumo energético disponible, la latencia permitida en la comunicación y las limitaciones de ancho de banda, además, resulta esencial implementar mecanismos robustos de seguridad e integridad de datos, ya que las redes IoT suelen operar en entornos vulnerables a interceptaciones o alteraciones maliciosas, [25].

Tabla 2: Protocolos de comunicación.

<i>Criterio</i>	<i>MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)</i>	<i>HTTP (Hypertext Transfer Protocol)</i>	<i>CoAP (Constrained Application Protocol)</i>
<i>Modelo de comunicación.</i>	Publicador/ Suscriptor mediante broker central.	Cliente/ clásico.	Servidor Cliente/ Servidor sobre UDP, orientado a dispositivos con recursos limitados.

<i>Capa de transporte.</i>	TCP/IP (con soporte para TLS/SSL).	TCP/IP (con soporte HTTPS).	UDP (opcionalmente con DTLS para seguridad).
<i>Consumo energético.</i>	Bajo, ideal para nodos IoT alimentados por batería.	Alto, debido a conexiones persistentes y paquetes grandes.	Muy bajo, optimizado para dispositivos embebidos.
<i>Fiabilidad de entrega.</i>	Alta, soporta tres niveles de QoS (0, 1 y 2).	Alta, por su naturaleza basada en TCP.	Moderada, ya que se basa en UDP (sin confirmación garantizada).
<i>Latencia.</i>	Muy baja, ideal para transmisión en tiempo real.	Moderada alta, por el <i>handshake</i> de TCP.	Muy baja, por su arquitectura ligera.
<i>Escalabilidad.</i>	Alta, soporta gran cantidad de nodos publicadores/suscriptores.	Limitada, por el número de conexiones simultáneas.	Alta, debido a su simplicidad
<i>Compatibilidad con plataformas IoT.</i>	Ampliamente adoptado en la industria IoT, muchos SDKs disponibles, brokers maduros.	Es el estándar Web, integración sencilla con APIs REST, servicios en la nube.	Soporte creciente, especialmente en dispositivos muy limitados, pero menos común en comparación con HTTP.
<i>Soporte en microcontroladores.</i>	Muy bueno, muchas implementaciones en microcontroladores de bajo coste, gracias a su ligereza.	Requiere mayor capacidad (TCP stack completo, mayor cabecera) lo que puede limitar	Optimizado para nodos con memoria limitada, pequeñas plataformas y consumo reducido.

microcontroladores
muy básicos.

Elaborado por: Autor.

Visualización y análisis.

La visualización de los datos constituye una etapa esencial dentro de los sistemas de monitoreo ambiental basados en IoT, ya que permite interpretar de manera intuitiva la información recolectada por los sensores, facilitando la toma de decisiones informadas y la gestión eficiente de las condiciones ambientales en espacios residenciales.

Para el sistema de monitoreo ambiental residencial propuesto, la plataforma ThingSpeak se emplea como entorno principal para la visualización y análisis de los datos generados por los sensores IoT. Cada dispositivo del sistema transmite periódicamente sus lecturas hacia un canal de ThingSpeak, el cual actúa como repositorio de datos en tiempo real, este canal se compone de campos donde se almacena cada variable monitorizada, permitiendo posteriormente su representación visual y su análisis mediante scripts integrados. [26].

2.2 Marco Referencial

Este proyecto se basa en una revisión bibliográfica que incluye fuentes primarias y secundarias.

2.2.1 **Monitoreo de calidad ambiental interior en edificios, comfort ocupacional, salud residencial/comercial. China (2024)**

“En este estudio se instaló una red inalámbrica de sensores IoT en un edificio alto en Hong Kong, en 12 ubicaciones durante 15 meses, con mediciones cada minuto. Se midieron parámetros como temperatura del aire y radiante, humedad relativa, velocidad del aire, CO₂, material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), iluminancia horizontal y nivel de sonido. El enfoque es centrado en los ocupantes: se compararon los datos reales con las percepciones de confort, se captaron variaciones ambientales instantáneas (espaciales y temporales) que los sondeos periódicos no detectarían, y se identificaron fuentes de incomodidad. Los resultados sirven para estrategias de mitigación, para mejorar confort térmico, acústico, visual y calidad del aire interior, con implicaciones en eficiencia energética”.

2.2.2 **Implementation of an IoT architecture for promoting healthy air quality in 84 homes of families with children. Portugal, (2024).**

“Se desarrolló y desplegó una arquitectura IoT basada en sensores de bajo costo (LCS – low-cost sensors) en 84 viviendas con familias con niños, para medir CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, temperatura y humedad. Se usó una app de smartphone para dar acceso en tiempo real a los datos de IAQ (Indoor Air Quality) y alertas cuando los niveles excedían límites recomendados. Hubo comparación entre periodos con y sin acceso a los datos, mostrando que durante la intervención (cuando los usuarios veían datos y recibían alertas) los niveles de CO₂ disminuyeron significativamente (~10.3 % en la mayoría de hogares). También se identificaron desafíos como degradación de la señal de los sensores PM con el tiempo, necesidad de calibración. Los participantes afirmaron que los datos los motivaron a tomar acciones para mejorar la calidad del aire interior”.

2.2.3 Particulate matter in a lockdown home: evaluation, calibration, results and health risk from an IoT enabled low-cost sensor network for residential air quality. Reino Unido, (2023)

“Este trabajo evaluó una red de sensores IoT de bajo costo para medir partículas en una vivienda residencial, durante el periodo e confinamiento. Se hizo calibración de los sensores, se validaron datos, hubo buenas correlaciones inter-sensor. Se observaron patrones diurnos en contaminación de partículas, impactos de actividades humanas como cocinar, infiltración del aire exterior. Se destaca que los niveles internos pueden exceder los estándares de la OMS, y que algunas partes de la casa (como sala-estar) pueden tener niveles incluso superiores a la cocina si la ventilación es pobre. Se menciona limitación en resolución temporal debido a batería de los dispositivos”.

2.2.4 Infraestructura IoT para monitoreo de ambientes interiores residenciales, escalabilidad, costo, datos en tiempo real. Ambato – Ecuador, (2021).

“Los autores diseñan “Building Data Lite (BDL)”, un sistema distribuido, portable y económico para recolectar datos ambientales interiores en viviendas. Utilizando Raspberry Pi y arrays intercambiables de sensores (temperatura, humedad, luz, movimiento, sonido, vibración, gases, etc.), desplegaron el prototipo en 12 hogares de una comunidad de vivienda accesible. El costo promedio fue ~\$73 por zona sensorial (~48 zonas). El sistema permite enviar datos en tiempo real a un servidor central, acceso gráfico vía interfaz web, análisis remoto. El estudio muestra que es posible hacer monitoreo de calidad ambiental interior residencial, con múltiples sensores, de bajo costo y portable, con buen potencial para replicarse en otros contextos residenciales”.

2.2.5 Monitoreo continuo de confort interior residencial, uso de LoRaWAN para transmisión de datos, variaciones estacionales. Manabi – Ecuador, (2022).

“En este estudio se instaló un sistema de sensores en 13 apartamentos para monitorear parámetros de confort interior (CO₂, temperatura, humedad, iluminancia, presión atmosférica, TVOC) con intervalos de medición de 15 minutos. Las comunicaciones entre sensor-pasarela usaron LoRaWAN y de la pasarela al servidor con 5G. Se realizó análisis a corto plazo (un mes) y largo plazo (variaciones estacionales) para observar dinámicas residenciales de confort ambiental. Se encontraron fluctuaciones significativas en CO₂ y TVOC durante actividad en interiores, picos que excedían los umbrales recomendados, también inconsistencias térmicas y

de humedad. Resalta la importancia de una monitorización eficiente, transmitir en tiempo real, sistemas de alerta, y diseño de ventilación adecuado”.

2.2.6 An intelligent Edge-Deployable Indoor Air Quality Monitoring and Activity Recognition Approach. Argelia, (2023)

“Este artículo propone un sistema que no solo mide calidad del aire interior (varios sensores) sino que también reconoce actividades dentro del hogar usando una red neuronal delgada (1D-CNN), ejecutable en dispositivos de borde. Se recopilaban datos de un conjunto de sensores, entrenando el modelo para clasificar acciones cotidianas (Actividades de la Vida Diaria). El modelo alcanza alrededor del 97 % de precisión, tiempo de predicción muy bajo (~41 ms), ideal para aplicaciones en tiempo real. La ventaja: mitigación de la latencia, menor dependencia del servidor, detección de eventos asociados a la calidad del aire interior (por ejemplo, cuando cocinar o actividad humana genera contaminantes) en tiempo real”.

2.2.7 Prototipo de Sistema IoT para monitorear ambiente interior residencial (salud y bienestar), sensores, plataforma de visualización. Guayaquil – Ecuador, (2022)

“El estudio presenta un prototipo de un Sistema Ciber-Físico (CPS) para casas, que captura condiciones ambientales interiores usando sensores IoT, para luego compartir, almacenar, analizar y visualizar estos datos. Caso de estudio en Nueva Zelanda, en una vivienda, por aproximadamente un mes. Se monitorearon parámetros ambientales interiores (aunque no todos los estudios incluyen la calidad del aire interior completa). Se relacionaron los datos ambientales con actividad de los ocupantes. El objetivo era establecer una base tecnológica para viviendas saludables, identificando cómo los datos en tiempo real pueden servir para mejorar bienestar, salud de los residentes, evaluación del desempeño térmico de viviendas. Limitaciones señaladas: tiempo corto, solo una vivienda, algunos parámetros no medidos como contaminantes específicos”.

2.2.8 Sistema IoT para monitoreo de calidad de aire interior en hogares, sensores múltiples, índice AQI adaptado al hogar. El Salvador, (2024)

“Los autores construyeron un sistema basado en IoT para controlar la calidad del aire interior dentro de hogares (“smart home”). Se midieron gases como CO, CO₂, materiales particulados

finos, además de temperatura y humedad. Se implementó una etapa de simulación y una interfaz para visualizar datos, y lógica difusa para decidir acciones automáticas como purificación del aire, aperturas de ventana/ventilación. Se combinó hardware básico (Arduino, sensores de partículas, WiFi) con software para calcular un índice de calidad del aire (AQI) doméstico, alertas automáticas, etc. Este tipo de sistema permite al usuario conocer en tiempo real el estado del aire interior, detectar problemas y reaccionar (por ejemplo, ventilando). Limitaciones: precisión y calibración de sensores, variación de condiciones ambientales”

2.3 Marco Legal

En la Ley Orgánica de Telecomunicaciones de la República del Ecuador se especifica lo siguiente [27]:

“Establece que todos los ciudadanos tienen derecho a acceder a servicios de telecomunicaciones de calidad. Esto incluye los servicios de conectividad esenciales para sistemas IoT, como Wi-Fi, 5G, LoRaWAN y otras tecnologías”. **Artículo 3**

“Gestión del espectro radioeléctrico regula el uso de las frecuencias de radio necesarias para dispositivos IoT”. **Artículo 18**

En la Ley Orgánica de Protección de la República del Ecuador de datos personales se especifica lo siguiente [27]:

“Protección de datos personales “. **Artículo 29**

El Código Orgánico del Ambiente de la Republica del Ecuador establece [28]:

“La ley reconoce que todas las personas tienen derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado, lo que incluye el derecho a la calidad del aire, agua, y la gestión de residuos”. **Artículo 13**

“La prevención de la contaminación atmosférica define la responsabilidad del Estado y las empresas para implementar medidas de control de la contaminación del aire”. **Artículo 40**

“La ley promueve el acceso a la información ambiental, lo que implica que los datos obtenidos a través del monitoreo en tiempo real deben ser accesibles para el público, autoridades y otras personas interesadas”. **Artículo 82**

CAPITULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

Este proyecto se realizó en el domicilio situado en el cantón El Empalme, Guayas, Ecuador de coordenadas -1.043518, -79.641527.

Figura 7. Ubicación del domicilio



Obtenido de: Google Maps

3.2 Tipo de investigación

3.2.1 Investigación Aplicada

La investigación se enmarca dentro de una investigación de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, dado que su propósito principal es generar una solución práctica a un problema real, como es el monitoreo de la calidad ambiental en residencias, mediante la recopilación y análisis de datos que resulten útiles para los habitantes. De esta manera, los resultados de la investigación pueden ser aplicados directamente en los hogares, para mejorar el bienestar de los habitantes a través de la toma de decisiones oportunas para optimizar las condiciones ambientales.

El enfoque cuantitativo permite medir de manera objetiva variables como temperatura, humedad, niveles de CO₂, partículas en suspensión y otros contaminantes del aire, facilitando la obtención de datos precisos y comparables. La recopilación sistemática de estos datos posibilita la identificación de patrones y la generación de información útil para los habitantes de los hogares, quienes pueden tomar decisiones informadas para mejorar su bienestar y la calidad de vida en sus viviendas.

Además, la investigación aplicada permite que los resultados sean directamente implementables, contribuyendo a soluciones prácticas que van más allá del análisis académico, proporcionando un valor tangible a la comunidad y promoviendo la gestión ambiental responsable en entornos residenciales.

3.2.2 *Investigación Descriptiva*

La investigación se centra en caracterizar y detallar las condiciones ambientales en el interior de las viviendas, La información recolectada será analizada para establecer patrones y tendencias, lo que permitirá describir con precisión el comportamiento de las variables ambientales en distintos escenarios residenciales.

En este sentido, el enfoque aplicado garantiza la utilidad práctica del proyecto, mientras que el carácter descriptivo proporciona un panorama detallado de la situación ambiental en los hogares, en conjunto, la combinación de un enfoque aplicado y descriptivo permite que la investigación no solo genere datos detallados sobre la calidad ambiental, sino que también proponga soluciones prácticas y efectivas que contribuyan al bienestar de los residentes.

3.3 Métodos de Investigación

3.3.1 *Método Analítico*

La investigación se fundamenta en el método analítico, el cual permite descomponer el problema de estudio en sus partes esenciales para comprenderlo de manera integral y plantear una solución adecuada. En este caso, el objeto de análisis es el monitoreo ambiental en tiempo real en espacios residenciales mediante el uso de tecnologías basadas en IoT.

3.3.2 *Método Comparativo*

La investigación se apoya también en el método comparativo, el cual permite confrontar distintas alternativas tecnológicas y metodológicas con el fin de seleccionar las más adecuadas para el diseño del sistema de monitoreo ambiental en tiempo real. Este enfoque facilita valorar ventajas, limitaciones y condiciones de aplicación de cada opción.

3.3.3 *Diseño descriptivo-correlacional*

El diseño descriptivo-correlacional se fundamenta en la descripción de la situación ambiental y en el establecimiento de relaciones entre los factores mencionados, con el fin de explicar su influencia en la calidad del aire dentro de los hogares.

3.4 Fuentes de Recopilación de Información

3.4.1 *Fuentes Primarias*

- Resultados extraídos de las pruebas del monitoreo las cuales brindan información sobre las condiciones del entorno y la percepción de la calidad del aire.

3.4.2 *Fuentes Secundarias*

- Literatura científica, artículos académicos, normativas nacionales e internacionales sobre calidad ambiental.

3.5 Diseño de investigación

3.5.1 *Diseño Cuasiexperimental*

Durante la investigación, aunque no se realizó una manipulación completa de todas las variables, el diseño cuasiexperimental permitió visualizar los resultados entre diferentes tomas de datos y analizar su impacto.

3.5.2 *Fase 1: Revisión bibliográfica*

Como primer punto se realizará una revisión bibliográfica exhaustiva con el propósito de analizar los fundamentos teóricos y tecnológicos relacionados con los sistemas de monitoreo ambiental basados en IoT. Esta etapa permitirá identificar los sensores, plataformas y metodologías más adecuadas para la medición de parámetros de calidad del aire en entornos residenciales.

La revisión incluirá también conceptos sobre el impacto de los contaminantes atmosféricos en la salud humana y en la calidad ambiental doméstica, así como las ventajas que ofrecen los sistemas IoT para el monitoreo continuo y remoto.

3.5.3 Fase 2: Desarrollo del escenario

Esta fase se centró en la construcción de la red de sensores usando placas ESP8266 e integración de sensores para el monitoreo de contaminantes como núcleo de contaminación inalámbrica, a la cual se integraron los sensores seleccionados. Durante esta etapa se definió el entorno de pruebas y se establecieron las condiciones ambientales en las que se evaluaría el desempeño del sistema. Se diseñó el esquema de conexión de los sensores con las placas controladoras y se configuró el flujo de datos desde la lectura de los valores analógicos hasta su transmisión hacia la nube.

3.5.4 Fase 3: Integración de hardware

En esta fase se llevó a cabo la integración completa del hardware, combinando los módulos electrónicos y asegurando su correcta comunicación. Se utilizó un Arduino NANO como unidad central encargada de:

- Lectura de sensores.
- Procesamiento de datos.
- Visualización en LCD I2C.

El módulo ESP8266 se conectó al Arduino mediante comunicación UART, implementando niveles lógicos compatibles de 5V a 3.3V mediante un conversor TTL. Este módulo fue configurado con las credenciales de la red WiFi local para permitir la conexión al servidor remoto:

- Conversión niveles TTL 5V – 3.3V.
- Configuración Wi Fi con credenciales de la red local.
- Preparación de ThingSpeak para subir datos mediante HTTP.

3.5.5 Fase 4: Transmisión de datos

Durante esta fase se implementó el sistema de comunicación entre el hardware de campo y la plataforma en la nube, con el objetivo de posibilitar el envío, recepción y almacenamiento de los datos en tiempo real:

- Arduino envía datos en formato CSV hasta el ESP8266.

- Modulo ESP8266 hace petición HTTP GET a ThingSpeak con API Key.

ThingSpeak, es una herramienta basada en el servicio IoT, la cual permitió organizar la información en canales independientes, representando cada variable ambiental.

3.5.6 Fase 5: Visualización y almacenamiento

La plataforma ofreció la posibilidad de graficar en tiempo real los valores registrados. Esta arquitectura permitió que los datos pudieran ser consultados desde cualquier dispositivo con acceso a Internet, favoreciendo la transparencia, trazabilidad y disponibilidad de la información ambiental en tiempo real, aspectos fundamentales para la toma de decisiones orientadas a mejorar la calidad del aire interior.

- ThingSpeak recibe los datos y los organiza por canales.
- Graficas en tiempo real de temperatura, humedad y concentración de gases.
- Alertas automáticas si los valores superan umbrales predefinidos.

3.5.7 Fase 6: Implementación del sistema

La fase final consistió en la implementación integral del sistema de monitoreo en un entorno residencial controlado, con el objetivo de validar su funcionamiento, estabilidad y utilidad práctica. Para ello se realizó la instalación física del dispositivo en una zona representativa del ambiente doméstico, considerando factores como la ventilación, la altura de ubicación y la posible influencia de fuentes de contaminación interna.

Durante el periodo de prueba, se ejecutaron mediciones continuas en intervalos de tiempo definidos, recopilando datos sobre las variables ambientales y comparándolos con registros de referencia obtenidos, los resultados demostraron que el sistema diseñado es capaz de ofrecer un monitoreo ambiental confiable y accesible, favoreciendo la concienciación de los usuarios respecto a la calidad del aire en sus hogares. Asimismo, se identificaron posibles mejoras futuras, como la integración de algoritmos de inteligencia artificial para la predicción de patrones de contaminación y la inclusión de una interfaz móvil para alertas personalizadas.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES RESIDENCIALES

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido directrices para la calidad del aire interior en residencias, enfocándose en varios parámetros clave para proteger la salud humana. Estas directrices se basan en una revisión exhaustiva de la evidencia científica disponible y están diseñadas para servir como referencia en la formulación de políticas y estándares nacionales e internacionales. [29].

Aunque muchas de las directrices de la OMS están formuladas para contextos de combustibles sólidos domésticos, los principios resultan también plenamente aplicables a viviendas de cualquier región. Por ejemplo, la OMS señala que los combustibles de la vivienda generan emisiones de material particulado y monóxido de carbono que pueden superar los valores de guía si no se controla adecuadamente. [30].

4.1.1 Tabla de contaminantes residenciales

En el caso específico de los siguientes contaminantes, es recomendable describir su presencia en interiores, sus fuentes habituales y los efectos adversos para la salud, así como relacionarlos con los valores de guía o niveles recomendados por la OMS o por organismos reconocidos.

Tabla 2: Tabla de contaminantes ambientales residenciales

<i>Contaminante</i>	<i>Nombre</i>	<i>Breve descripción</i>	<i>Consecuencias a la salud</i>
		<i>científico</i>	
<i>Dióxido de carbono</i>	CO2	Gas exhalado por personas y animales, también puede acumularse en espacios mal ventilados.	Fatiga, disminución de concentración, molestias cognitivas.

<i>Monóxido de carbono</i>	CO	Gas incoloro e inodoro generado por combustión incompleta de combustibles domésticos.	Se liga a la hemoglobina, reduce transporte de oxígeno; en exposiciones agudas puede causar signos de intoxicación.
<i>Ozono</i>	O3	Gas reactivo que puede infiltrarse del exterior al interior o generarse por purificadores/interiores con fuentes eléctricas.	Irritación de vías respiratorias, empeoramiento de enfermedades pulmonares (asma, EPOC), efectos oxidativos.
<i>Compuestos orgánicos volátiles</i>	COVs	Mezcla de muchos compuestos (formaldehído, benceno, etc.) emitidos por materiales de construcción, productos de limpieza, ambientadores.	Irritación de ojos, nariz, garganta; efectos neurológicos; algunos carcinógenos (dependiendo del COV específico).
<i>Partículas finas</i>	PM2.5	Partículas de muy pequeño tamaño generadas por combustión doméstica, cocinar, chimeneas, infiltración de aire exterior.	Penetran profundo en los pulmones e incluso al torrente sanguíneo; incrementan riesgo cardiovascular, respiratorio, cáncer de pulmón a largo plazo.
<i>Partículas inhalables</i>	PM10	Partículas algo más grandes que PM2.5, generadas también por actividades domésticas, polvo, resuspensión, cocción, chimeneas.	Pueden irritar vías respiratorias, empeorar asma, reducir función pulmonar.

Dióxido de nitrógeno	NO2	Gas generado por estufas de gas, cocción con llama, fuegos domésticos, ventilación insuficiente.	Empeoramiento del asma, síntomas respiratorios, aumento de riesgo de infecciones respiratorias en niños.
Dióxido de azufre	SO2	Gas producido por combustión de combustibles con azufre (por e, infiltración al interior.	Irritación de vías respiratorias, broncoespasmo, especialmente en personas con asma.
Radón	Rn	Gas radioactivo que puede filtrarse desde el suelo hacia el interior de viviendas.	Exposición prolongada es factor de riesgo de cáncer de pulmón.
Temperatura		Condición térmica del ambiente interior; influye en la exposición, confort y generación de contaminantes.	Temperaturas extremas muy altas o muy bajas esto afecta confort, sueño, pueden exacerbar enfermedades cardiovasculares/respiratorias.
Humedad relativa	RH	Proporción de vapor de agua en el aire interior respecto al máximo que podría contener a esa temperatura.	Alta humedad: proliferación de moho, ácaros, lo cual aumenta alergias, asma, síntomas respiratorios. Humedad muy baja: irritación de ojos, mucosas, mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias.

Fuentes: Organización Mundial de la Salud

Elaborado por: Autor

4.1.2 Condiciones ambientales recomendadas

A continuación, se presentan los valores recomendados para compuestos orgánicos volátiles (COVs), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), humedad relativa, material particulado y temperatura, según las guías más recientes de la OMS. [31].

Tabla 2. Parámetros ambientales

<i>Contaminante</i>	<i>Limite recomendado:</i>	<i>OMS</i>
<i>Co₂</i>	< 1 000 ppm	
<i>Co</i>	≤ 4 mg/m ³ (24 h)	
<i>Ozono (O₃)</i>	≤ 100 µg/m ³ (8 h) 0,05 ppm	≈
<i>COVs</i>	≤ 100 µg/m ³	
<i>Pm_{2.5}</i>	< 10 µg/m ³ (anual)	
<i>Pm₁₀</i>	< 20 µg/m ³ (anual)	
<i>No₂</i>	< 40 µg/m ³ (anual)	
<i>So₂</i>	< 20 µg/m ³ (diario)	
<i>Radón</i>	< 100 Bq/m ³	
<i>Temperatura</i>	20–24 °C	
<i>Humedad relativa</i>	30–60 %	

Fuentes: Organización Mundial de la Salud

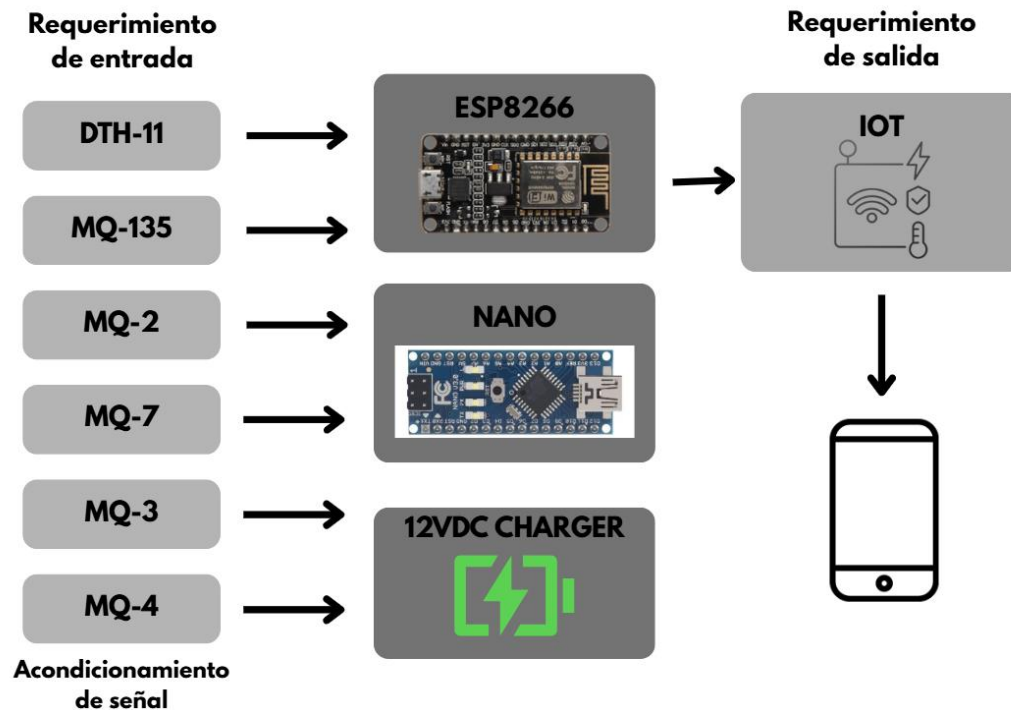
Elaborado por: Autor

4.2 IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES RESIDENCIALES

El sistema de monitoreo se desarrolló en tres capas: el requerimiento de entrada donde surgió la adquisición de datos mediante los sensores que captaron los niveles de contaminación, la comunicación de los componentes ESP8266 Y Arduino Nano y como

capa final el almacenamiento y visualización de datos en la plataforma de ThingSpeak y la LCD. El flujo de los datos inicia desde la captura de información mediante los sensores, pasa por el procesamiento desarrollado en el Arduino y son transmitidos vía Wi-Fi mediante el ESP8266 hasta la nube, finalmente mostrados en el LCD I2C.

Figura 8: Arquitectura del sistema



Elaborado por: Autor

4.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA POR CAPAS

Capa de Sensores y Actuadores

Los datos son capturados mediante los componentes presentados, interactúan con el Arduino NANO, que actúa como microcontrolador de adquisición.

Tabla 3: Función de componentes

<i>Componente</i>	<i>Función</i>
<i>DHT-11</i>	Temperatura y humedad.
<i>MQ-135</i>	Calidad del aire.
<i>MQ-2</i>	Gas GLP.
<i>MQ-3</i>	Alcohol. (Compuestos orgánicos volátiles)
<i>MQ-4</i>	Metano.
<i>MQ-7</i>	Monóxido de carbono.

Elaborado por: Autor

4.2.2 Capa de Procesamiento y Comunicación

Arduino NANO:

- Lectura de las señales analógicas y digitales de los sensores.
- Procesamiento de datos.
- Visualización de los datos en LCD I2C.

Protocolo de comunicación:

- MQTT.
- UART/ Serial entre Arduino NANO y ESP8266.

4.2.3 Capa de Plataforma y Visualización

Plataforma ThingSpeak:

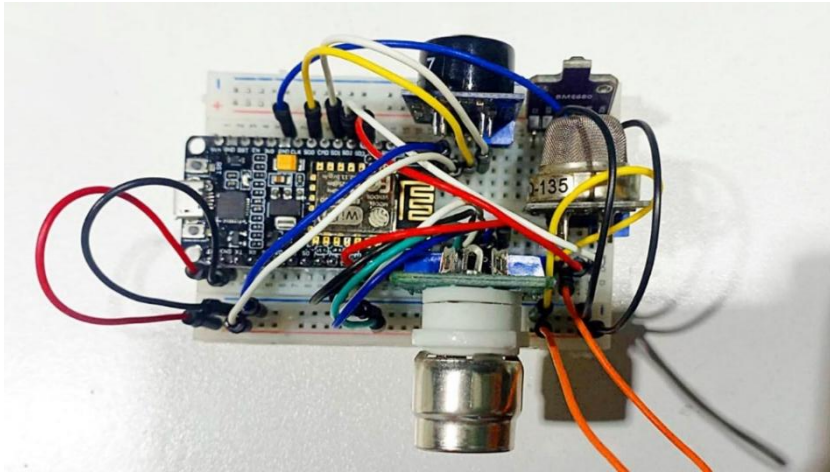
- Dashboard online.
- Almacenamiento y gráficos en tiempo real.
- Análisis histórico de las variables ambientales.
- Alertas y notificaciones.

4.2.4 Ensamblaje de componentes

Como unidad de adquisición se empleó el Arduino Nano, mientras que la conectividad inalámbrica fue gestionada con el uso del módulo ESP8266. Los sensores MQ-7, MQ-

135, MQ-3, MQ-4, MQ-2, DTH-11 fueron seleccionados por su sensibilidad a contaminantes frecuentes dentro de residencias. La alimentación se garantizó con un cargador 12VDC y un regulador DC-DC 3A, integrado finalmente sobre una placa PCB 10x10.

Figura 9: Ensamblaje de componentes

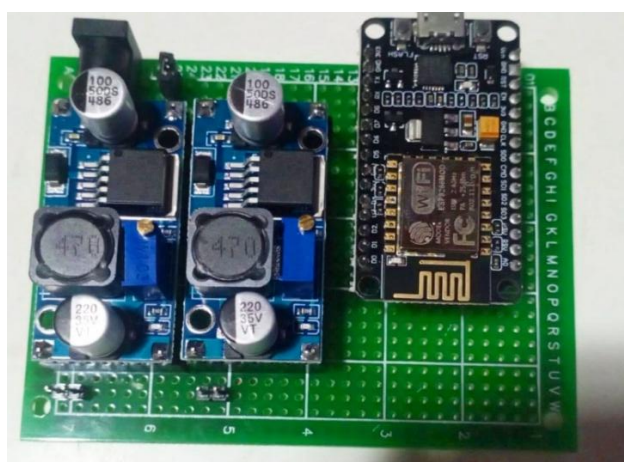


Elaborado por: Autor

4.2.5 Configuración práctica

El prototipo se desarrolló sobre una protoboard para verificación de conexiones y calibración preliminar de los sensores. El diseño fue posteriormente posicionado a la placa PCB, fue configurado a un canal en ThingSpeak con seis campos correspondientes a los parámetros monitoreados, y se programó el ESP8266 con la API Key de escritura para enviar datos cada 20 segundos. Datos recolectados en horas de la mañana al inicio del día y comparados con los datos obtenidos al final del día.

Figura 10: Placa PCB



Elaborado por: Autor

4.3 DISEÑO DEL DASHBOARD PARA LA VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN RESIDENCIAS

Como parte del tercer objetivo propuesto dentro de esta investigación implementamos el uso de un dashboard interactivo orientado a la supervisión continua de los parámetros críticos de la calidad del aire en entornos residenciales. Por este motivo, empleamos el uso de la plataforma ThingSpeak que permite la recolección, procesamiento y visualización de datos en la nube mediante dispositivos basados en microcontroladores como Arduino y ESP8266. ThingSpeak no solo permite almacenar datos recolectados, sino también procesarlos y visualizarlos mediante un panel de control personalizable, que se actualiza de forma automática cada 20 segundos.

4.3.1 Datos recolectados

A continuación, se presenta una tabla con niveles de contaminación receptados en un periodo de tres meses.

Tabla 3. Recopilación de datos

<i>Fecha / Hora</i>	<i>CO (ppm)</i>	<i>CO₂ (ppm)</i>	<i>Índice MQ-135</i>	<i>Alcohol (ppm)</i>	<i>Gas combust. (ppm)</i>	<i>Temp (°C)</i>	<i>Humedad (%)</i>
-------------------------	---------------------	---------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------------	----------------------	------------------------

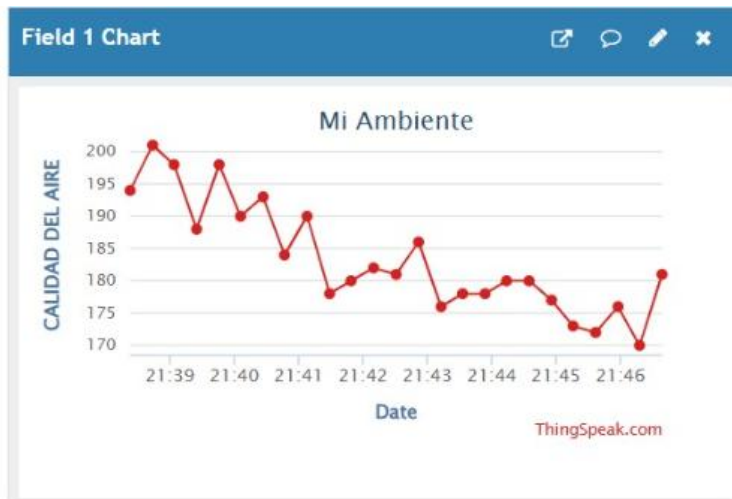
2025-06-02 08:00	5.2	420	130	0.03	0.9	23.4	46
2025-06-02 18:00	8.6	780	220	0.12	1.7	24.0	50
2025-06-16 08:00	3.4	500	160	0.06	1.1	22.8	47
2025-06-16 18:36	7.5	420	140	0.05	0.8	23.5	47
2025-06-23 07:20	5.0	680	260	0.10	1.2	24.6	49
2025-06-23 19:52	6.3	530	250	0.13	1.6	24.0	50
2025-07-04 09:15	8.2	500	160	0.05	0.5	22.6	48
2025-07-04 20:14	5.2	480	140	0.03	0.2	22.5	49
2025-07-18 09:00	8.2	780	260	0.06	1.6	24.0	50
2025-07-18 15:45	5.3	430	280	0.14	1.5	24.0	47
2025-07-25 09:00	7.0	500	220	0.15	1.3	24.9	46
2025-07-25 19:43	3.2	700	150	0.14	0.4	23.9	45
2025-08-04 08:30	3.0	580	270	0.06	0.6	22.6	48
2025-08-04 21:00	5.4	670	170	0.04	1.3	22.0	51
2025-08-17 08:00	6.3	420	250	0.15	1.6	24.1	43
2025-08-17 20:30	5.2	760	250	0.12	0.5	22.5	45
2025-08-29 08:00	8.6	430	140	0.12	0.2	24.0	47
2025-08-29 21:35	3.5	520	150	0.06	1.7	22.8	50

Elaborado por: Autor

4.3.2 Variaciones de la calidad del aire

Grafica de la plataforma ThingSpeak, indica alrededor de 200 unidades y termina cerca de 175-180, se observa una tendencia descendente continua, con pequeñas oscilaciones. Al inicio se visualizan picos fuertes entre 190-200, lo que indica fluctuaciones rápidas. Después de 21:42, los valores se estabilizan, mostrando variaciones más pequeñas

Figura 11: Calidad del aire

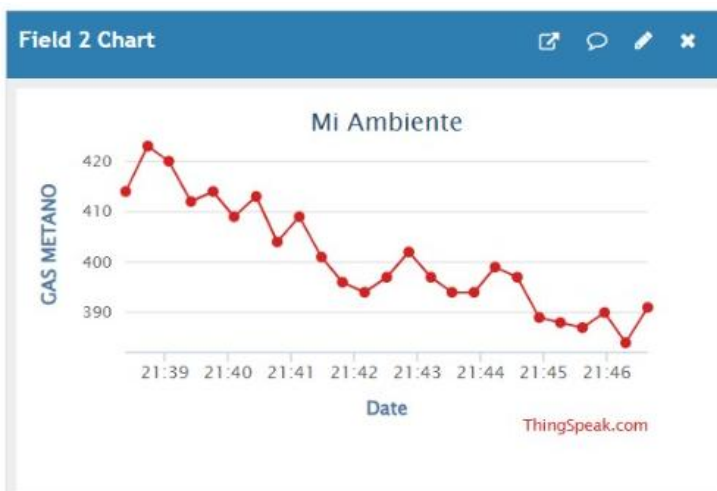


Elaborado por: Autor

4.3.3 Variaciones de concentración de gas metano

La medición empieza cerca de 420 ppm y desciende hasta alrededor de 390 ppm. Su variabilidad se extiende entre 21:39 y 21:41 en las cuales se observan fluctuaciones moderadas, Visualizamos un pequeño repunte cerca de las 21:46, aunque levemente pronunciado.

Figura 12: Gas metano

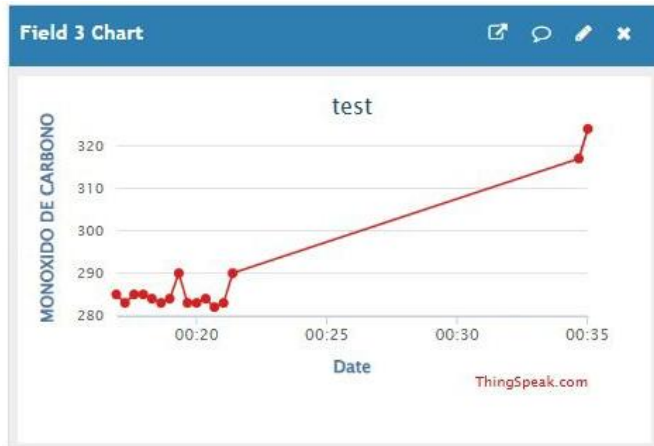


Elaborado por: Autor

4.3.4 Variaciones de Monóxido de carbono

Los valores oscilan entre 280 -290, observando que en varias fechas supera los 290, lo cual indica condiciones de aire moderado entre las primeras fechas y un salto de pico demasiado alto, asociado a partículas y gases irritantes en interiores.

Figura 13: Monóxido de carbono



Elaborado por: Autor

4.3.5 Variaciones de la concentración de alcohol

La concentración se mantiene dentro de rangos seguros, pero evidencia que el sensor detecta la presencia de compuestos orgánicos volátiles, ya que los valores fluctúan entre 345-370, lo cual puede coincidir con actividades como el uso de desinfectantes, ambientadores o cocción de alimentos.

Figura 14: Concentración de alcohol

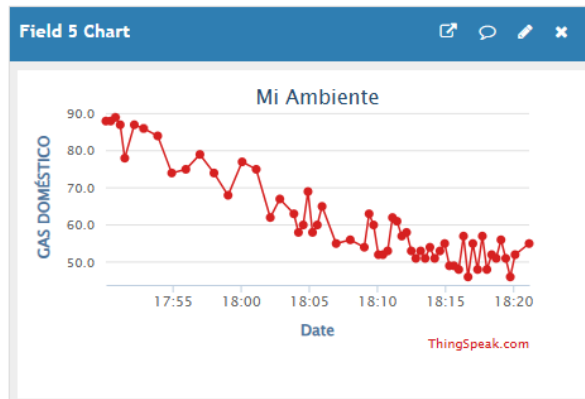


Elaborado por: Autor

4.3.6 Variaciones de la concentración de gas doméstico

Los valores más altos sugieren posibles emisiones de gas doméstico, o acumulación en espacios poco ventilados, se mueve entre niveles de 90 y 70 ppm, con algunas variantes debido a su espacio cerrado, visualizamos también fluctuaciones descendentes y moderadas indicando una mejora general del ambiente en la hora de 18:10.

Figura 15: Gas doméstico.

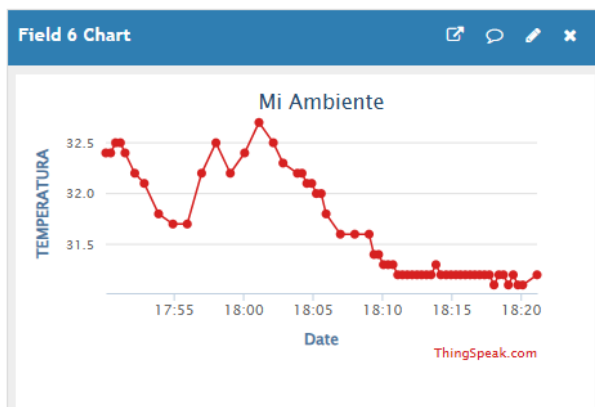


Elaborado por: Autor

4.3.7 Variaciones de temperatura

Dentro de los niveles recolectados mediante el sistema de monitoreo visualizamos una notable variación de sus datos, entre el trayecto del día a las horas 15:30-18:30 del día en unos niveles de 31.5 a 32.6 aproximadamente, luego visualizamos sus niveles en descendencia hasta llegar a niveles de menos 31.5 en horas de la tarde a partir de las 18:30.

Figura 16: Temperatura

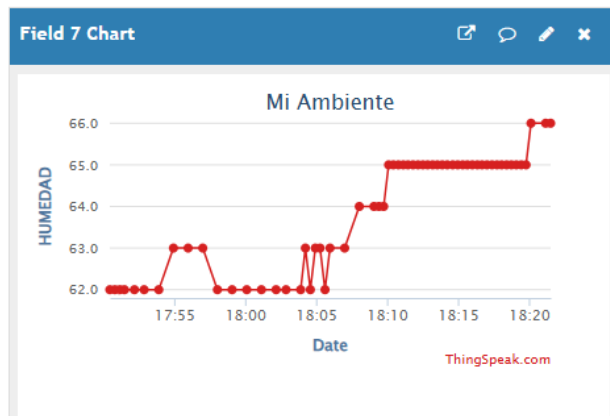


Elaborado por: Autor

4.3.8 Variaciones de humedad

Se observa una tendencia general ascendente, la cual indica cambios en el contenido de vapor de agua en el ambiente, debido a la escasa ventilación lo cual hace elevar la humedad por el cierre del ambiente, presencia de personas y tiempo de cocción generado en el hogar, mantiene un nivel poco variable de entre 62.0 y 63.0 hasta la hora de 18:05, aumentando levemente a partir de las 18:15.

Figura 17: Humedad



Elaborado por: Autor

4.3.9 Análisis

El sistema de monitoreo detecta variabilidad ambiental clara según la fecha y hora, mostrando que los sensores son sensibles a cambios en las condiciones de la vivienda. Los valores se mantienen en rangos seguros, pero los picos identificados justifican la importancia de contar con una alerta en tiempo real dentro de la plataforma, tal como permite ThingSpeak.

A partir de las mediciones realizadas por la plataforma de monitoreo, se aprecia un comportamiento dinámico del ambiente interior influido por las actividades cotidianas y las condiciones propias del espacio. La calidad del aire muestra una disminución progresiva desde valores elevados hacia niveles más estables, reflejando una reducción notable de partículas suspendidas conforme avanza el tiempo. Esta misma tendencia se observa en el metano, cuyas concentraciones descienden gradualmente después de presentar fluctuaciones iniciales más marcadas.

La presencia de compuestos orgánicos volátiles, representados por la concentración de alcohol detectada por el sensor, evidencia como pequeñas acciones cotidianas afectan la calidad del ambiente. De manera similar, el gas doméstico muestra alteraciones que se mantienen dentro de rangos característicos de espacios cerrados, con descensos que indican una mejora gradual conforme el área se ventila.

Finalmente, los parámetros de temperatura y humedad completan la percepción del ambiente interior durante el periodo evaluado. La temperatura presentó una variación notable, descendiendo progresivamente en horas de la tarde, reflejando el comportamiento natural térmico del entorno. La humedad, en cambio, mostró un ascenso sostenido asociado al cierre del espacio, la presencia de personas y realización de actividades domésticas que incrementan el vapor de agua.

En conjunto, estos parámetros refuerzan que el ambiente registra cambios simultáneos entre contaminantes, temperatura y humedad, lo que permite comprender el comportamiento integral del entorno monitoreado.

4.4 Discusión

4.4.1 *Prototipo de sistema IoT para monitorear el ambiente interior residencial*

En el estudio realizado en Guayaquil, Ecuador, se presentó un prototipo de sistema ciber-físico (CPS) para monitorear parámetros ambientales en interiores residenciales, similar al enfoque de nuestro estudio con sensores IoT. Aunque se enfocaron en una vivienda por un mes, nuestros resultados se expanden al uso de una mayor diversidad de sensores, que nos permite un monitoreo más detallado de variables como la calidad del aire, gases contaminantes y compuestos orgánicos volátiles, cubriendo aspectos más amplios del ambiente residencial. Al igual que el estudio en Ecuador, encontramos que la información obtenida en tiempo real es esencial para mejorar la salud y el bienestar de los residentes, y la plataforma de visualización que utilizamos cumple un rol clave en permitir decisiones rápidas e informadas. Sin embargo, al igual que en ese estudio, nuestra investigación también enfrenta limitaciones debido a la cantidad de viviendas monitoreadas y la variabilidad en las condiciones ambientales, que podría ser más representativa con una muestra más grande y una medición a largo plazo. Además, la correlación entre los datos de actividad de los ocupantes y los parámetros monitoreados, similar a lo observado en Guayaquil, resalta la influencia de la dinámica humana en la calidad del ambiente interior.

4.4.2 *Monitoreo continuo de confort interior residencial*

El estudio en Manabí, Ecuador, sobre el monitoreo continuo de confort interior en apartamentos usando sensores y LoRaWAN presenta una metodología similar a la de nuestro proyecto, particularmente en el uso de IoT para la transmisión de datos en tiempo real. Sin embargo, mientras que nuestro estudio se centró en una gama más amplia de contaminantes y parámetros, el trabajo en Manabí monitoreó específicamente CO₂, TVOC en actividades interiores son consistentes con nuestras observaciones sobre la variabilidad de los gases monitoreados, como el metano y el monóxido de carbono. Al igual que en este estudio, encontramos que los picos de contaminantes internos pueden superar los niveles recomendados, lo cual resalta la importancia de sistemas de alerta y la necesidad de un diseño adecuado de ventilación en viviendas. Las fluctuaciones térmicas.

y de humedad que se observaron en Manabí también se reflejan en nuestro análisis de los datos de temperatura y humedad, mostrando la relación directa entre estas variables y el confort y bienestar de los habitantes. Ambos estudios destacan la importancia de contar con un sistema de monitoreo eficiente y cómo las soluciones de IoT pueden proporcionar una base tecnológica crucial para la mejora del confort y la salud en espacios residenciales.

4.4.3 *Estudio sobre partículas en el hogar durante el confinamiento en el Reino Unido*

El estudio realizado en el Reino Unido sobre la evaluación y calibración de una red de sensores IoT de bajo costo para medir partículas en el aire durante el confinamiento, comparte similitudes con nuestra investigación al utilizar una red de sensores para monitorear la calidad del aire interior. Al igual que ellos, en nuestro estudio encontramos que las actividades humanas, como cocinar, tienen un impacto directo en la calidad del aire, especialmente en lo que respecta a partículas finas y gases.

Además, ambos estudios subrayan la importancia de la ventilación en la prevención de concentraciones peligrosas de contaminantes, especialmente en espacios cerrados. Las limitaciones en la resolución temporal debido a la duración de la batería de los dispositivos, mencionadas en su investigación, también fueron un desafío en nuestra experiencia, especialmente al trabajar con dispositivos de bajo costo que requieren optimización para mantener una medición continua. Sin embargo, ambos estudios destacan cómo las redes de sensores IoT de bajo costo pueden ser una herramienta efectiva para monitorear y gestionar la calidad del aire en entornos residenciales, contribuyendo a la protección de la salud pública y al diseño de viviendas más saludables.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

5.1 Conclusiones

- La investigación desarrollada permitió evidenciar la importancia de monitorear parámetros ambientales de la Organización Mundial de la Salud considera fundamentales para garantizar espacios interiores saludables. Mediante la implementación de sensores de bajo costo y una plataforma de análisis en tiempo real, fue posible registrar variables como temperatura, húmedas y concentraciones de gases contaminantes que influyen directamente en el bienestar de las personas. En este sentido, la investigación confirma que el seguimiento sistemático de los parámetros ambientales no solo fortalece la evidencia científica, sino que también facilita la toma de decisiones orientadas a proteger la salud según los criterios establecidos por la OMS.
- La implementación de la red de sensores demostró que es posible combinar hardware y software para generar un sistema funcional y útil. Los datos obtenidos fueron confiables, y su interpretación permite tomar decisiones más informadas sobre cómo mejorar la calidad del aire en un hogar. Esta experiencia me enseñó que la tecnología de bajo costo puede tener un gran impacto en la vida diaria, brindando información valiosa y fomentando hábitos más saludables. Gracias a los sensores implementados, fue posible medir variables como temperatura, humedad y distintos gases contaminantes, obteniendo datos confiables que ayudan a cuidar la salud de quienes habitan el espacio.
- El uso de la plataforma ThingSpeak, junto con Arduino y ESP8266, me permitió integrar los sensores en una red que transmite información de manera continua y en tiempo real. Esto no solo facilita la visualización de los datos, sino que también permite detectar cambios importantes en la calidad del aire de manera inmediata. Además, esta experiencia me hizo notar que estas herramientas pueden servir como base para futuras investigaciones o aplicaciones que busquen ambientes más saludables.

5.2 Recomendaciones

- Recomiendo vincular este sistema con dispositivos de control automático, como purificadores de aire o ventilación inteligente. De esta manera, el sistema no solo detectaría cambios en el ambiente, sino que también podría actuar directamente para mejorar la calidad del aire, haciéndolo más útil y proactivo.
- Se recomienda desarrollar una aplicación móvil o plataforma web que reciba los datos de los sensores en tiempo real, utilizando análisis en la nube para procesar grandes volúmenes de información. La app podría generar alertas automáticas cuando los niveles de contaminantes superen los límites establecidos, mostrar tendencias históricas, y hasta sugerir acciones correctivas de manera proactiva. Esta integración convertiría al sistema en una solución tecnológica completa, interactiva y orientada a la toma de decisiones inteligentes para mejorar la calidad del aire en los hogares.
- Finalmente, considero importante explorar análisis predictivo y visualizaciones más completas de los datos. Herramientas de inteligencia artificial o dashboards interactivos podrían anticipar problemas de contaminación y mostrar la información de manera clara, facilitando decisiones más rápidas y efectivas para cuidar nuestro entorno.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. Uribe and I. Uribe, "SECMOTIC," 2022. [Online].
- [2] O. M. d. l. Salud, "OMS," 2019. [Online].
- [3] A. Segura, "SUEZ," 2023. [Online].
- [4] OPS/OMS, "Organización Panamericana de la Salud," 2023.
- [5] L. Martín, "GREEN APPS" para cuidar el medio ambiente, 2023.
- [6] A. L. G. M. Luigi Atzori, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, p. 19.
- [7] M. G. M. M. M. A. M. A. Ala Al-Fuqaha, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," 2015.
- [8] García, D. (2023). *Aplicaciones del IoT en hogares inteligentes*. Revista Iberoamericana de Tecnología y Sociedad, 18(2), 45-59.
- [9] Morales Tubón, A. (2024). Prototipo de monitoreo ambiental en tiempo real mediante IoT. Polo del Conocimiento, 9(3), 1-15.
- [10] TICNUS. (2023). *IEEE 1451 y su aplicación en sensores inteligentes*.
- [11] Kadir, H. et al. (2021). *Monitor IAQ using BME680, ESP32*. Applied Sciences.
- [12] Flores-Cortez, O. O., Cortez, R. A., & Rosa, V. (2022). Implementación de un sistema IoT de bajo costo para monitoreo de la calidad del aire en El Salvador.arXiv

- [13] [Autor Desconocido]. (2024). *Development and validation of low-cost indoor air quality monitoring system using PMS5003 and MH-Z19C*. PMC ResearchGate
- [14] Simamora, a., Denih, A., Iqbal Suriansyah, M. (2025). *Indoor Air Quality Detection Robot Model Base don IoT*. AiXiv
- [15] Normativas y estándares de calidad del aire interior. (s. f.). Construcción Verde.
- [16] Usuario en Reddit. (2019). Proyecto de Ley de Protección de Datos Personales 17 en Ecuador (varios posts).
- [17] Usuario en Reddit. (2019). Uso de información personal está penado con prisión (COIP).
- [18] Romero, J., & Salazar, M. (2023) Protocolos IoT de baja latencia en entornos domésticos. *Revista de Innovación Tecnológica*, 6(1), 22–34.
- [19] *Environmental Protection Agency (EPA)*. (2023). Indoor Air Quality. Retrieved from
- [20] Téllez, E., Rodríguez, A., & Fajardo, J. (2006). *Estudio de las fuentes de contaminación atmosférica*.
- [21] Environmental Protection Agency (EPA). (2017). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2015*. Retrieved from
- [22] World Health Organization (WHO). (2020). Indoor air quality and health.
- [23] (*Environmental ProtectionAgency (EPA).*(2021).*IndoorAirQuality: Humidity.*, 2021 - 2022)
- [24] (Serafio, 2023)

[25] ((INE), 2020)

[26] (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2023)

[27] Asamblea Nacional del Ecuador. (2015). *Ley Orgánica de Telecomunicaciones*. Registro Oficial Suplemento N.º 439, 18 de febrero de 2015.

[28] Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro Oficial Suplemento N.º 983, 12 de abril de 2017.

[29] Asamblea Nacional del Ecuador. (2021). *Ley Orgánica de Protección de Datos Personales*. Registro Oficial Suplemento N.º 459, 26 de mayo de 2021.

[30] Organización Mundial de la Salud. (2010). *Directrices de la OMS para la calidad del aire interior*.

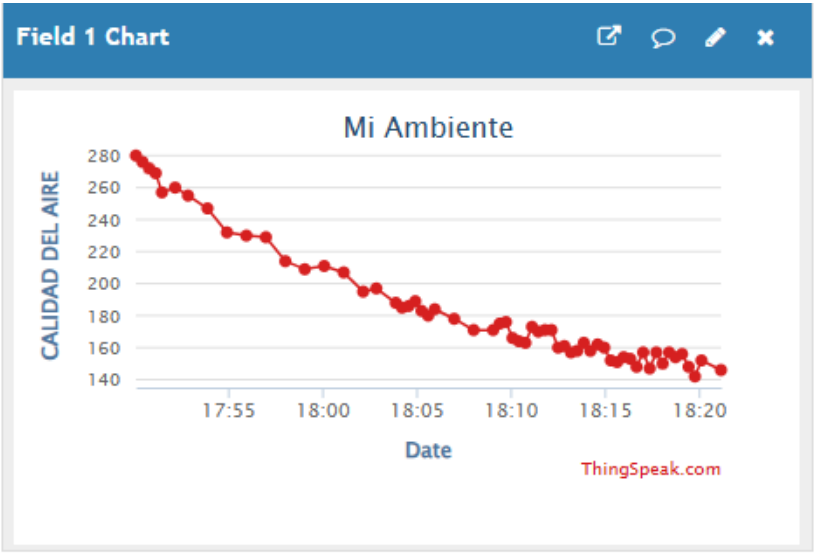
[31] Organización Mundial de la Salud. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono*.

CAPITULO VII

ANEXOS

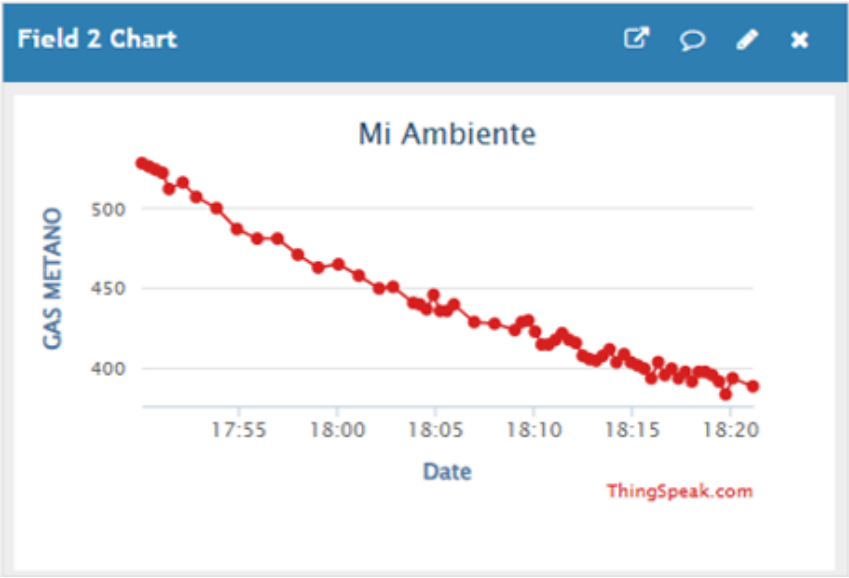
7.1 Recolección de métricas

Figura 18: Niveles de la calidad del aire



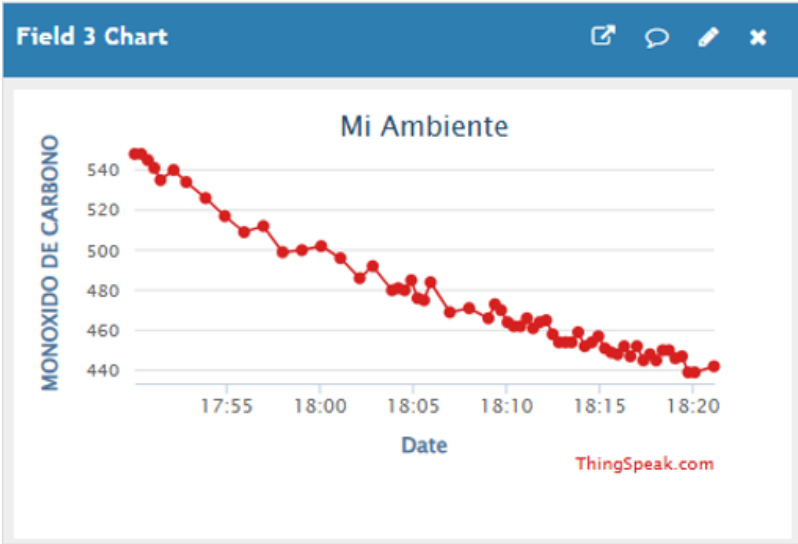
Elaborado por: Autor

Figura 19: Niveles del gas metano



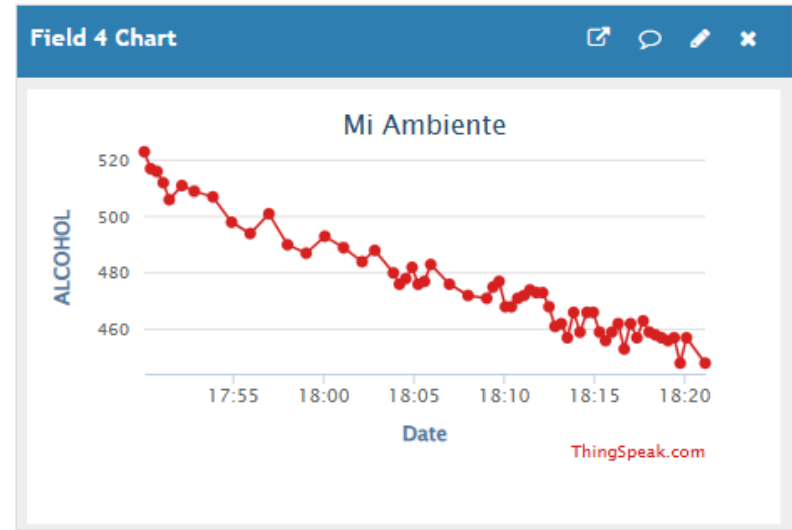
Elaborado por: Autor

Figura 20: Niveles de monóxido de carbono



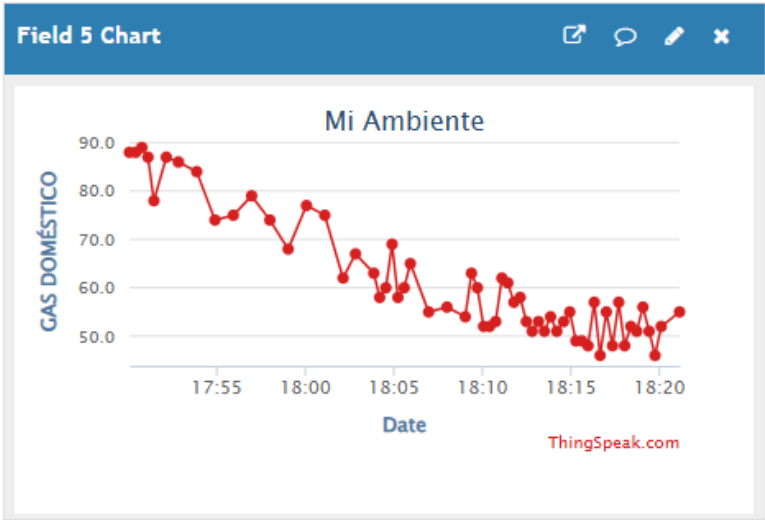
Elaborado por: Autor

Figura 21: Niveles de alcohol



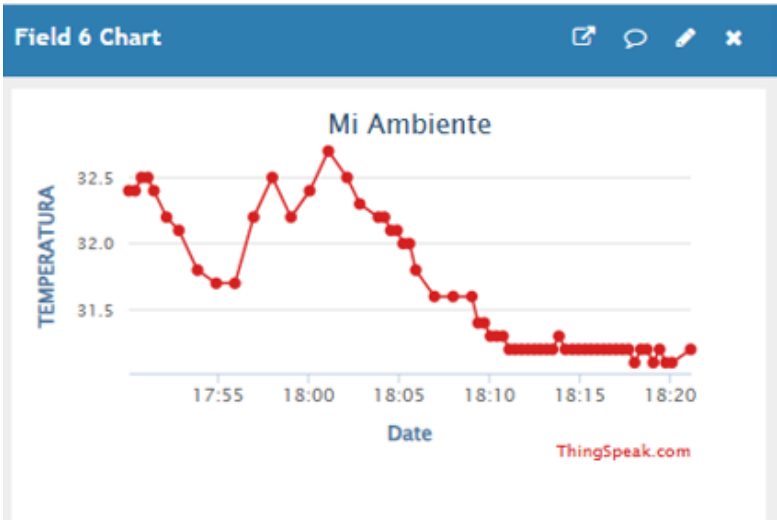
Elaborado por: Autor

Figura 22: Niveles de gas doméstico



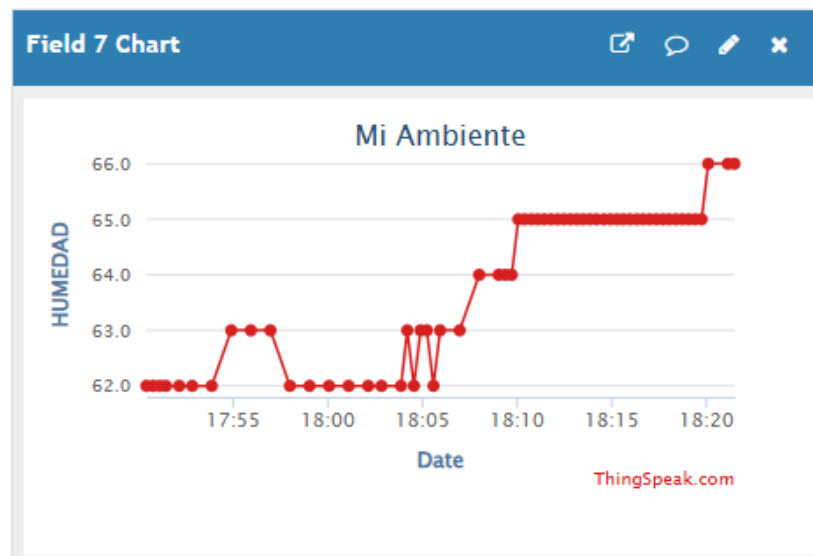
Elaborado por: Autor

Figura 23: Niveles de temperatura



Elaborado por: Autor

Figura 24: Niveles de humedad



Elaborado por: Autor

7.2 Medición en tiempo real de los niveles de contaminación

Figura 25: Datos en tiempo real

```

Dar formato al texto
{"created_at": "2025-11-12T22:52:12Z", "entry_id": 123, "field1": "260.00000", "field2": "516.00000", "field3": "540.00000", "field4": "511.00000", "field5": "87.00000", "field6": "32.20000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:52:32Z", "entry_id": 124, "field1": "254.00000", "field2": "505.00000", "field3": "530.00000", "field4": "506.00000", "field5": "78.00000", "field6": "32.20000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:52:53Z", "entry_id": 125, "field1": "255.00000", "field2": "507.00000", "field3": "534.00000", "field4": "509.00000", "field5": "86.00000", "field6": "32.10000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:53:14Z", "entry_id": 126, "field1": "253.00000", "field2": "509.00000", "field3": "534.00000", "field4": "507.00000", "field5": "84.00000", "field6": "32.00000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:53:34Z", "entry_id": 127, "field1": "250.00000", "field2": "504.00000", "field3": "528.00000", "field4": "508.00000", "field5": "87.00000", "field6": "31.80000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:53:55Z", "entry_id": 128, "field1": "247.00000", "field2": "500.00000", "field3": "526.00000", "field4": "507.00000", "field5": "84.00000", "field6": "31.80000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:54:16Z", "entry_id": 129, "field1": "246.00000", "field2": "499.00000", "field3": "525.00000", "field4": "507.00000", "field5": "82.00000", "field6": "31.70000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:54:37Z", "entry_id": 130, "field1": "236.00000", "field2": "493.00000", "field3": "522.00000", "field4": "501.00000", "field5": "78.00000", "field6": "31.70000", "field7": "63.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:54:57Z", "entry_id": 131, "field1": "232.00000", "field2": "487.00000", "field3": "517.00000", "field4": "498.00000", "field5": "74.00000", "field6": "31.70000", "field7": "63.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:55:18Z", "entry_id": 132, "field1": "232.00000", "field2": "487.00000", "field3": "513.00000", "field4": "495.00000", "field5": "76.00000", "field6": "31.70000", "field7": "63.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:55:39Z", "entry_id": 133, "field1": "229.00000", "field2": "482.00000", "field3": "516.00000", "field4": "497.00000", "field5": "76.00000", "field6": "31.70000", "field7": "63.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:55:59Z", "entry_id": 134, "field1": "230.00000", "field2": "481.00000", "field3": "509.00000", "field4": "494.00000", "field5": "75.00000", "field6": "31.70000", "field7": "63.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:56:20Z", "entry_id": 135, "field1": "228.00000", "field2": "485.00000", "field3": "513.00000", "field4": "500.00000", "field5": "78.00000", "field6": "31.80000", "field7": "63.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:56:41Z", "entry_id": 136, "field1": "229.00000", "field2": "484.00000", "field3": "512.00000", "field4": "500.00000", "field5": "81.00000", "field6": "32.20000", "field7": "63.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:57:01Z", "entry_id": 137, "field1": "229.00000", "field2": "481.00000", "field3": "512.00000", "field4": "501.00000", "field5": "79.00000", "field6": "32.20000", "field7": "63.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:57:22Z", "entry_id": 138, "field1": "225.00000", "field2": "477.00000", "field3": "511.00000", "field4": "500.00000", "field5": "79.00000", "field6": "32.20000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:57:43Z", "entry_id": 139, "field1": "211.00000", "field2": "468.00000", "field3": "502.00000", "field4": "490.00000", "field5": "70.00000", "field6": "32.50000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:58:03Z", "entry_id": 140, "field1": "214.00000", "field2": "471.00000", "field3": "499.00000", "field4": "490.00000", "field5": "74.00000", "field6": "32.50000", "field7": "62.00000"},
{"created_at": "2025-11-12T22:58:24Z", "entry_id": 141, "field1": "221.00000", "field2": "474.00000", "field3": "507.00000", "field4": "497.00000", "field5": "76.00000", "field6": "32.40000", "field7": "62.00000"}

```

Elaborado por: Autor

7.3 Código fuente de configuración WiFi

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "secrets.h"
#include "ThingSpeak.h" // always include thingspeak header file after other header files
                        and custom macros

char ssid[] = SECRET_SSID; // your network SSID (name)
char pass[] = SECRET_PASS; // your network password
int keyIndex = 0;          // your network key Index number (needed only for WEP)

WiFiClient client;
```

7.4 Código fuente de pantalla LED y sensores

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Driver Library for the LCD Module

#include "DHT.h"
    #define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
uint8_t DHTPin = D5;
DHT dht(D5, DHT11);
    float Temperature;
    float Humidity;

#define S0 D4
#define S1 D3
#define S2 D6
#define S3 D0
    #define analogpin A0
    float aire = 0;
    float metano = 0;
    float carbono = 0;
    float alcohol = 0;
    float glp = 0;

LiquidCrystal_I2C lcd = LiquidCrystal_I2C(0x27,16,4); // Adjust to (0x27,20,4) for
```

20x4 LCD

```
String myStatus = "";
```

```
void setup()  
{
```

7.5 Código visualización en la LCD

```
pinMode(analogpin, INPUT);  
pinMode(S0,OUTPUT);  
pinMode(S1,OUTPUT);  
pinMode(S2,OUTPUT);  
pinMode(S3,OUTPUT);  
dht.begin();  
Serial.begin(115200);  
  lcd.init();      // Initiate the LCD module  
  lcd.backlight(); // Turn on the backlight  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.setCursor(4, 0);  
  lcd.print("PROYECTO");  
  lcd.setCursor(4, 1);  
  lcd.print("LECTURA");  
  lcd.setCursor(4, 2);  
  lcd.print("SENSORES");  
  delay(3000);  
  lcd.clear();
```

7.6 Código envío de datos a ThingSpeak

```
WiFi.mode(WIFI_STA);  
ThingSpeak.begin(client); // Initialize ThingSpeak  
  }
```

```
void loop() {
```

```

// Connect or reconnect to WiFi
if(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
    Serial.print("Attempting to connect to SSID: ");
    Serial.println(SECRET_SSID);
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
        WiFi.begin(ssid, pass); // Connect to WPA/WPA2 network. Change this line if
using open or WEP network
        Serial.print(".");
        delay(5000);
    }
    Serial.println("\nConnected.");
}

////////////////////
digitalWrite(S0,LOW);
digitalWrite(S1,LOW);
digitalWrite(S2,LOW);
digitalWrite(S3,LOW);
Serial.print("CALIDAD DEL AIRE= ");
Serial.println(analogRead(analogpin)*10.57);///MQ-135
aire = analogRead(analogpin);

digitalWrite(S0,HIGH);
digitalWrite(S1,LOW);
digitalWrite(S2,LOW);
digitalWrite(S3,LOW);
Serial.print("GAS METANO= ");
Serial.println(analogRead(analogpin));///MQ-4
metano = analogRead(analogpin);

digitalWrite(S0,LOW);
digitalWrite(S1,HIGH);
digitalWrite(S2,LOW);
digitalWrite(S3,LOW);
Serial.print("MONOXIDO DE CARBONO= ");

```

```
Serial.println(analogRead(analogpin));///MQ-7  
carbono = analogRead(analogpin);
```

```
digitalWrite(S0,HIGH);  
digitalWrite(S1,HIGH);  
digitalWrite(S2,LOW);  
digitalWrite(S3,LOW);  
Serial.print("ALCOHOL= ");  
Serial.println(analogRead(analogpin));///MQ-3  
alcohol = analogRead(analogpin);
```

```
digitalWrite(S0,LOW);  
digitalWrite(S1,LOW);  
digitalWrite(S2,HIGH);  
digitalWrite(S3,LOW);  
Serial.print("GAS GLP= ");  
Serial.println(analogRead(analogpin));///MQ-2  
glp = analogRead(analogpin);
```

```
Temperature = dht.readTemperature();  
Serial.print("Temperature in C:");  
Serial.print(Temperature);  
Humidity = dht.readHumidity();  
Serial.print("Humidity in C:");  
Serial.print(Humidity);
```

```
//////////
```

```
//////////
```

```
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("AIR=");  
lcd.setCursor(4, 0);  
lcd.print(aire);
```

```
lcd.setCursor(11, 0);  
lcd.print("MET=");
```

```

lcd.setCursor(15, 0);
lcd.print(metano);

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("CAR=");
lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print(carbono);

lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("ALC=");
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.print(alcohol);

lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("GLP=");
lcd.setCursor(4, 2);
lcd.print(glp);

lcd.setCursor(11, 2);
lcd.print("TEM=");
lcd.setCursor(15, 2);
lcd.print(Temperature);

lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("HUM=");
lcd.setCursor(4, 3);
lcd.print(Humidity);
////////////////////////////////////
// set the fields with the values
ThingSpeak.setField(1, aire);
ThingSpeak.setField(2, metano);
ThingSpeak.setField(3, carbono);
ThingSpeak.setField(4, alcohol);
ThingSpeak.setField(5, glp);
ThingSpeak.setField(6, Temperature);

```

```
ThingSpeak.setField(7, Humidity);
```

```
// set the status
```

```
ThingSpeak.setStatus(myStatus);
```

```
// write to the ThingSpeak channel
```

```
int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
```

```
if(x == 200){
```

```
    Serial.println("Channel update successful.");
```

```
}
```

```
else{
```

```
    Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
```

```
}
```

```
delay(20000); // Wait 20 seconds to update the channel again
```

```
}
```